

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розроблення потужної мережевої фото-електричної станції для
змішаного живлення промислового підприємства з дослідженням доцільної
потужності станції

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Штанько М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки


Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій


_____ О.В. Шефер
“ 02 ” 09 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Штанько Максим Васильович

1. **Тема проекту (роботи)** Розроблення потужної мережевої фото-електричної станції для змішаного живлення промислового підприємства з дослідженням доцільної потужності станції

керівник проекту (роботи) Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н.

затверджена наказом вищого навчального закладу від “09” серпня 2024 року
№ 818 - Ф.А

2. **Строк подання студентом проекту (роботи)** 19.12.2024 р.

3. **Вихідні дані до проекту (роботи)** Фотозйомка покрівлі адміністративної будівлі підприємства. Розподільча електросхема 0,4 кВ внутрішніх електромереж підприємства. План розподілу електронавантажень підприємства

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** Аналіз практичного застосування автономних та мережевих сонячних електростанцій. Розроблення структурної схеми фото-електростанції та розрахунок і аналіз її основних параметрів. Вибір обладнання запропонованої фото-електростанції. Визначення доцільної потужності станції. Огляд заходів безпеки під час монтажних робіт та в процесі експлуатації сонячної електростанції. Висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів)

- 1) Аналіз практичного застосування автономних та мережових сонячних електростанцій
- 2) Структурна схема мережевої сонячної електростанції, що пропонує
- 3) Розподільча електросхема 0,4 кВ внутрішніх електромереж підприємства
- 4) План розподілу електронавантажень підприємства
- 5) Доцільна схема під'єднання фото-електростанції до електромережі підприємства
- 6) Система блискавкозахисту та зрівнювання потенціалів
- 7) Економічний аналіз доцільності встановлення фото-електростанції
- 8) Висновки по роботі

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Пр
1	Огляд обладнання сонячних електростанцій, що існує	07.10.24		15%	
2	Аналіз практичного застосування автономних та мережових сонячних електростанцій	16.10.24	I	25%	
3	Розроблення структурної схеми фото-електростанції	05.11.24		40%	
4	Розрахунок і аналіз основних параметрів фото-електростанції	19.11.24	II	60%	
5	Вибір обладнання запропонованої фото-електростанції	26.11.24		70%	
6	Визначення доцільної потужності станції	11.12.24		80%	I
7	Огляд заходів безпеки під час монтажних робіт та в процесі експлуатації вітро-сонячної електростанції	14.12.24		90%	
8	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	

Магістрант

(підпис)

Штань

(прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Трет

(прізвище)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз практичного застосування автономних та мережових сонячних електростанцій.....	10
1.1 Принцип роботи сонячної панелі.....	10
1.2 Сучасні прилади перетворення фотоенергетики.....	14
1.3 Огляд практичного застосування сонячних панелей та портативної сонячної електростанції житлового будинку.....	21
1.4 Сонячні електростанції в Україні.....	24
2 Розроблення структурної схеми фото-електростанції та розрахунок і аналіз її основних параметрів.....	27
2.1 Географічні відомості щодо розташування електростанції.....	27
2.2 Структурна схема фото-електростанції.....	29
2.3 Попередній розрахунок кількості сонячних панелей.....	31
2.4 Аналіз основних параметрів сонячної електростанції.....	34
3 Вибір обладнання запропонованої фото-електростанції.....	43
3.1 Вибір сонячних панелей.....	43
3.2 Вибір інвертора.....	47
3.3 Вибір кабельних провідників.....	53
3.4 Система кріплень сонячних панелей.....	55
4 Визначення доцільної потужності станції.....	57
4.1 Узгодження потужності інвертора та сонячних панелей.....	57
4.2 Визначення загальної потужності електростанції.....	62
4.3 Кінцевий вибір обладнання сонячної електростанції.....	66

5 Огляд заходів безпеки під час монтажних робіт та в процесі експлуатації сонячної електростанції.....	70
5.1 Загальні питання по охороні праці.....	70
5.2 Електробезпека.....	73
5.3 Пожежна безпека.....	75
Висновки.....	78
Список використаної літератури.....	79
Додатки.....	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

СП – сонячні панелі

СЕС – сонячна електростанція

ЄС – європейський союз

ОЕС – Об'єднана енергетична система України

ФЕП – фотоелектричний перетворювач

АКБ – акумуляторна батарея

КЗ – коротке замикання

ЛЕП – лінія електропередач

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ТММ – точка максимальної потужності

STC - Standard Test Conditions, стандартні тестові умови сонячної панелі

NMOT - Normal operating cell temperature, номінальна робоча температура сонячного елемента

Blackout – аварія в енергосистемі

ВСТУП

Актуальність теми. Сонячна енергетика - одна з найперспективніших галузей відновлюваної енергетики на сьогоднішній день. Вона відіграє важливу роль у забезпеченні сталого розвитку, зменшенні залежності від викопних видів палива та боротьбі зі зміною клімату. Середньорічна сумарна енергія сонячного випромінювання в Україні становить понад 1070 кВт × год/м² на півночі України та понад 1400 кВт × год/м² в Автономній Республіці Крим.

Фотоелектричні установки можуть досить ефективно експлуатуватися протягом усього року, але найбільш ефективно вони працюють протягом семи місяців на рік (квітень-жовтень).

Перетворення сонячної енергії в електричну в Україні повинно в першу чергу орієнтуватися на використання фотоелектричного обладнання. Велика кількість сировинної, промислової та науково-технічної інфраструктури для виробництва фотоелектричних пристроїв забезпечує не тільки повне задоволення потреб внутрішніх споживачів, а й можливість експорту понад двох третин продукції. Тепер давайте подивимося, чому сонячна енергія настільки важлива:

Екологічна необхідність:

- Зменшення викидів CO₂, використання сонячної енергії дозволяє знизити викиди парникових газів, що є критично важливим для зменшення впливу глобального потепління;

- відсутність шкідливих відходів, сонячні електростанції не утворюють токсичних чи небезпечних продуктів, на відміну від вугільних або атомних електростанцій

- збереження природних ресурсів, сонячна енергетика не вимагає використання води, яка часто є дефіцитним ресурсом у багатьох регіонах.

Технологічний прогрес:

- розвиток інновацій, постійне вдосконалення технологій підвищує ефективність сонячних панелей і розширює можливості їх використання (наприклад, гнучкі панелі, двосторонні модулі).

- доступність для споживачів, зростає популярність домашніх сонячних електростанцій і систем зберігання енергії, що робить технологію доступною для приватних осіб.

Глобальні тренди та виклики:

- ріст інвестицій, країни та корпорації активно інвестують у проекти сонячної енергетики, прагнучи досягти вуглецевої нейтральності.

- енергетичний перехід, сонячна енергетика стає основою для побудови «зеленої» економіки;

- вирішення проблеми утилізації, розробляються методи безпечної переробки старих сонячних панелей, що підвищує їх екологічність.

Соціальні та глобальні переваги:

- створення робочих місць, розвиток сонячної енергетики сприяє створенню нових робочих місць у виробництві, монтажі, обслуговуванні та дослідженнях;

- боротьба із енергетичною бідністю, сонячна енергетика може забезпечити електрику у віддалених регіонах, де традиційна енергетична інфраструктура відсутня;

- підтримка сталого розвитку, сонячна енергетика відповідає цілям сталого розвитку ООН, включаючи доступ до чистої енергії та захист екосистем.

Чому це так важливо саме зараз? Глобальна зміна клімату, економічна та енергетична кризи змушують людство шукати стійкі альтернативи традиційним джерелам енергії. Ефективність сонячної енергії вже доведена і з кожним роком стає все більш доступною.

Враховуючи досвід встановлення сонячних фотоелектричних електростанцій (СЕС) в європейських країнах зі схожим рівнем сонячної радіації та світову тенденцію до постійного зниження вартості будівництва СЕС завдяки технологічному прогресу, кількість електроенергії, що виробляється СЕС в Україні, може бути значно збільшена за рахунок удосконалення технології та введення в експлуатацію нових станцій. Як свідчить досвід країн Європейського Союзу, сонячна енергія може використовуватися в промислових масштабах навіть вночі. В Іспанії та США деякі компанії виробляють електроенергію вночі з тепла, накопиченого вдень [1, с.60].

Мета роботи - Розроблення мережевої фото-електричної станції для змішаного живлення промислового підприємства з дослідженням доцільної потужності електроустановки.

Об'єкт дослідження – Процес живлення промислового підприємства від сонячної електростанції.

Предмет дослідження – сонячні панелі та сонячна електростанція (СЕС), промислові інвертори.

Особистий внесок випускника – спроектувати та запропонувати можливий варіант застосування сонячних джерел енергії на промисловому підприємстві.

Основні задачі - проаналізувати практичне застосування автономних та мережевих сонячних електростанцій, розробити структурну схему сонячної станції промислового підприємства, розрахувати кількість сонячних панелей, для змішаного живлення промислового підприємства, визначення доцільності потужності станції, розглянути основні питання по охороні праці та електробезпеки при будівництві та експлуатації сонячної електростанції.

1 АНАЛІЗ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНИХ ТА МЕРЕЖЕВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Принцип роботи сонячної панелі

Сонячні панелі працюють шляхом перетворення сонячної енергії в електричну. В основі цього процесу лежить фотоелектричний ефект, який виникає в напівпровідникових матеріалах, особливо в кремнії.

Фотоелектричний ефект - це фізичне явище, при якому електрони поглинають світлову енергію (фотони) і випромінюються з атомів і молекул. Це явище було відкрито і вивчалось багатьма вченими. У 1905 році Альберт Ейнштейн запропонував теоретичне пояснення цього явища і був удостоєний Нобелівської премії з фізики в 1921 році. Фотоелектричний ефект поділяється на два основних види, зовнішній та внутрішній фотоелектричний ефект.

Зовнішній фотоелектричний ефект - електрони залишають поверхню матеріалу під впливом фотонів. Це явище використовується, у фотовольтаїці та сонячних батареях.

Внутрішній фотоелектричний ефект - електрони збуджуються всередині матеріалу і змінюють його електричні властивості. Використовується в напівпровідниках і фотодетекторах.

Основні етапи зовнішнього фотоелектричного ефекту:

- поглинання енергії світла, коли фотон досягає поверхні речовини, його енергія передається електрону.

- збудження електронів, електрон отримує достатню енергію для подолання зв'язку з атомом (енергія повинна перевищувати роботу виходу речовини);

- вивільнення електрона, збуджений електрон залишає поверхню речовини, створюючи електричний струм у зовнішньому колі.

Ейнштейн описав фотоелектричний ефект рівнянням (1.1).

$$E_{\text{фотона}} = h\nu = A + E_{\text{кін}} \quad (1.1)$$

де h - стала Планка (6.626×10^{-34} Дж \times с);

ν - частота світла;

A - робота виходу (мінімальна енергія для вивільнення електрона);

$E_{\text{кін}}$ - кінетична енергія електрона після виходу.

Явище фотоефекту, зображено на рисунку 1.1

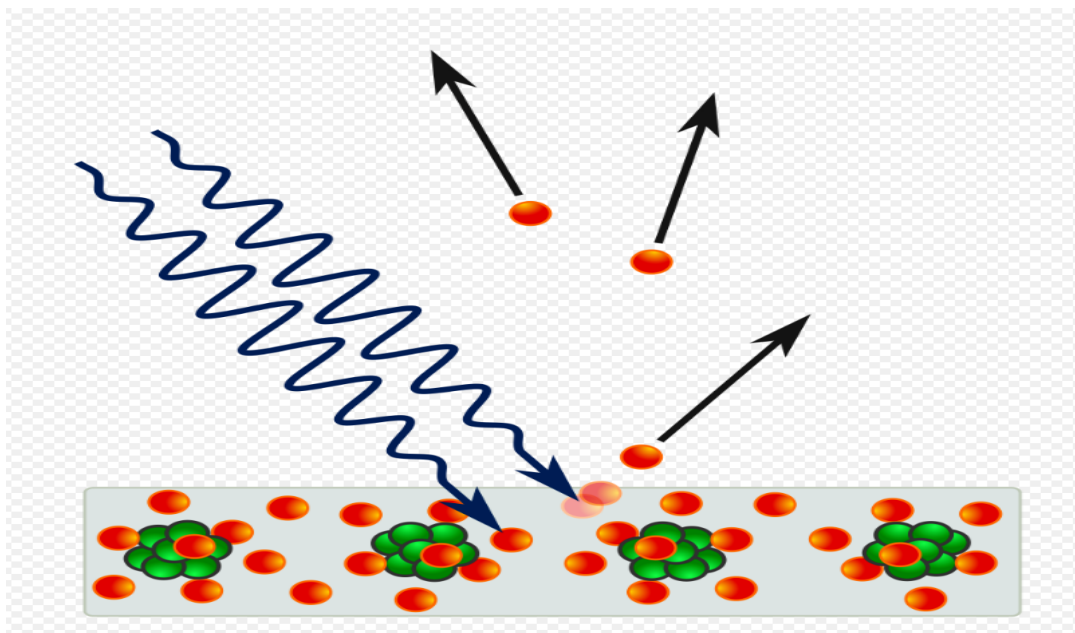


Рисунок 1.1 - Явище фотоефекту (зовнішній і внутрішній)

Експерименти підтвердили, що під впливом енергії світлової хвилі електрони вилітають з негативно заряджених металевих пластин. З позитивно заряджених пластин електрони не вилітають (заряд на пластині зберігається). Саме в ультрафіолетовій частині спектру електромагнітні хвилі взаємодіють з електронами в металах і створюють високі частоти завдяки фотоелектричному ефекту.

Слід пам'ятати, що світло - це електромагнітна хвиля, і що світло, падаючи на металеву поверхню, призводить до виникнення змінного електричного поля. У такому електричному полі електрони в металі повинні коливатися, і якщо амплітуда досить велика, вони можуть бути виштовхнуті з металу силою притягання до позитивно заряджених частинок. Принцип роботи сонячних панелей заснований на фотоелектричному ефекті [2, с. 203].

Фотоелектричний модуль (або сонячний модуль) - це важливий компонент сонячної енергетичної системи, який перетворює сонячне світло в електричну енергію. Сонячний модуль складається з декількох фотоелектричних елементів (сонячних батарей), зазвичай виготовлених з кремнію. Коли сонячне світло потрапляє на поверхню сонячної батареї, фотони збуджують електрони в напівпровідниковому матеріалі, створюючи електричний струм. Цей струм збирається і направляється в електромережу для живлення електричного обладнання. Основні компоненти фотоелектричного модуля:

- сонячні елементи (зазвичай виконані з монокристалічного або полікристалічного кремнію);
- захисне скло (забезпечує захист від механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища);
- антиблікове покриття (підвищує ефективність захоплення сонячного світла);
- рамка (зазвичай з алюмінію, забезпечує структурну стабільність модуля);
- тильний шар (захищає елементи від вологи та інших негативних факторів);
- з'єднувальні контакти (передають електричну енергію до інвертора чи акумулятора)

Якщо коротко, то сонячна панель, а точніше фотоелектричний модуль - це спеціальна конструкція, що складається з ряду фотоелектричних елементів, з'єднаних між собою. Кожен з цих елементів виготовлений з певного напівпровідника, наприклад, кремнію. Кремній в даний час в основному використовується у виробництві сонячних панелей, оскільки він демонструє найвищі показники продуктивності [3, с. 47] . Будова фото модуля в розрізі зображено на рисунку 1.2

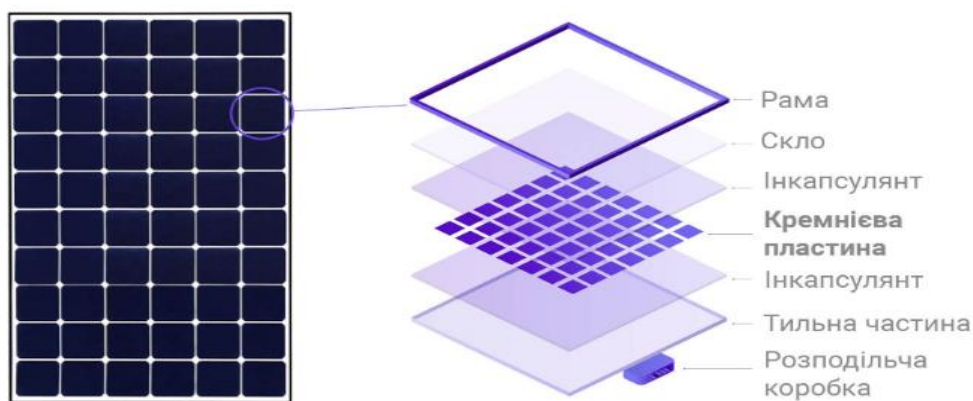


Рисунок 1.2 - Будова фото модулю

Під час потрапляння світла на цей напівпровідник, він починає нагріватися і частково поглинати енергію, випромінювану променями. Фотони світла витісняють електрони із загальної атомної структури напівпровідника, а вільні електрони формують електричний заряд. Зазвичай кожна комірка не є суцільним шматком кремнію, а фактично складається з двох шарів. Але цього все одно недостатньо для створення повноцінного електричного поля, адже кремній у чистому вигляді не є дуже хорошим провідником. Тому для створення позитивних і негативних зарядів у кремнієвому шарі додають домішки [3, с. 48].

Верхній шар кремнію насичується фосфором і додаються додаткові електрони з негативним зарядом. Цей шар називається n-типу (негативний). У той же час нижній шар насичується бором, який зменшує кількість електронів і створює позитивний заряд. Такий кремній називається р-типу. В результаті між шарами кремнію утворюється електричне поле. І, як згадувалося вище, коли фотон сонячного світла потрапляє на вільний електрон, електричне поле виштовхує його з кремнієвого переходу. Таким чином, утворюється електричний струм. Цей тип провідника називається P-N. Так створюється електричний заряд. Кожна комірка має шину, яка збирає струм, і провідну пластину збоку, яка віддає струм в систему. Для максимальної продуктивності інтенсивність сонячного випромінювання повинна бути високою. Однак тут є застереження. Перегрів панелей призводить до втрат потужності. Як показали лабораторні дослідження, ці втрати становлять близько 0,4% при нагріванні панелей на 1°C вище їх номінальної температури (45°C) [3, с. 48]. Принцип роботи сонячної панелі, зображено на рисунку 1.3.

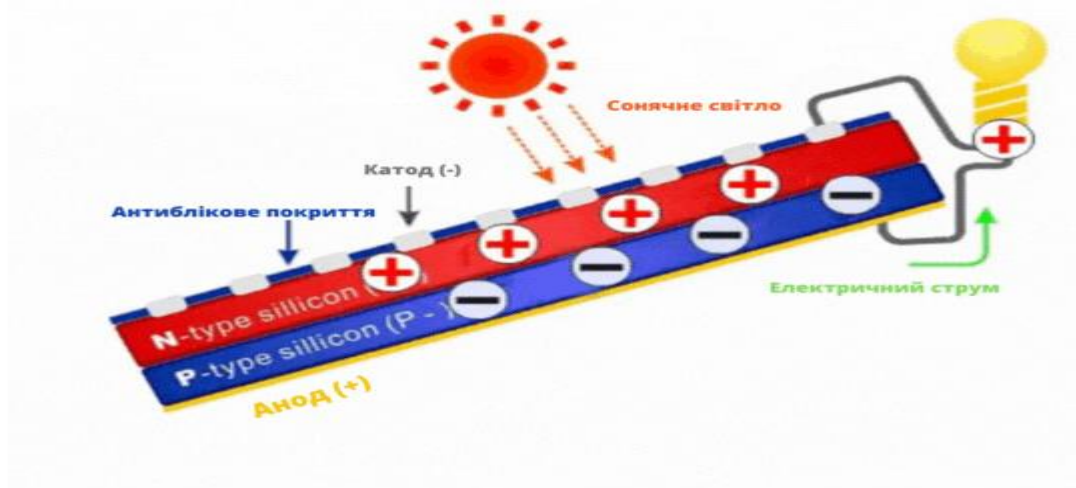


Рисунок 1.3 - Принцип роботи сонячної панелі

1.2 Сучасні прилади перетворення фотоенергетики

Сонячні фотоелектричні електростанції (СЕС) - це об'єкти, які виробляють електроенергію за допомогою сонячної енергії. Вони є одним з найбільш екологічно чистих і поширених видів відновлюваної енергетики і забезпечують електроенергією будинки, підприємства і навіть цілі міста [4, с 35].

Фотоелектричні електростанції перетворюють сонячну енергію безпосередньо в електрику за допомогою фотоелектричних модулів (сонячних панелей). Термодинамічні електростанції - це електростанції, які перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну. У всіх випадках і незалежно від кількості сонячних панелей, для споживання споживачами електроенергії необхідний перетворювач постійного струму в змінний [5]. До складу накопичувальних та перетворювальних приладів відносяться:

- сонячні панелі (основний елемент, який перетворює сонячне світло в електрику);
- інвертор (перетворює постійний струм (DC) від панелей на змінний струм (AC), придатний для використання у стандартній електромережі);
- система кріплень (забезпечує правильне розташування панелей під оптимальним кутом для максимальної ефективності);

- контролер заряду (регулює заряд акумуляторів, якщо СЕС працює автономно);
- акумулятори (зберігають енергію для використання вночі або в похмурі дні (за необхідності));
- електрична мережа (у випадку мережевої СЕС, надлишки енергії передаються в загальну мережу).

Акумуляторні батареї потрібні для зберігання електроенергії, щоб забезпечувати електроенергією споживачів за відсутності сонячного випромінювання. У той же час, батареї можуть не входити до складу сонячних електростанцій. У сонячних електростанціях використовуються три типи акумуляторів:

- лужні;
- свинцево-кислотні;
- літій-іонні.

Лужні батареї (залізо-нікелеві та нікель-кадмієві) використовуються рідко через їхню низьку продуктивність при низьких температурах і погане утримання заряду. Лужні батареї повільно заряджаються і повільно розряджаються. Вони досить надійні і довговічні, але чутливі до перезарядження, глибокого розрядження, короткого замикання і теплового удару. Працюють оптимально, там де можуть постійно заряджатись [5].

Свинцево-кислотні акумулятори набули популярності завдяки своїй низькій вартості, достатньому терміну служби та високій питомій потужності. Кількість енергії, яку можна накопичити, залежить від ємності, вираженої в ампер-годинах (Аг). Типові свинцево-кислотні акумулятори, що використовуються в сонячних енергетичних системах, мають ємність 100 Аг або більше. Щоб такі батареї працювали довше, їх потрібно правильно заряджати. Перезаряд або недозаряд скорочує термін служби батареї. На рисунку 1.4 показано свинцево-кислотну батарею великої ємності, а на рисунку 1.5 - літій-залізо-фосфатну батарею.



Рисунок 1.4 – Промислова свинцево-кислота батарея



Рисунок 1.5 – Літій-залізо-фосфатна батарея

Літій-іонні (Li-ion) акумулятори мають у два-чотири рази більшу ємність, ніж свинцево-кислотні, вищу щільність енергії та компактніші розміри. Літій-іонні акумулятори мають чудову продуктивність, довговічність і безпеку та витримують багато циклів розрядки і перезарядки. Ефект пам'яті відсутній. Залежно від хімічного складу і конструкції, літій-іонні акумулятори можна розділити на наступні типи.

- літій-кобальтові (LiCo);
- літій-марганцеві (LiMn);
- літій-полімерні (Li-Po);
- літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄);
- літій-титанатні (LTO);
- літій-нікель-марганець-кобальт-оксидні (Li-NMC).

Важко сказати, яка батарея є найкращим вибором. Найкращий вибір залежить від ряду факторів, включаючи розмір електростанції, характеристики електростанції та очікування від системи зберігання енергії. Залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄) - це останнє покоління з найдовшим терміном служби. Вони мають низький рівень саморозряду, високий струм заряду і максимальну кількість циклів. Високий струм і стабільна напруга розряду під навантаженням. Вони стійкі до низьких температур, безпечні та придатні для використання в СЕС.

Порівнюючи акумулятори, очевидно, що в більшості випадків літій-іонна технологія перевершує свинцево-кислотну за надійністю, ефективністю та іншими характеристиками. Однак, для невеликих автономних систем зберігання енергії, які не використовуються безперервно, більш дешеві свинцево-кислотні акумулятори можуть бути кращими [5].

Портативні електростанції – це мобільний електричний пристрій або генератор енергії, який забезпечує одночасне накопичення енергії, перетворюючи постійну напругу акумулятора в змінну. Конструкційно пристрій є моноблочним блоком, всередині якого знаходиться інвертор, контролер, плата управління, роз'єми для заряджання станції. На лицьовій панелі розташовані розетки для підключення різних побутових споживачів на напругу 220 В, також присутні роз'єми типу USB для живлення переносних електронних пристроїв.

Існують різні портативні електростанції з різними джерелами живлення та потужністю:

- акумуляторні портативні станції;
- сонячні портативні станції;
- вітрогенераторні портативні станції;
- гібридні портативні станції;
- термоелектричні портативні станції.

Розглянемо деякі з них. Акумуляторні портативні електростанції працюють від літій-іонних або літій-полімерних акумуляторів. Зазвичай вони мають різні розетки та порти для зарядки різних пристроїв, таких як смартфони, ноутбуки та лампи.

Сонячні портативні електростанції оснащені сонячними панелями, збирають сонячну енергію і зберігають її у внутрішньому або зовнішньому акумуляторі. Вони можуть забезпечувати енергією віддалені райони, де немає доступу до електромережі.. На рисунку 1.6 зображена портативна електростанція виробництва компанії UAROW (Китай).



Рисунок 1.6 - Портативна електростанція потужність 1 кВт

В основі даної станції лежить пластиковий корпус із набором акумуляторних батарей типу LiFePO₄, інвертора, контролера заряду та розряду, вхідних та вихідних роз'ємів живлення типу USB, USB-C. Перевагою даної станції є достатньо не велика вага 13.1 кг, заряджання від сонячної панелі, влаштований ліхтарик.

Недоліком даної станції є те, що вона не має роз'єму для підключення додаткової батареї, Wi-Fi чи Bluetooth інтерфейсу, тобто віддаленого доступу до контролю роботи станції.

Для порівняння, розглянемо зарядну станцію іншого виробника та іншої потужності на прикладі Anker SOLIX F2000 виробництва США. Дана станція має місткість акумуляторної батареї 2048 Вт × год, в корпус станції вмонтовано колеса та телескопічну ручку для транспортування, має роз'єм для підключення додаткової зовнішньої батареї. Має мобільний застосунок для створення пари по Bluetooth інтерфейсу. Bluetooth інтерфейс дає змогу відслідковувати внутрішню температуру станції, споживання енергії (потужності) в режимі реального часу, вмикати та вимикати вихідні роз'єми типу USB-A, USB-C та вихідні розетки 220 В. Заводом виробником передбачено оновлення цього застосунку із зміною функцій керування.

Недоліком станції Anker F2000 є те, що загальна вага становить 30.5 кг, не має фізичної кнопки увімкнути та вимкнути прилад, діапазон роботи Bluetooth інтерфейсу становить до 10 м. На рисунку 1.7 зображена зарядна станція Anker SOLIX F2000.



Рисунок 1.7 – Зарядна станція Anker SOLIX F2000

Інвертори - це пристрої, які перетворюють струм постійної напруги в струм змінної напруги для приватного використання (забезпечення електроенергією споживачів електроенергії) або для передачі надлишкової потужності в місцеву електромережу [4, с. 36]. Існує три основні типи підключення сонячних електростанцій:

- автономна схема (Off-grid);
- підключення до мережі (On-grid);
- схема резервного живлення.

Автономні системи (Off-grid) використовуються для забезпечення електроенергією споживачів там, де немає централізованого електропостачання. Електроенергія, вироблена в таких установках, зберігається в акумуляторах і використовується вночі або в періоди низької сонячної радіації. Сонячна енергія повинна використовуватися для живлення навантаження і одночасно для зарядки акумулятора [4, с.36]. На рисунку 1.8 зображено автономна схема підключення.



Рисунок 1.8 Автономна схема підключення (Off-grid)

Мережеві системи (On-grid) - це тип сонячних електростанцій, підключених до загальної електромережі. Вони працюють синхронно з електромережою, що дозволяє використовувати сонячну енергію для живлення будинків і підприємств, а надлишок енергії передавати в мережу [4, с.37]. На рисунку 1.9 зображена схема підключення On-grid.

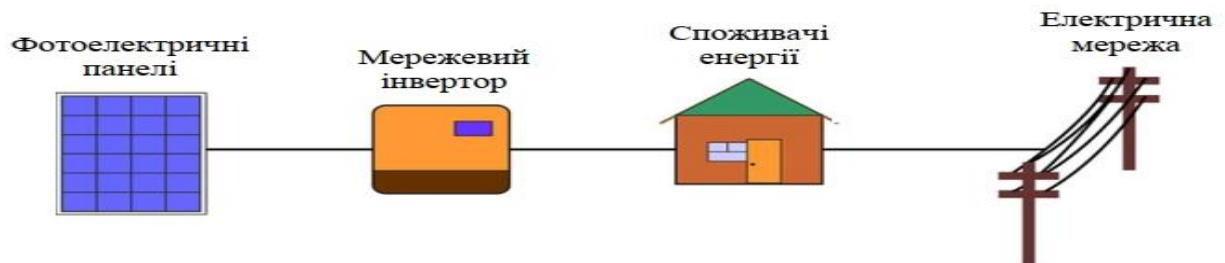


Рисунок 1.9 – Схема підключення On-grid

Схеми резервного електропостачання використовуються в разі нестабільної роботи централізованої електромережі, тобто при відхиленні якості електроенергії від норми і можливості перебоїв в електропостачанні. До одного інвертора підключаються всі джерела живлення - центральна електромережа, фотоелектричні панелі і в деяких випадках резервний генератор (дизельна електростанція або бензиновий генератор). У багатьох випадках фотоелектричні панелі є основним джерелом живлення в цій схемі [4, с.37]. На рисунку 1.10 зображена схема резервного живлення.

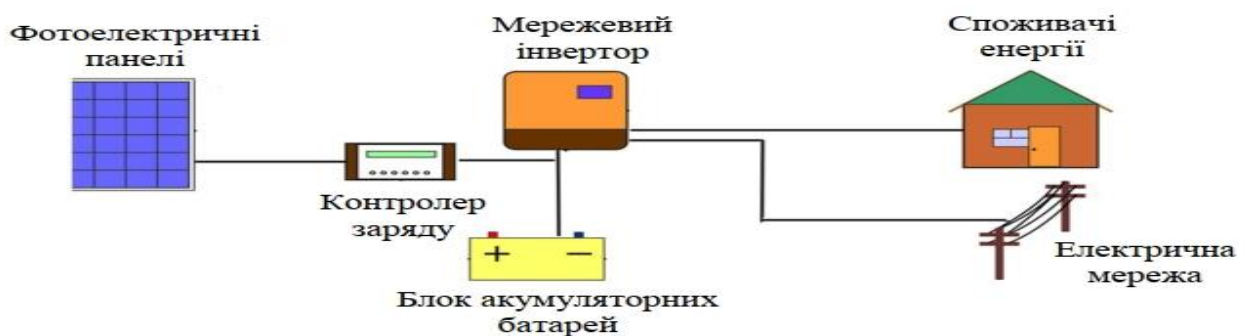


Рисунок 1.10 – Схема резервного живлення

Контролери - контролери заряду для сонячних панелей - це електронні пристрої, які автоматично заряджають батареї постійним струмом і регулюють напругу, що генерується сонячними елементами, відповідно до напруги, необхідної для зберігання енергії акумулятором, з урахуванням стану батареї.

Наприклад, якщо батарея повністю заряджена, контролер знижує напругу, щоб запобігти перезарядці. Контролер заряду, приклад якого показаний на рисунку 1.11, є невід'ємною частиною сонячної електростанції і впливає не тільки на продуктивність системи, але і на ефективність перетворення сонячного світла в електрику. Існують різні типи контролерів заряду, що використовуються в сонячних панелях, які називаються ШІМ-контролерами і МРРТ-контролерами [4, с. 40].



Рисунок 1.11 – Контролер заряду типу МРРТ

1.3 Огляд практичного застосування сонячних панелей та портативної сонячної електростанції житлового будинку

Сьогодні важливо вживати або вже вжити заходів для забезпечення надійності енергопостачання в умовах можливих надзвичайних ситуацій, таких як нестабільність в енергосистемі та перебої в роботі централізованої мережі електропостачання. Одним з найбільш ефективних способів захисту від таких ризиків є встановлення СЕС або міні-СЕС. Як приклад, розглянемо використання портативних зарядних станцій з сонячними панелями для живлення приватних будинків. Енергосистема буде включати наступне обладнання:

- портативна електростанція Anker SOLIX F2000;
- акумуляторна батарея типу LiFePO₄;
- сонячні панелі Jinko Solar JKM-585N 585 Вт;
- розподільчий пристрій.

Отже принцип роботи наступний. При відключення світла або ж так званому режимі (Blackout), можливе використання портативної станції оскільки вона може генерувати змінну напругу 220 В та одночасне максимальне навантаження 2 кВт. 2 кВт потужності, дасть змогу працювати житловому будинку під час знеструмлення. При споживанні споживачів сумарною потужністю, наприклад 400 Вт, станція пропрацює 4,2-4,8 годин, а якщо мінімізувати навантаження то й усі 8 чи 10 годин роботи. Такий спосіб резервного живлення дає змогу бути зі світлом певні години. Оскільки до станції підключені сонячні батареї потужністю 585 Вт, то виконується одночасне заряджання станції, або ж якщо АКБ станції заряджене на 100 %, то електрична напруга від сонячних панелей живить споживачів через влаштований інвертор станції (світильник, ноут-бук, холодильник, чи то Wi-Fi роутер). При вмиканні централізованого живлення, станція у часі 20 мс перемкне подачу напруги і до зарядить саму себе, але ж вже від централізованої лінії. Іншими словами ми маємо просту АВР із застосування сонячних панелей. На рисунку 1.12 показані сонячні панелі в кількості 2 шт, працюючі паралельно на напругу 42 В.



Рисунок 1.12 – Сонячні панелі практичного застосування

Для швидкого накопичення електроенергією АКБ станції, передбачено встановлення електромагнітного пускача напругою 220 В, та присмеркового реле з встановленням датчика просто неба. При ранковій чи постійній інсоляції сонячного світла, присмерковий датчик дає команду на увімкнення пускачу, це пришвидшує заряджання. Як показала практика та повноцінний сонячний день в серпні місяці, то одна сонячна панель генерувала 450 Вт безкоштовної електроенергії. Тобто за рахунок двох СП, зарядна станція могла зарядитись на протязі 3-3,5 год від 0 до 100% своєї ємності. При одночасному споживанні потужністю до 800 Вт, при гарній інсоляції сонця, живлення буде виконуватись від сонячних панелей, із застосування перетворювального інвертора, встановленого в Anker. Практичне застосування зарядної станції та розподільчого пристрою, показано на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Портативна електростанція Anker

1.4 Сонячні електростанції в Україні

Будівництво сонячних електростанцій (СЕС) в Україні стрімко розпочалося у 2010 році. Роком раніше було запроваджено «зелений» тариф для стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії: У 2010 році було введено в експлуатацію СЕС загальною потужністю 3 МВт, яка досягла 6 320 МВт у 2020 році; у першому кварталі 2021 року на СЕС припадало близько 6% загального виробництва електроенергії в Україні. Річна сонячна радіація в Україні порівнянна зі Швецією, Німеччиною, США та іншими країнами, які активно використовують сонячну енергію [6].

Нікопольська сонячна електростанція «Сонячна ферма-1» - найпотужніша промислова сонячна електростанція в Україні, яка почала генерувати «зелену» електроенергію 16 лютого 2019 року. Вона розташована на місці колишнього кар'єру поблизу села Старозаводське Нікопольського району Дніпропетровської області рисунок 1.14.



Рисунок 1.14 – Нікопольська СЕС

Загальна потужність становить 256 МВт, може забезпечити електроенергією близько 100 000 тис. домогосподарств, має 750 000 тис. сонячних панелей, забезпечую щорічне зниження викидів CO₂ на 300 000 тис. тон, найбільша СЕС в Європі [6].

Покровська СЕС, друга за потужністю промислова сонячна електростанція в Україні, почала генерувати електроенергію 31 жовтня 2019 року в селі Покровське Нікопольського району Дніпропетровської області. Будівництво було здійснено на місці колишнього марганцевого рудника, непридатного для ведення сільського господарства. Електростанція має потужність 240 МВт і виробляє близько 400 млн кВт-год екологічно чистої електроенергії на рік завдяки встановленню 840 000 сонячних панелей. Покровська СЕС показана на рисунку 1.15 [6].



Рисунок 1.15 – Покровська СЕС

СЕС Яворів – 1. В складі сонячної електростанції встановлено 268 тис. сонячних модулів, а річне виробництво електроенергії складає 73,7 мл кВт × год. Місцезнаходження селище Терновиця, Яворівський район, Львівської обл. Яворів – 1 на рисунку 1.16



Рисунок 1.16 – СЕС Яворів – 1

Як результат, згідно з оглядом та аналізом, енергетична незалежність є важливою в нинішніх умовах життя в країні, оскільки генеруючі потужності не будуть побудовані досить скоро, щоб покрити поточний дефіцит в енергетичній системі. Наразі частка «зеленої» генерації в енергобалансі країни становить близько 18%. Тому збільшення кількості сонячних електростанцій, які можуть працювати незалежно від зовнішньої мережі, є важливим драйвером для децентралізації енергосистеми [6].

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ФОТО-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ ЇЇ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Географічні відомості щодо розташування електростанції

Сонячна станція проєктується для промислового підприємства. Промислове підприємство має адміністративні та виробничі будівлі. Оскільки навколо підприємства присутні інші будівлі, та місцеві дороги для проїзду автотранспорту, встановлення сонячних панелей передбачається на покрівлі цих будівель. Будівлі промислового підприємства складають з двох корпусів, корпус 2 та 2А. Загальні розміри та площа покрівлі складає $S = 1202 \text{ м}^2$, з яких:

- площа покрівлі корпусу 2 – 534 м^2 ;
- площа покрівлі корпусу 2А – 668 м^2 ;
- габарити корпусу 2, $77,3 \times 17,4 \text{ м}$ (ДхШ);
- габарити корпусу 2А, $92,2 \times 18,4 \text{ м}$ (ДхШ).

Форма корпусів та покрівлі промислового підприємства показна на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Корпуси промислового підприємства 2 та 2А

Стаціонарне електропостачання виконується від місцевого постачальника електроенергії. На підприємстві встановлена трансформаторна підстанція загальною потужністю $P_{\text{заг}} = 1260$ кВАр. Електрична підстанція складається із трьох силових трансформаторів. Два силові трансформатори робочі, а третій являється резервним. В трансформаторній підстанції встановлено чотири установки компенсації реактивної потужності. Загальна потужність трансформаторів:

- трансформатор Т1, 630 кВА;
- трансформатор Т2, 630 кВА (Резервний);
- трансформатор Т3, 630 кВА;
- компенсація реактивної потужності КБ1, КБ2, КБ3, КБ4, 250 А;

Розподільчий пристрій трансформаторної підстанція, а саме силових трансформаторів Т1 та Т2, складається із шести панелей живлення. Кожна панель живлення живить свого споживача в тому числі корпуси 2 та 2А, згідно однолінійної схеми живлення підприємства. Живлення корпусу 2 виконується від панелі №1 секція 2, 4, панель №2 секція 6, 8, панель №4 секція 14. Живлення корпусу 2А виконується від панелі №4 секція 13, 15, панель №5 секція 2А, панель №6 секція 21, 22. Живлення секцій виконується із застосуванням плавких запобіжників на максимальний струм 400 А та вимірювальних трансформаторів струму для обліку електроенергії. Живлення від панелей до розподільчих пристроїв корпусів 2 та 2А виконується силовими кабелями марки АСБ-2, АВВГ перерізом від 95 мм^2 до 185 мм^2

2.2 Структурна схема фото-електростанції

Структурна схема - це схематичне зображення основних компонентів або етапів процесу та їхніх взаємозв'язків. Це важливий інструмент для візуалізації складних систем, процесів та електричних схем.

- елемент;
- пристрій;
- функціональну групу;
- функціональну ланку.

Схеми призначені для того, щоб показати загальну структуру пристрою, тобто основні блоки, вузли і деталі, а також основні зв'язки між ними. Блок-схема повинна розкривати, для чого потрібне обладнання, як воно працює в основному режимі і як його компоненти взаємодіють один з одним.

Мережеві сонячні електростанції включають в себе наступні елементи:

- сонячні панелі, які генерують постійний струм під впливом сонячного випромінювання, що падає на їхню поверхню;
- мережеві інвертори, які перетворюють постійний струм (DC), що генерується сонячними панелями, на змінний струм (AC);
- параметри сонячної електростанції, які можуть контролюватися системами моніторингу СЕС;
- лічильники, призначені для моніторингу роботи системи та продажу електроенергії за «зеленими» цінами;
- металеві опорні конструкції або системи обліку для кріплення сонячних панелей на землі, дахах будівель тощо. Металеві опорні конструкції або мобільні обертові сонячні трекери для встановлення сонячних панелей на землі, дахах будівель тощо;
- централізовані мережі ліній електропередач, лінії електропередач (ЛЕП), до яких під'єднані електростанції або підстанції;
- приватні споживачі електроенергії (промислові або побутові електроприлади).

Структурна схема сонячної електростанції показана на рисунку 2.2

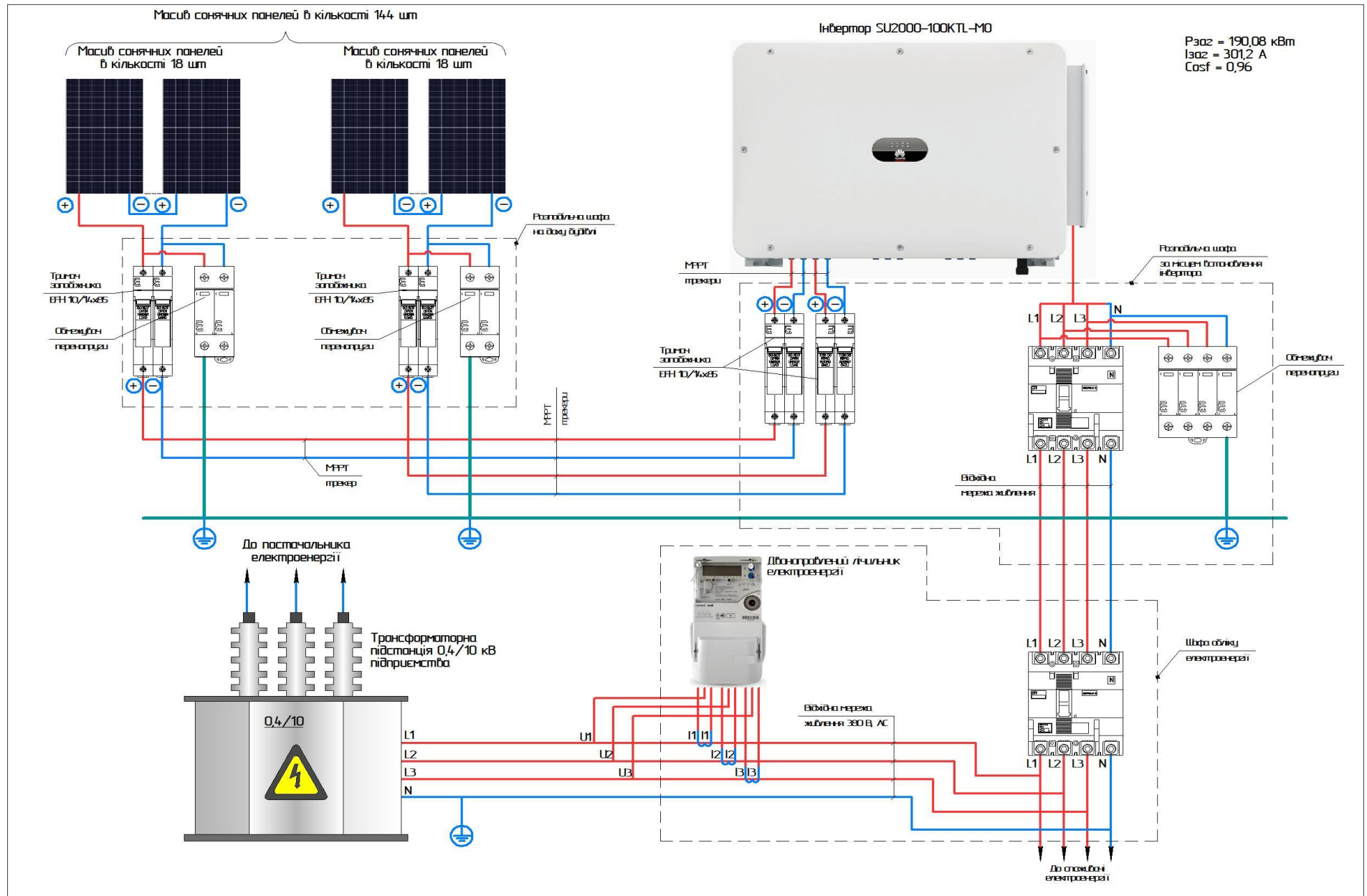


Рисунок 2.2 Структурна схема сонячної електростанції підприємства

2.3 Попередній розрахунок кількості сонячних панелей

Розрахунки сонячних панелей враховують ряд факторів, які впливають на ефективність виробництва енергії, що, в свою чергу, визначає кількість панелей:

- кристалічний склад фото-елементів, монокристалічна або полікристалічна;
- орієнтація панелей – південна, південно-східна, західна;
- оптимальний кут нахилу, при якому інсоляція сонця буде максимальною;
- спектр та інтенсивність сонячної радіації у регіоні встановлення відповідно

до таблиці інсоляції міст України;

- виробник та якість панелей в цілому безпосередньо впливає на їх ефективність, температурний коефіцієнт, швидкість деградації та довговічність;

- якість монтажу та технічного обслуговування;

Виходячи із конфігурації будівель промислового підприємства та із застосуванням сучасних САД програм, можемо попередньо підрахувати загальну кількість сонячних панелей. Загальна площа покрівель обох корпусів складає $S = 1202 \text{ м}^2$. Із урахуванням проходів для обслуговування сонячних панелей та конфігурації покрівлі, прийmemo наступні площі забудови, та занесемо їх в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Площа забудови сонячними панелями покрівлі корпусу 2 та 2А

№ Корпусу	№ ряду	Довжина ряду, м	Ширина панелі, м	Загальна площа, м^2
Корпус 2	1	67,8	2,384	161,63
Корпус 2	2	57,4	2,384	136,84
Корпус 2	3	50,8	2,384	121,1
Корпус 2	4,5,6	23,5	2,384	56
Корпус 2А	1	65,15	2,384	155,3
Корпус 2А	2	66,5	2,384	158,6
Корпус 2А	3	67,8	2,384	161,6

Отже загальна площа забудівлі безпосередньо для сонячних панелей корпусів 2 та 2А, становить $S = 941,47 \text{ м}^2$. З яких:

- загальна площа забудови корпусу 2, складає $475,57 \text{ м}^2$;

- загальна площа забудови корпусу 2А, складає $465,9 \text{ м}^2$.

Розрахуємо кількість сонячних панелей для корпусу 2, за формулою (2.1)

$$N = \frac{S_{\text{пок}}}{S_c} \quad (2.1)$$

де $S_{\text{пок}}$ – загальна площа забудови одного ряду сонячних панелей, м^2 ;

S_c – загальна площа однієї панелі, м^2 .

Загальна площа однієї панелі потужність 660 Вт , згідно із технічними характеристиками заводу виробника, складає $3,1 \text{ м}^2$. Отже порахуємо за формулою (2.1), загальну кількість сонячних панелей для кожного ряду корпусу 2, та занесемо обчислення в таблицю 2.2

Корпус 2:

$$N_1 = \frac{161,63}{3,1} = 52 \text{ шт}$$

$$N_2 = \frac{136,84}{3,1} = 44 \text{ шт}$$

$$N_3 = \frac{121,1}{3,1} = 39 \text{ шт}$$

$$N_4 = \frac{56}{3,1} = 18 \text{ шт}$$

Корпус 2А:

$$N_1 = \frac{155,3}{3,1} = 50 \text{ шт}$$

$$N_2 = \frac{158,6}{3,1} = 51 \text{ шт}$$

$$N_3 = \frac{161,6}{3,1} = 52 \text{ шт}$$

Таблиця 2.2 – Загальна кількість панелей корпусів 2 та 2А

№ корпусу	№ ряду	Кількість панелей, шт
Корпус 2	1	52
Корпус 2	2	44
Корпус 2	3	39
Корпус 2	4	18
Корпус 2А	1	50
Корпус 2А	2	51
Корпус 2А	3	52
Разом:		306

Виходячи з цих розрахунків, отримаємо загальну потужність сонячної електростанції промислового підприємства за формулою (2.2)

$$P_{\text{заг.сес}} = N_{\text{пан}} \times P_{\text{пан}} \quad (2.2)$$

де $P_{\text{заг.сес}}$ - загальна потужність сонячної електростанції, кВт;

$N_{\text{пан}}$ – загальна кількість панелей;

$P_{\text{пан}}$ – загальна потужність однієї панелі, Вт

$$P_{\text{заг.сес}} = 306 \times 660 = 201\,960 \text{ Вт}$$

Приймаємо загальну потужність СЕС промислового підприємства 201,9 кВт. Виходячи з цих розрахунків приймаємо потужність інвертора для підключення сонячних панелей кожного з корпусів за формулою (2.3)

$$P_{\text{інв}} = \frac{P_{\text{заг.сес}}}{2} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{інв}} = \frac{201,9}{2} = 100,95 \text{ кВт}$$

Отже виходячи з розрахунку попередньо можемо сказати, що для підключення розрахункової потужності, необхідно промисловий трифазний інвертор на потужність 110 кВт, але цей показник може бути збільшений або зменшений після більш детального обчислення який ми виконаємо в розділі 4 кваліфікаційної роботи.

2.4 Аналіз основних параметрів сонячної електростанції

Аналіз роботи електростанцій, зокрема сонячних, включає оцінку ключових параметрів, що визначають їх ефективність та продуктивність. Розглянемо основні формули та параметри роботи сонячних електростанцій.

Потужність станцій визначається за формулою (2.4)

$$P = I \times V \quad (2.4)$$

Де P - потужність, Вт;

I - струм, А;

V - напруга, В.

Енергія, що генерується станцією за певний період часу за формулою (2.5)

$$E = P \times T \quad (2.5)$$

де E - енергія, Вт × год;

P - потужність, Вт;

T - час роботи, год.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) за формулою (2.6), показує ефективність перетворення енергії.

$$\mu = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вх}}} \times 100\% \quad (2.6)$$

де μ - коефіцієнт корисної дії, %;

$E_{\text{вих}}$ - корисна енергія на виході;

$E_{\text{вх}}$ - корисна енергія на вході.

Інсоляція, кількість сонячної енергії, що падає на одиницю площі, за формулою (2.7)

$$G = \frac{E_{\text{сон}}}{A} \quad (2.7)$$

де G - інсоляція, Вт/м²;

$E_{\text{сон}}$ - сонячна енергія, що падає на поверхню, Вт×год;

A - площа сонячних панелей, м².

Енергетична густина. Визначає виробіток енергії на одиницю площі панелей (2.8)

$$D = \frac{E}{A} \quad (2.8)$$

де D - густина енергії (Вт× год/м²);

E - енергія (Вт× год);

A - площа панелей, м².

Фактори, що впливають на роботу електростанції:

- кліматичні умови (інтенсивність сонячного світла, температура повітря);
- розташування (географічна широта, кут нахилу сонячних панелей);
- стан обладнання (чистота панелей, якість інверторів та акумуляторів);
- затінення (часткове або повне закриття панелей тінню).

Продуктивність сонячної електростанції. Вихідна потужність станції, обчислюється за формулою (2.9)

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{ном}} \times \mu_{\text{системи}} \quad (2.9)$$

де $P_{\text{вих}}$ - фактична потужність, Вт;

$P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність панелей, Вт;

$\mu_{\text{системи}}$ - загальний ККД системи.

Добовий виробіток енергії визначається за формулою (2.10)

$$E_{\text{доб}} = P_{\text{вих}} \times t_{\text{сон}}$$

де $t_{\text{сон}}$ - тривалість сонячного освітлення, год/добу.

Для того, щоб максимально наблизити точне виробництво фотоелектричних панелей до реальних умов експлуатації, до втрат вихідної потужності на електростанціях, підключених до мережі, додається приблизно 12% на знос компонентів, затінення та сніговий покрив протягом терміну служби системи.

Програма моделювання також враховує втрати через перегрів фотоелектричних модулів влітку. В результаті отримано середні значення продуктивності станції на сьомому та восьмому роках експлуатації. Таким чином, у перші кілька років експлуатації очікувана продуктивність СЕС перевищує розрахункові значення. Це дозволяє найбільш реалістично розрахувати термін окупності для мережевих ФЕС [4, с. 53].

При розрахунку системи автономної сонячної електростанції втрати через комутаційне обладнання, інвертори та акумулятори враховуються приблизно на 30%. Результати моделювання генерації електроенергії використовуються при розробці проектів сонячних електростанцій. У випадку України середньорічна сумарна сонячна енергія коливається від 1 070 кВт × год/м² на півночі до 1 400 кВт × год/м² на півдні. Це хороший показник [7, с. 53].

Орієнтація та кут нахилу фото модулів мають вирішальне значення для ефективної роботи сонячних панелей. Правильно вирівняні панелі максимізують використання сонячної енергії та мінімізують втрати. Орієнтація визначає напрямок, у який спрямовані сонячні панелі.

Південна орієнтація:

- найкращий вибір для північної півкулі;
- панелі орієнтовані на південь отримують найбільшу кількість сонячного випромінювання протягом дня.

Західна або східна орієнтація:

- підходить, якщо потрібно максимізувати генерацію енергії вранці (схід) або ввечері (захід);
- менш ефективна, ніж південна орієнтація.

Північна орієнтація - використовується рідко, здебільшого в південній півкулі.

Кут нахилу панелей визначає, наскільки ефективно вони отримують сонячну енергію протягом року. Оптимальний кут нахилу визначається географічною широтою місцевості, за формулою (2.11)

$$\text{Кут}_{\text{опт}} = \text{Широта} \quad (2.11)$$

Наприклад, якщо широта становить 45°, оптимальний кут нахилу теж становитиме 45°.

Однак це не означає, що будь-який напрямок, відмінний від ідеального, є неправильним. У більшості випадків дах об'єкта має складну форму і не виходить на південь. Тому необхідно розуміти, як це впливає на кількість електроенергії, що генерується світловим модулем за певний рік. На рисунку 2.3 показано відсотки ефективності виробництва енергії залежно від положення сонячної батареї [7, с. 54].

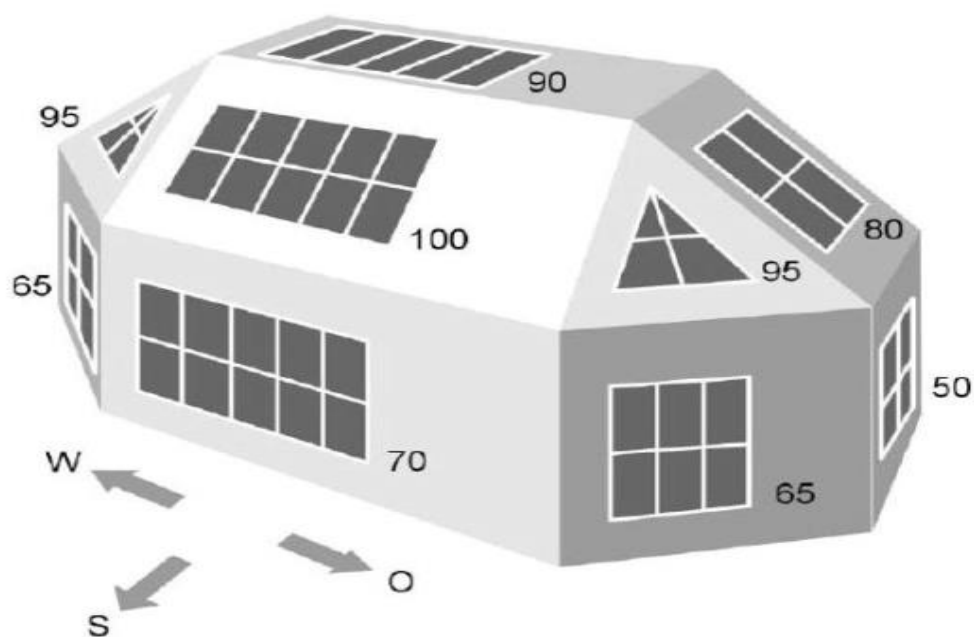


Рисунок 2.3 - Ефективність вироблення електроенергії залежно від розташування масиву сонячних батарей

Тип і температура установки. Тип установки фото модулів також впливає на продуктивність сонячної електростанції. Наприклад, при встановленні на землі або якщо станція знаходиться на плоскому даху, автономні фото модулі мають кращі вентиляційні та охолоджувальні властивості, що призводить до дещо більшої електричної потужності, ніж станція на скатному даху.

Це важливо при експлуатації сонячних панелей у спекотні літні дні. Це ж правило стосується і інверторів. Якщо інвертор занадто сильно нагрівається, його потужність буде знижена, щоб запобігти перегріванню і виходу з ладу. Тому не встановлюйте інвертори в місцях з прямими сонячними променями [7, с. 55].

Характеристики обладнання. В обладнанні сонячних електростанцій є втрати, пов'язані з перетворенням, передачею та щорічним зносом компонентів, але вони невеликі. Цих втрат можна частково уникнути, якщо правильно спроектувати станцію і вибрати якісне, сертифіковане, вискоефективне обладнання [7, с. 55].

Затінення. Затінення фотоелектричних модулів зменшує кількість сонячного випромінювання, що отримується фотоелектричними модулями в короткостроковій або довгостроковій перспективі, і призводить до зниження ефективності. Для наземних електростанцій та електростанцій з плоским дахом рекомендується, щоб відстань між фотоелектричними панелями була щонайменше в 1,7 рази більшою за висоту модуля.

Якщо усунути затінення неможливо, то в конструкцію станції можна впровадити рішення цієї проблеми, наприклад, використання додаткових шунтувальних діодів для фото модулів або пристроїв оптимізації потужності для зменшення втрат електроенергії. Це не виключає погіршення продуктивності, але може частково її компенсувати. Для забезпечення повноцінної роботи сонячної електростанції необхідно стежити за тим, щоб фотоелектричні модулі не піддавалися впливу снігу або товстого шару пилу протягом тривалого часу [7, с. 55].

Робота сонячних панелей. Продуктивність сонячних панелей включає в себе кілька ключових параметрів, які визначають їх ефективність у перетворенні сонячної енергії в електричну. Основні характеристики включають потужність, напругу, струм та ефективність.

Потужність сонячної панелі розраховують за формулою (2.12)

$$P = V \times I \quad (2.12)$$

де P - потужність, Вт;

V - напруга, В;

I - струм, А.

Коефіцієнт корисної дії сонячної панелі розраховується за формулою (2.13)

$$\mu = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2.13)$$

де P_{out} - вихідна потужність панелі, Вт;

P_{in} - потужність сонячного випромінювання, Вт.

Потужність, що поглинається панеллю, можна розрахувати за формулою (2.14)

$$P_{\text{in}} = G \times A \quad (2.14)$$

де G - інсоляція, Вт/м² (кількість сонячної енергії, що потрапляє на одиницю площі поверхні за одиницю часу. Вона залежить від географічного місця, пори року, погоди та часу доби);

A - площа сонячної панелі, м².

Температура панелі також впливає на ефективність. Потужність панелі може зменшуватись із підвищенням температури. Це можна врахувати за допомогою температурного коефіцієнта потужності за формулою (2.15)

$$P_{\text{corr}} = P_{\text{max}}(1 - \alpha(T_{\text{panel}} - T_{\text{ref}})) \quad (2.15)$$

де P_{corr} - коригована потужність панелі, при температурі панелі, T_{panel} ;

α - температурний коефіцієнт панелі;

T_{panel} - температура панелі;

T_{ref} - референтна температура панелі, зазвичай 25°.

Коефіцієнт перетворення сонячного світла в електрику називається ККД сонячного елемента. ККД визначається за стандартних умов тестування фотоелектричних модулів. Стандартні умови - температура навколишнього середовища 25 °С, АМ 1,5 G, світловий потік 1 000 Вт/м² [7, с. 57]. Графік типових характеристик фотоелектричних модулів показано на рисунку 2.4.

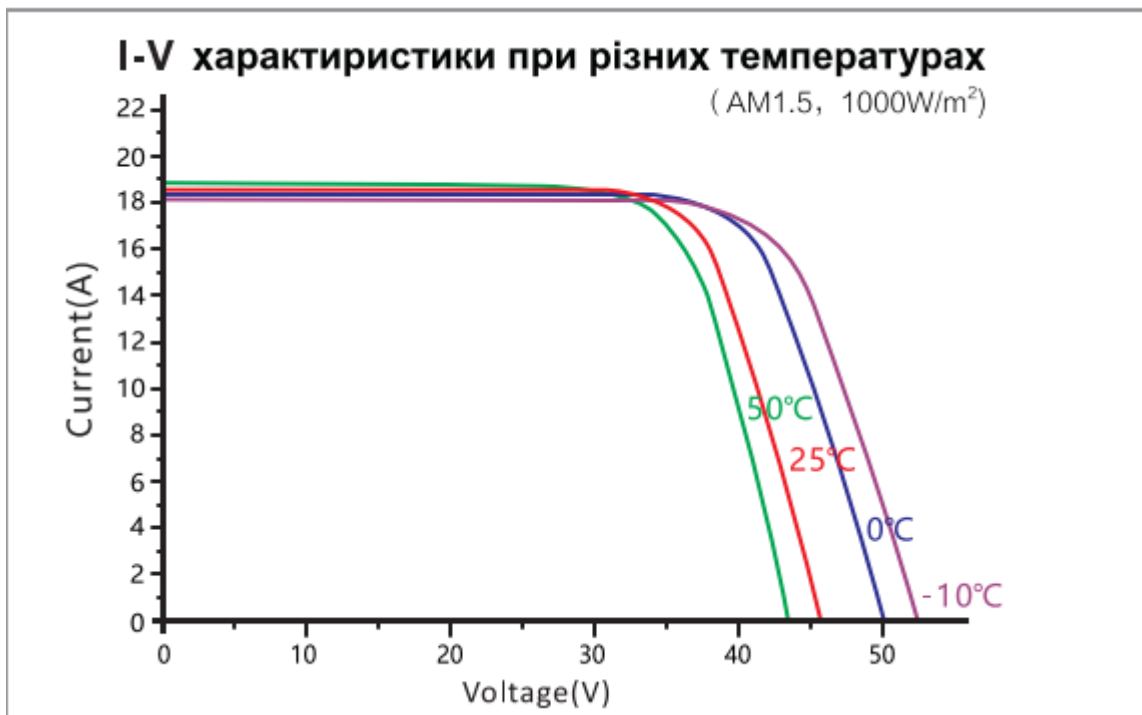


Рисунок 2.4 – Типова продуктивність сонячного модуля за різних температур навколишнього середовища сонячної панелі RSM132-8-660M

Крім технічних характеристик обраних фото модулів, на ефективність сонячних панелей впливають експлуатаційні та проектні рішення. Як зазначалося вище, продуктивність сонячної електростанції залежить від:

- географічного розташування;
- орієнтації та кута нахилу сонячних панелей;
- типу установки та температурних характеристик;
- затінення.

Належне функціонування і термін служби сонячних панелей багато в чому залежить від якості виконання проектних і монтажних робіт. Наприклад, важливо враховувати температурні умови місця встановлення сонячних панелей. З вольт-амперного графіка видно, що чим вища температура, тим нижча ефективність сонячних панелей у виробленні електроенергії в літні дні. [7, с. 58]. Технічні характеристики сонячних панелей на рисунку 2.5.

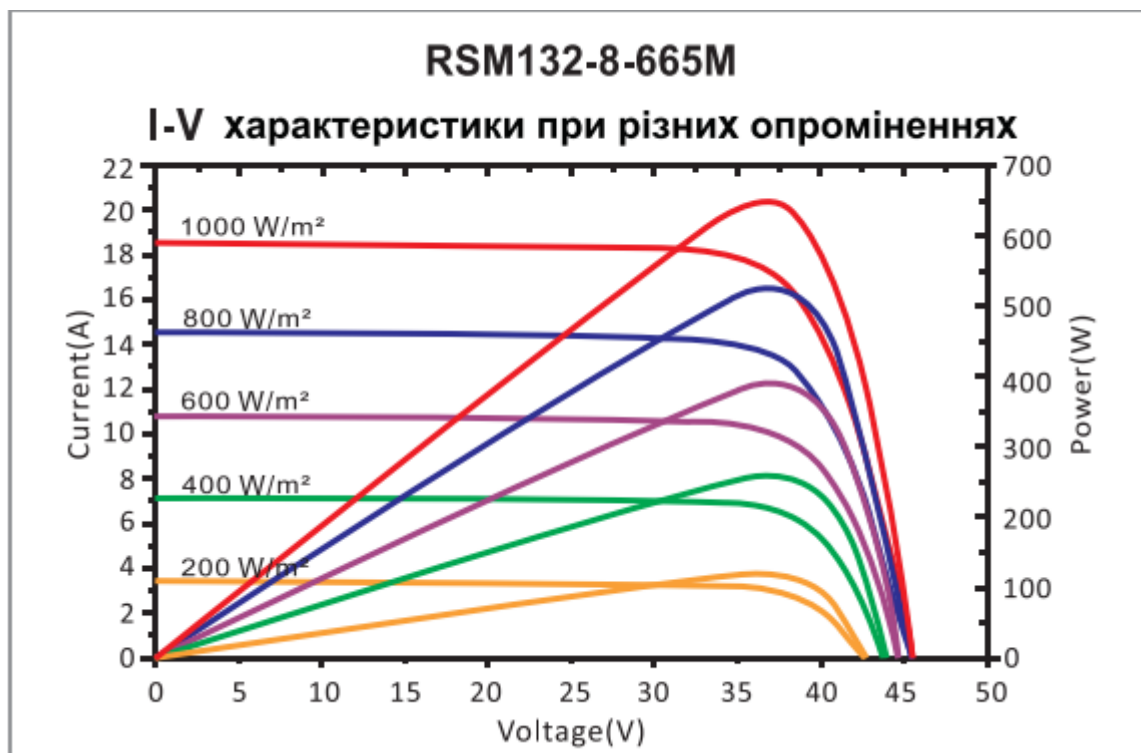


Рисунок 2.5 – Вольт-амперна характеристика сонячної панелі RSM132-8-660M

Тому, наприклад, в системах, встановлених на скатних дахах, важливо забезпечити вентиляцію, залишивши зазори між панелями і дахом, щоб знизити температуру фотоелектричних модулів і зменшити ймовірність передчасної деградації сонячних панелей. Так само високі температури можуть призвести до деградації герметиків, що вплине на якість системи та ефективність сонячних панелей в майбутньому. Такі ж проблеми, пов'язані з розгерметизацією, можуть виникати в панелях з низькою якістю збірки, використанням дешевших матеріалів або в суворих зовнішніх умовах експлуатації (сильне УФ-випромінювання, град, часті дощі, різкі перепади температури вдень і вночі) [7, с. 58].

Особливу увагу слід звернути на якість таких конструктивних елементів, як плівка EVA між склом і сонячним елементом або ламіноване покриття сонячної панелі. Передчасний знос цих компонентів може призвести до запотівання поверхні фотомодуля і зниження вологозахисту паяних контактів фотомодуля. А запорукою довготривалої, безперебійної роботи сонячних панелей є якість паяних контактів. Якщо якість виготовлення дешевих сонячних панелей низька, то вже через два-три роки контакти почнуть перегріватися, і вся сонячна панель втратить свою функцію.

Термін служби сонячної панелі визначається коефіцієнтом деградації сонячного модуля, який залежить від технологічності та якості продукту виробника. Більшість виробників встановлюють щорічну втрату потужності сонячних панелей на рівні 0,8-1% (є також нові моделі преміум-класу з коефіцієнтом 0,3-0,5%). Це гарантує, що через 20-25 років, коли сонячні панелі будуть виготовлені і встановлені на об'єкті покупця, вони будуть виробляти 80-85% від своєї річної встановленої номінальної потужності.

Полікристалічні сонячні панелі деградують трохи швидше, ніж монокристалічні. Залежно від цінової політики, термін окупності систем з використанням полікристалічних сонячних модулів набагато швидший, але вони потребують заміни після 30 років експлуатації. Особливо це стосується сонячних панелей середнього та низького цінового сегменту [7, с. 59].

Отже з вище сказано за допомогою онлайн програми PVGIS 5.2 теоретично розрахуємо кількість виробленої електроенергії на корпусах підприємства розташованого в м. Полтава. При розрахунку використовуються наступні дані:

- база даних сонячної радіації PVGIS-SARAH2;
- встановлена потужність СЕС 202 кВт.

На рисунку 2.6 показаний теоретичний розрахунок виробництва електроенергії на рік

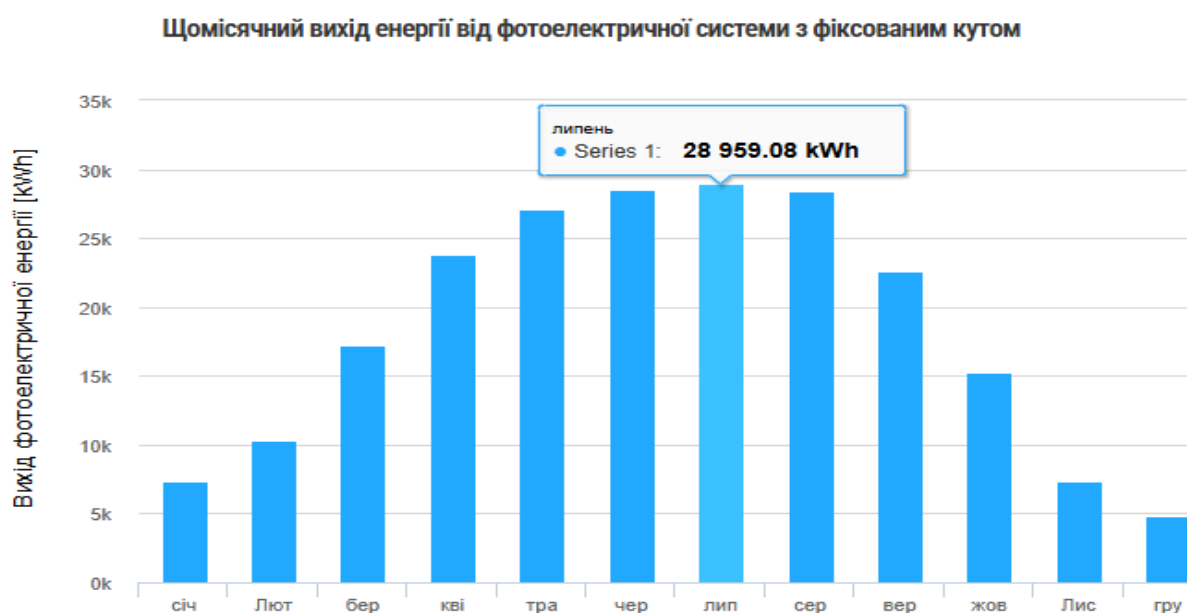


Рисунок 2.6 – Виробництво електроенергії сонячною електростанцією потужність 202 кВт в рік

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ФОТО-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Вибір сонячних панелей

Основні характеристики сонячних панелей визначаються в лабораторних умовах і вказуються виробником в технічних характеристиках сонячної панелі. До них відносяться межі ефективності, потужності, напруги, струму і допустимої робочої температури. Наскільки точно ці показники відповідають реальним, залежить від різних виробничих факторів, таких як технологія, матеріали і контроль якості Tier 1, Tier 2 і Tier 3. Найбільш точно відповідають заявленим характеристикам сонячні панелі класу Tier1.

Tier 1 - в цю категорію входять лише 2% світових виробників сонячних електростанцій. Тому вартість таких станцій досить висока.

Tier 2 - при виробництві сонячних панелей цієї категорії використовується ручна і роботизована праця, а сучасні технології застосовуються менш активно.

Tier 3 - продукція третього класу виготовляється вручну, а якість збірки незадовільна. Сонячні панелі цієї категорії варто розглядати як тимчасове рішення.

При декларуванні потужності конкретної сонячної панелі похибка може становити до 5%. Ефективність залежить від типу кремнію, використаного в приймачі. Отже виберемо монокристалічну панель виробника компанії Risen Energy Company Limited з класифікацією tier1, потужністю 660 Вт, тип модулю RSM132-8-660M. Компанія Risen Energy – це Китайська фотоелектрична компанія, яка заснована у 2002 році та спеціалізується повним циклом виробництва сонячних панелей та світлодіодних ламп. На рисунку 3.1 зображено сонячний модуль.

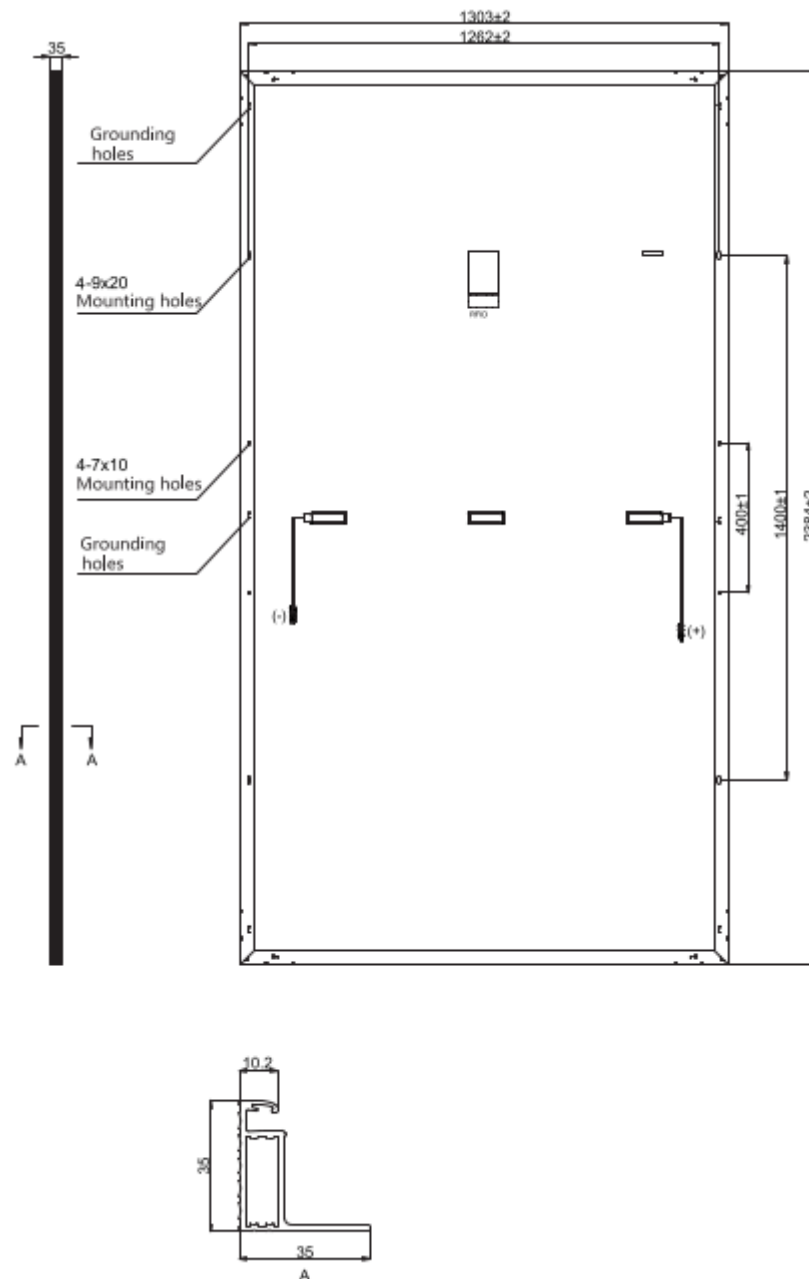


Рисунок 3.1 – Сонячний фото модуль RSM132-8-660M

Ключові особливості:

- компанія Risen Energy входить до класифікатора tier1 з незалежним сертифікованим сучасним автоматизованим виробництвом;
- кращий температурний коефіцієнт;
- висока стійкість до деградації PID;
- позитивний толеранс потужності $0 \pm 3\%$;
- вітрове навантаження 2400 Па та снігове навантаження 5 400 Па за певного способу встановлення;

В таблиці 3.1 вказані технічні характеристики фото модулю

Назва характеристики	Характеристика
Електричні характеристики (STC)	
Вихідна потужність, $P_{max}(W_p)$	660
Напруга холостого ходу, $V_{oc}(V)$	45.75
Струм короткого замикання, $I_{sc}(A)$	18.33
Напруга, $V_{mppp}(V)$	38.12
Струм, $I_{mppp}(A)$	17.32
ККД модулю (%)	21.2
Електричні характеристики (NMOT)	
Вихідна потужність, $P_{max}(W_p)$	500
Напруга холостого ходу, $V_{oc}(V)$	42.55
Струм короткого замикання, $I_{sc}(A)$	15.03
Напруга, $V_{mppp}(V)$	35.38
Струм, $I_{mppp}(A)$	14.13
Механічні характеристики	
Тип комірки	Монокристал
Конфігурація комірок	132 комірки (6x11+6x11)
Вага	33,5 кг
Суперстрат	Високо провідний метал з низьким вмістом заліза, загартоване ARC скло
Субстрат	Білий аркуш
Рамка	Анодований алюмінієвий сплав, сріблястий колір
Розподільна коробка	IP68, 1500 VDC, 3 обхідних діода Шотки
Вихідні кабелі	4 мм ² , плюс (+) 350 мм, мінус (-) 230 мм (роз'єм в комплекті)
Тип конектора	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

- **STC:** 1000 Вт/м² випромінювання, температура модулю 25 °С, АМ 1.5 згідно з EN 60904-3. Ефективність модуля (%) : округлення до найближчого числа

- **NMOT:** 800 Вт/м² випромінювання, температура модулю 20 °С, швидкість вітру 1 м/с

- Продовження таблиці 3.1

Назва характеристики	Характеристика
Температура та максимальні значення	
Номінальна температура модуля (NMOT)	$44^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Температурний коефіцієнт, V_{oc}	$-0,25\%/C^{\circ}$
Температурний коефіцієнт, I_{sc}	$-0,04\%/C^{\circ}$
Температурний коефіцієнт, P_{max}	$-0,34\%/C^{\circ}$
Робоча температура	$-40^{\circ}\text{C} \pm 80^{\circ}\text{C}$
Максимальна напруга системи	1500 VDC
Максимальний номінал запобіжників	30 А
Обмеження зворотного струму	30 А

Вид спереду сонячного модуля RSM132-8-660M показано на рисунку 3.2

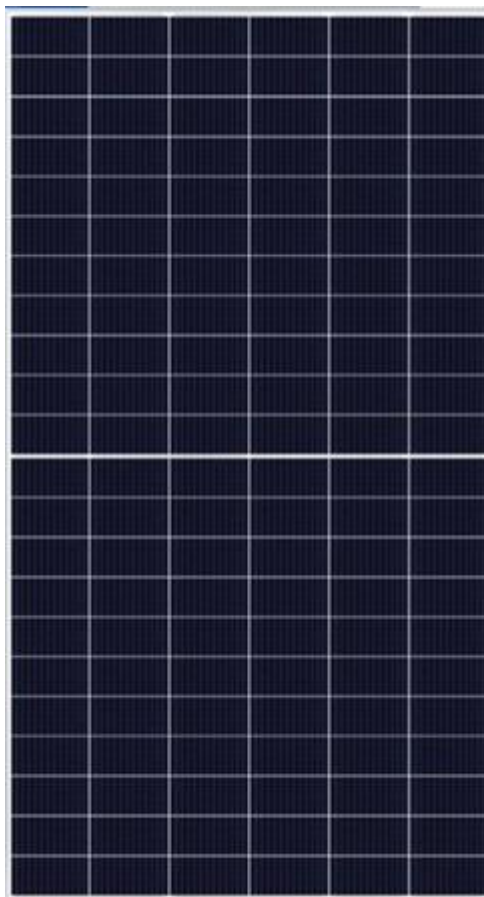


Рисунок 3.2 – Сонячний модуль Risen RSM132-8-660M

3.2 Вибір інвертора

Інвертори випускаються в різних конструкціях, з різними технічними параметрами, цінами, з автоматичним захистом або без нього. Однак їх можна розділити на три групи залежно від типу взаємодії зі стандартною електричною мережею:

- Автономні, працюють без взаємодії із зовнішнім джерелом живлення і використовуються для живлення автономних систем;

- Мережеві типи працюють паралельно із зовнішньою електромережею, крім перетворення напруги, цей тип виконує контроль якості електроенергії та передає надлишок енергії в зовнішню електромережу. Ці типи мають ряд варіантів конфігурації, які дозволяють ретельно налаштувати необхідний режим роботи.

- Комбіновані, результат поєднання двох попередніх. Мають велику кількість налаштувань, які дозволять ретельно відрегулювати необхідний режим роботи.

Існує безліч різних типів сонячних інверторів. Серед останніх моделей на ринку є 12, 24, 48, та 96 вольтові моделі. Напруга визначається на основі вихідної потужності. Основна вимога до цього типу пристроїв - забезпечення необхідної потужності. Цей показник дуже тісно пов'язаний з низькою напругою на вході.

При виборі інвертора для автономної системи слід звернути увагу на форму генерованих імпульсів струму. Дешеві моделі призначені для генерації змінного струму у формі трикутника або квадрата (меандр). Вони підходять для живлення нагрівальних приладів і ламп розжарювання без електронних компонентів. Спроби жити таким струмом трансформатори або електродвигуни можуть призвести до нестабільної роботи і виходу обладнання з ладу, навіть якщо напруга в мережі стандартна.

Струм, імпульси якого нагадують трапецієподібну форму. Вважається, що він має вищу якість, але наразі майже не виробляється інверторів, які можуть його виробляти. Найпоширеніші моделі призначені для виробництва «модифікованої синусоїди», яка за зовнішнім виглядом схожа на синусоїду.

Дана форма сумісна з більшістю сучасних електроприладів та електроінструментів. Однак при споживанні цього типу струму під час роботи обладнання можуть виникати різні шуми, наприклад, дзвін. Це свідчить про проблему в генерації струму. Для її усунення необхідно встановити спеціальну систему фільтрації. Найякісніші інвертори перетворюють струм у форму «чистого синуса». Це настільки досконало, що електроенергію можна сміливо назвати ідеальною. В цьому випадку до обладнання претензій немає, але основна проблема полягає в самому інверторі, який має досить великі розміри і різниться в ціні. Важливу роль відіграє саме ККД. Якщо ця характеристика досить приваблива в обраній моделі, то втрати зводяться до мінімуму. ККД більшості сучасних інверторів перевищує 90%.

Обираючи інвертор, потрібно звертати увагу на його дисплей. Дисплей повинен бути максимально деталізованим. Система повинна забезпечувати захист від короткого замикання і перевантажень, а також мати контроль напруги на вході акумулятора і виході в мережу. Рекомендується вибирати модель, яка витримує короткочасні перевантаження, що в 1,5-2 рази перевищують номінальне навантаження. Це гарантує, що опалювальне обладнання та електромережа можуть бути використані з потужністю, пропорційною номінальній потужності інвертора.

Отже з вищесказаного обираємо інвертор на вихідну трифазну потужність. Оскільки за нашими розрахунками потужність нашої СЕС 201 кВт, обираємо інвертор типу Huawei SUN2000-110KTL-M0, номінальна потужність інвертора 110 кВт. Оскільки у нас потужність 201 кВт, нам необхідно два інвертора працюючих паралельно, та синхронізуючись між собою.

Принцип роботи даної СЕС наступний, до кожного із інвертора підключено 153 стрінга, 20 панелей в 1 стрінг та 1 стрінг з 13 панелей. Інвертор має змогу підключати 10 стрінгів, 8 буде задіяно. Далі вихід з інвертора 380 В подаємо на силові шини силового трансформатора підприємства, через автоматичні вимикачі.

На рисунку 3.3 показаний інвертор виробника Huawei.



Рисунок 3.3 – Трифазний інвертор потужністю 110 кВт Huawei SUN2000-110KTL-M0

Основною і найважливішою перевагою цього інвертора - це 10 MPPT трекерів з 20 входами. Таким чином, до інвертора можна підключити 20 масивів фото модулів. При цьому рівень ефективності кожного масиву є максимальним, оскільки кожен масив працює за алгоритмом MPPT. Діапазон MPPT становить 200-1000 В. Інвертор має потужність 110 кВт, але може витримувати значне перевантаження мережі змінного струму (потужність фотоелектричного масиву). Додаткові переваги інверторів.

- Високий коефіцієнт корисної дії (коефіцієнт корисної дії інвертора може досягати 98,6% і може перетворювати постійний струм на змінний з мінімальними втратами);

- Апаратні переваги (інтелектуальна діагностика вольт-амперних характеристик сонячної батареї. Відсутність запобіжників і трансформаторної топології в інверторі);

- Система захисту (вбудований захист від перенапруги постійного та змінного струму. Інтелектуальна система захисту забезпечує захист від коротких замикань і перевантажень).

- Система інтерфейсу та конфігурації. Інвертор підтримує зв'язок по шині MBUS і RS485. Моніторинг на основі мобільного додатку Fusion Solar дозволяє інженерам спростити конфігурацію пристрою і легко змінювати робочі налаштування інвертора. Тому інвертор не потребує вбудованого дисплея;

- Сумісність із системами моніторингу. Придбавши спеціальний Wi-Fi або 4G донгл, роботу цього інвертора можна дуже легко контролювати. Можна переглядати актуальні дані на виході станції, звіти про її роботу за певний період часу, а також виявляти несправності та збої в роботі системи;

- Природне охолодження. Відсутність зовнішнього вентилятора забезпечує кращий захист інвертора від вологи та пилу (IP65). При цьому система охолодження заснована на природній конвекції [8].

На рисунку 3.4 показана електрична схема роботи інвертора

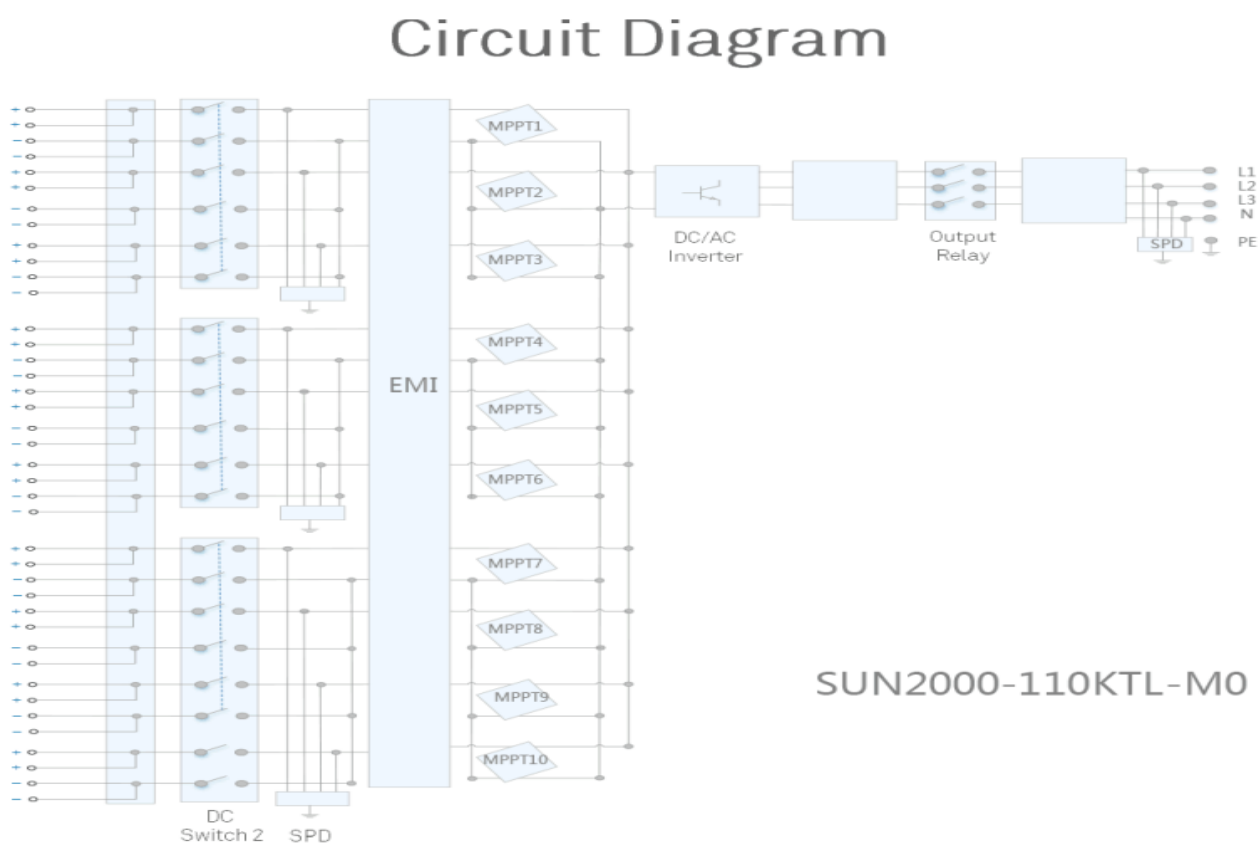


Рисунок 3.4 – Електрична схема інвертора Huawei SUN2000-110KTL-M0

В таблиці 3.2 вказані технічні характеристики інвертора

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики інвертора SUN2000-110KTL-M0

Максимальна ефективність	98.8%
Вхід (Input)	
Максимальний вхідна напруга	1 100 В
Максимальний струм МРРТ	26 А
Максимальний струм короткого замикання МРРТ	40 А
Діапазон робочої напруги МРРТ	200 – 1000 В
Діапазон напруги при МРРТ при повному навантаження	540 – 800 В
Номінальна вхідна напруга	600 В
Кількість входів	20
Кількість МРР трекерів	10
Виходи (Output)	
Номінальна активна потужність	110 000 Вт
Максимальна потужність	121 000 ВА
Максимальна активна потужність при $\cos \varphi = 1$	121 000 Вт
Номінальна вихідна напруга	3x220/380 В, 3x220/400 В, 3W+N+PE
Номінальна частота мережі змінного струму	50 Гц
Номінальний вихідний струм	167,2 А (380 В АС), 158,8 А (400 В)
Максимальний вихідний струм	185,7 А (380 В АС), 176,4 А (400 В)
Діапазон регулювання коефіцієнта потужності	0,8
Функції захисту	
Функція відключення зі сторони входу	Так
Захист від відключення мережі	Так
Захист від перевантаження змінним струмом	Так
Захист від не правильної полярності	Так
Розпізнавання не справності масиву	Так
Запобіжник перенапруги постійного струму	Тип 2
Запобіжник перенапруги змінного струму	Тип 2

Продовження таблиці 3.2

Визначення опору ізоляції постійного струму	Так
Контроль залишкового струму	Так
Комунікаційні інтерфейси	
Дисплей	Індикація, Bluetooth +APP
Інтерфейс RS 485	Так
USB	Так
MBUS	Так
Загальні характеристики	
Розміри	1035x700x365 мм
Маса	85 кг
Температура експлуатації	-25 C°, + 60 C°
Охолодження	Природне
Експлуатація над рівнем моря	5 000 м
Експлуатація при відносній вологості	0 – 100 %
Тип роз'єму DC	Amphenol HH4
Тип роз'єму AC	OT
Кліматичне виконання	IP 65
Топологія	Без трансформаторна

3.3 Вибір кабельних провідників

Для підключення сонячних панелей між собою та у з'єднувальних коробках або шафах, необхідно врахувати наступні параметри:

- напругу мережі;
- вид струму, змінний чи постійний;
- потужність навантаження;
- вид і характер навантаження;
- коефіцієнт одночасного включення з великими пусковими струмами;
- схильність до тривалих навантажень мережі;
- рівень струму короткого замикання;
- спосіб монтажу;
- механічної стійкості
- падіння напруги, у межах нормальної роботи електроприймачів

Існує три типи силових кабелів і проводів: силові, контрольні та спеціальні. Залежно від потужності навантаження, силові кабелі підходять для передачі великих струмів, тоді як кабелі управління підходять для передачі малих струмів. Кабелі та дроти також відрізняються за способом прокладання в повітрі або на землі. Залежно від матеріалу, з якого виготовлені жили, вони можуть бути алюмінієвими, мідними або лудженими.

Оболонка кабелю є не менш важливим фактором при виборі провідника. Оболонка захищає кабель від вологи, сонячних променів, механічних пошкоджень і різних агресивних речовин. Найпоширенішими матеріалами для оболонки є:

Метал (для високовольтних ліній та прокладання в землі);

- ПВХ пластик (загальнопромислові провідники та стаціонарні установки);
- резина (оболонка для підключення рухомих з'єднань).

Таким чином, при виборі та розрахунку перетину кабелю по потужності і довжині, а також іншими параметрами, важливо враховувати вид оболонки.

Кожна сонячна панель генерує певну напругу в діапазоні від 12 В до 1500 В. Тому необхідно підбирати силові кабелі, виготовлені спеціально для сонячних електростанцій. Попередні розрахунки показують, що для 20 сонячних панелей по 660 Вт, з'єднаних послідовно, напруга живлення становить 915 В, а сила струму не перевищує 20 А. Згідно з цим розрахунком, для підключення сонячних панелей до розподільчої шафи необхідний силовий кабель з напругою вище 1000 В.

Обираємо силовий провід марки Solar H1Z2Z2. Провід H1Z2Z2 – це одножильний силовий кабель з мідними лудженими жилами, ізоляцією та оболонкою із шитого полімеру.

Кабелі Solar H1Z2Z2 використовуються для підключення сонячних панелей в фотоелектричних електроустановках і для підключення джерел живлення в фотоелектричних системах, що використовують поновлювані джерела енергії, особливо для масивів сонячних панелей на фотоелектричних електростанціях. Застосовуються всередині і зовні приміщень в стаціонарних установках, трубопроводах і системах.

Конструкція кабелю базується на багатодровових мідних жилах, виготовлених з лудженого тонкого дроту класу гнучкості 5 (ДСТУ EN 60288). Ізоляція та оболонка жил виготовлені із зшитого поліетилену. Така структура забезпечує гнучкість жили та її стійкість до механічних пошкоджень.

Номінальний переріз жил становить від 1,5 до 240 мм². Діапазон робочих температур SOLAR H1Z2Z2-К становить від -40°C до $+90^{\circ}\text{C}$. Допустима температура прокладання кабелю, від -25°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Максимальна температура нагріву жили під час роботи становить до $+120^{\circ}\text{C}$ при температурі повітря $+90^{\circ}\text{C}$, а термін служби кабелю при максимальній температурі обмежений до 20 000 годин. Кабелі Solar H1Z2Z2 розраховані на 1500 В постійного струму і максимально допустиму напругу 1800 В. Розрахунок перерізу кабелю наведено в розділі 4. Зовнішній вигляд кабелю Solar H1Z2Z2 показаний на малюнку 3.5. [9].



Рисунок 3.5 Силовий кабель Solar H1Z2Z2

3.4 Система кріплення сонячних панелей

Кріплення для сонячних панелей - це система з'єднань, яка використовується для встановлення панелей на різних поверхнях, таких як дахи та наземні конструкції. Основні елементи кріплення сонячних панелей:

- кронштейни, використовуються для фіксації панелей на даху чи інших поверхнях, мають бути міцними та стійкими до погодних умов;

- рейки, направляючі на яких фіксуються сонячні панелі. Рейки застосовують для рівномірного розподілення ваги панелей;

- Затискачі, застосовуються для фіксації панелей до рейок;

- Анкерні болти та шурупи, використовуються для кріплень рейок та кронштейнів до поверхні даху або наземної конструкції;

- Кутики та профілі, елементи для забезпечення правильного кута нахилу панелей, що збільшить їх ефективність залежно від положення сонця.

Види систем кріплень:

Встановлення сонячних панелей на даху. Найпоширеніший спосіб встановлення панелей - на скатний чи плоский дахах. Система монтажу розроблена таким чином, щоб не порушувати цілісність покрівлі та забезпечувати максимальну стабільність конструкції [10].

Наземні конструкції. Використовується, коли дах не підходить для встановлення панелей або коли для встановлення сонячної електростанції потрібна велика площа. За допомогою наземних сонячних панелей, панелі можна встановити під оптимальним кутом для досягнення максимальної ефективності.

Інтегрована система. Ці системи є частиною конструкції даху. Панелі встановлюються як покриття або фасадні елементи будівель. Такий підхід забезпечує естетичний зовнішній вигляд та максимальну оптимізацію простору.

Види кріплень сонячних панелей:

- Статичне кріплення;
- Динамічне кріплення.

Статичні кріплення - це нерухомі кріплення, які з'єднують панелі в одному положенні під фіксованим кутом нахилу. Їх перевагами є простота монтажу, надійність і низька вартість. Вони також не потребують обслуговування.

Динамічні системи кріплення - це системи з рухомим механізмом, який автоматично змінює кут нахилу сонячних панелей відповідно до положення сонця. Це підвищує ефективність системи і збільшує виробництво енергії до 30%, оскільки оптимізує захоплення денного світла протягом дня [10]. На рисунку 3.6 показана система кріплень сонячних панелей до даху будівлі.

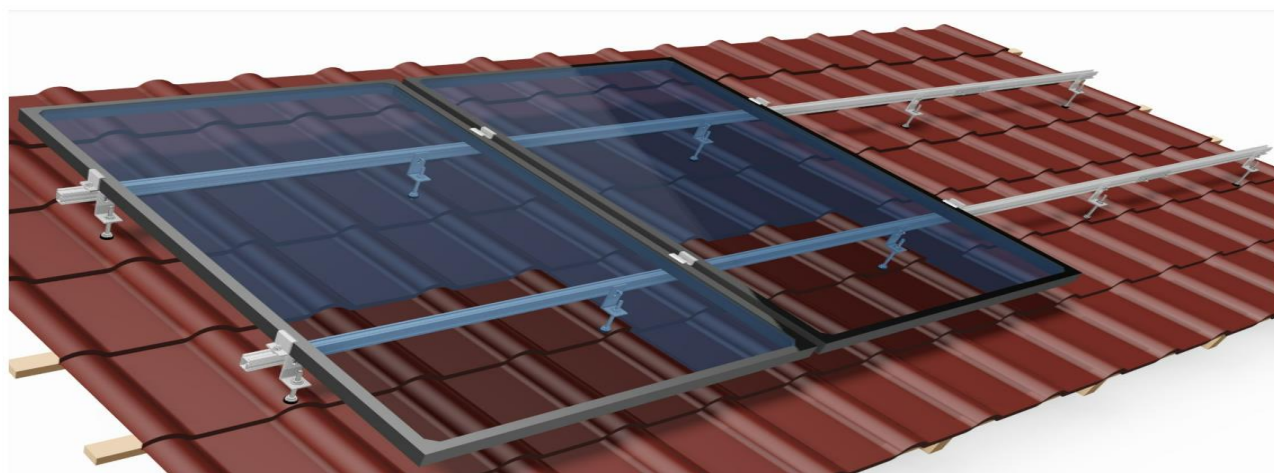


Рисунок 3.6 Система кріплень сонячних панелей

4 ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СТАНЦІЇ

4.1 Узгодження потужності інвертора та сонячних панелей

У розділі 2 було попередньо підраховано, що кількість сонячних панелей на даху корпусів 2 та 2А можна встановити в кількості 306 шт, оскільки дахи будівель разом складають $941,47 \text{ м}^2$, виходячи з цих попередніх підрахунків загальна потужність всієї станції дорівнює 200 кВт, тому для обробки такої потужності було вибрано інвертор на 110 кВт в кількості 2 шт.

Але в будь яких сонячних панелях існує такий показник, як STC та NMOT. Показник STC – це стандартні тестові умови, що відповідають роботі сонячної панелі в ідеальних умовах, тобто іншими словами у кожної сонячної панелі є свої електричні характеристики для показника STC та NMOT вони створені в лабораторних умовах заводу виробника. Отже показник STC прямо впливає на вихідну напругу та струм сонячної панелі, оскільки вимірювання проводилися при температурі $+25^\circ\text{C}$, а сонячна інтенсивність складала 1000 Вт/м^2 .

Показник NMOT – номінальна робоча температура сонячного елемента при сонячній інтенсивності 800 Вт/м^2 , а температура $+20^\circ\text{C}$.

Тому для правильного розрахунку кількості сонячних панелей звернемося до основних технічних показників та температурних коефіцієнтів параметру STC сонячної панелі Risen RSM132-8-660M.

Отже для розрахунку кількості сонячних панелей необхідно розглянути основні її параметри:

V_{oc} – це напруга відкритого ланцюга, яка генерується сонячною панеллю, коли вона не підключена до жодного навантаження. Важливий параметр, який вказує рівень напруги панелі. Показник залежить від таких факторів, як розмір панелі, сонячної радіації, яка вона одержує та температури нагріву сонячної панелі. Чим вище значення V_{oc} , тим вищу напругу вона може генерувати.

I_{sc} – це струм короткого замикання (КЗ), який проходить через сонячну панель у разі створення цього короткого замикання. Параметр вказує, який струм може видавати сонячна панель при її максимальній потужності. Залежить від габаритного розміру панелі та рівня випромінювання сонячної радіації, яка вона отримує. Чим вище параметр I_{sc} , тим більший струм може генерувати панель.

V_{mp} – це показник максимальної напруги потужності, яка генерує панель у максимальні точки вихідної потужності. Параметр вказує рівень напруги при якому сонячна панель працює на максимальній потужності.

I_{mp} – це показник струму максимальної потужності, яка генерує панель у точці максимальної вихідної потужності. Параметр вказує на максимальний струм, який може забезпечити сонячна панель.

Розглянемо температурні значення при електричних характеристиках панелі випробуваними в параметрі STC:

V_{oc} – показник напруги, яка видається сонячним модулем при зменшенні температури навколишнього середовища, а отже і самої панелі. Чим нижча температура навколишнього середовища, тим більший показник напруги холостого ходу. За цим показником можна виміряти максимальну допустиму напругу панелей які зібрані декількох модулів.

I_{sc} – показник струму, такий самий показник, як і показник V_{oc} температурного значення. Тобто чим менше температура панелі, тим максимальний струм вона може згенерувати.

Отже у закінчення розгляду основних показників сонячної панелі, можна сказати, що сонячні панелі спроектовані та розроблені для роботи в різних умовах та їх продуктивність оцінюється на основі різних параметрів. Оцінюючи ці параметри, можна обрати підходящі сонячні панелі, за потужністю, струмом та напругою для нашого конкретного застосування.

Для точного розрахунку кількості сонячної панелі занесемо ці показники в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Електричні характеристики панелі Risen RSM132-8-660M в температурному параметрі STS

Потужність панелі, P_{\max}	660 Вт
Напруга холостого ходу, V_{oc}	45.75 В
Струм короткого замикання, I_{sc}	18.33 А
Максимальна напруга, V_{mp}	38.12 В
Максимальний струм, I_{mp}	17.32 А
Температурний коефіцієнт напруги, V_{oc}	-0.25 %/°C
Температурний коефіцієнт струму, I_{sc}	0.04 %/°C
Температурний коефіцієнт потужності, P_{\max}	-0,34 %/°C
Робоча температура панелі,	-40 °C + 85 °C
Максимальна напруга системи,	1500 V DC

Після внесення основних електричних характеристик, розрахуємо максимальну напругу який протікає у ланцюзі при послідовному з'єднанні між собою сонячних панелей. Значення максимальної напруги розрахуємо за формулою (4.1)

$$V_{oc(Tr)} = U_{oc} \left(1 + (Tr - 25) \frac{\beta_T}{100} \right) \quad (4.1)$$

де $V_{oc(Tr)}$ – значення температури - 25 °C;

V_{oc} – напруга холостого ходу сонячної панелі;

Tr – значення мінімальної температури;

β_T – температурний коефіцієнт напруги модуля.

Отже:

$$U_{oc(Tr)} = 45,75 \left(1 + (-25 - 25) \frac{-0,25}{100} \right) = 5,6 \text{ В}$$

Після розрахунку, напруга холостого ходу однієї панелі без навантаження із зниженням температури дорівнюватиме:

$$V_{oc} = 45,75 + 5,6 = 51.35 \text{ В}$$

Далі розрахуємо максимальний струм в ланцюзі при послідовному з'єднанні між собою сонячних панелей. Значення максимальної напруги розрахуємо за формулою (4.2)

$$I_{st(Tr)} = I_{sc}(1 + (Tr - 25) \frac{\alpha_T}{100}) \quad (4.2)$$

де $I_{st(Tr)}$ – значення струму сонячної панелі при 70 °С;

I_{sc} – значення струму при умовах STC;

Tr – значення максимальної температура;

α_T – температурний коефіцієнт струму модуля;

$$I_{st(Tr)} = 18.33(1 + (70 - 25) \frac{0,04}{100}) = 0,33 \text{ A}$$

Після розрахунку, струм короткого замикання однієї панелі із зниженням температури дорівнюватиме:

$$I_{st(Tr)} = 18.33 + 0.33 = 18.66 \text{ A}$$

Отже з розрахунку зробимо висновок, що для підключення сонячних панелей до інвертора SUN2000-110KTL-M0 можна застосувати не більше двох паралельно-послідовно підключених стрінгів сонячних панелей, оскільки максимальний струм короткого замикання одного MPPT трекера інвертора дорівнює 40 А.

Грунтуючись на цих значеннях, можемо підрахувати кількість модулів у стрінгу, з'єднаних послідовно за формулою (4.3)

$$N_{max} \leq \frac{N_{ovr1}}{V_{oc(Tr)}} \quad (4.3)$$

де N_{ovr1} – діапазон максимальної вхідної напруги інвертора.

$$N_{max} \leq \frac{1000}{51,35} = 19,4 \text{ шт}$$

Округлюючи в меншу сторону отримуємо 19 панелей з'єднаних між собою послідовно в одному стрінгу.

Оскільки у кожного інвертора є мінімальна та максимальна робоча напруга інвертора, то розрахуємо кількість панелей, яку можна підключити між собою послідовно в один стрінг, у нашому випадку напруга інвертора коливається від 200 до 1000 В на один МРРТ трекер. Модулі досягають мінімально робочої напруги при температурі 70 °С. Тому мінімальна кількість панелей розраховується для цієї температури за формулою (4.4)

$$V_{oc(T_{max})} = V_{oc} \left(1 + (T_{max} - 25) \frac{\beta_t}{100} \right) \quad (4.4)$$

де $V_{oc(T_{max})}$ – напруга за максимальної температури 70 °С;

V_{oc} – напруга холостого ходу панелі;

T_{max} – максимальна робоча температура;

β_t – температурний коефіцієнт модуля.

$$V_{oc(T_{max})} = 45,75 \left(1 + (70 - 25) \frac{-0,25}{100} \right) = -5.26 \text{ В}$$

$$V_{oc(T_{max})} = 45.75 - 5,26 = 40,49 \text{ В}$$

Розрахуємо мінімальну кількість панелей в одному стрінгу за формулою (4.5)

$$N_{min} \geq \frac{V_{ovr2}}{V_{oc(T_{max})}} \quad (4.5)$$

де V_{ovr2} – мінімальна напруга, що подається на один МРРТ трекер;

$$N_{min} \geq \frac{200}{40,49} = 4,93 \text{ шт}$$

Виходячи з розрахунку, маємо мінімальну кількість панелей підключену послідовно між собою до одного МРРТ трекера в кількості 5 шт.

У висновку можна сказати, що ці значення визначають спосіб під'єднання сонячних панелей (послідовний, паралельний, паралельно-послідовний) у одному стрінгу (ланцюгу). Кожна панель виробляє напругу та струм в певній кількості в залежності від освітлення та температури. У будь якого випадку ці показники не можуть перевищувати допустимі значення для попередньо обраної моделі інвертора зі сторони входу постійної напруги.

4.2 Визначення загальної потужності електростанції

При розрахунку та визначеності кількості панелей підключеного до одного входу МРРТ, необхідно визначити кількість панелей, при якому весь ланцюг генеруватиме напругу в робочому діапазоні МРРТ за певних умов. У цьому випадку рахується мінімальна та максимальна напруга сонячного модуля для умов МРРТ, при тому, що максимальне значення напруги підраховується при -25°C , а мінімальне значення при $+70^{\circ}\text{C}$. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей за формулою (4.6). Мінімум та максимальна напруга вхідна напруга інвертора на один вхід МРРТ за технічними характеристиками є $200 - 800 \text{ В}$.

$$V_{\text{mpp}(T_{\text{max}})} = V_{\text{MPPT}(\text{STC})} \left(1 + (T_{\text{max}} - 25) \frac{\beta_t}{100} \right) \quad (4.6)$$

де $V_{\text{mpp}(T_{\text{max}})}$ – напруга сонячної панелі при 70°C ;

$V_{\text{MPPT}(\text{STC})}$ – оптимальна напруга МРРТ;

T_{max} – Максимально робоча температура;

β_t – індекс температури модуля;

$$V_{\text{mpp}(T_{\text{max}})} = 38.12 \left(1 + (70 - 25) \frac{-0.25}{100} \right) = -4,38 \text{ В}$$

$$V_{\text{mpp}(T_{\text{max}})} = 38.12 - 4,38 = 33.74 \text{ В}$$

Оптимальна напруга для одного МРРТ із урахуванням температурних коефіцієнтів складає 33.74 В . Розрахуємо оптимальну кількість панелей для одного МРРТ за формулою (4.7).

$$N_{\text{min}} \times V_{\text{MPPT}(T_{\text{max}})} \geq V_{\text{DCmin}} \quad (4.7)$$

Де N_{min} – мінімальна кількість модулів у стрінгу;

V_{MPPTmin} – мінімальна значення МРРТ інвертора

$$N_{\text{min}} \geq \frac{200}{33.74} = 5.92 \text{ шт}$$

Таким чином отриманий результат округлюємо до найближчого більшого значення яке дорівнює 6 шт.

Зазвичай виробники рекомендують підключати до інвертора сонячні панелі сумарною потужністю у співвідношенні 0,8-1,2 номінальної вихідної потужності інвертора. Перевіримо сумарну кількість сонячних панелей з урахуванням номінальної потужності інвертора за формулою (4.8).

$$P_{\text{інв}} \times \frac{0,8}{P_{\text{mppt}}} \leq N_{\text{sum}} \leq P_{\text{інв}} \times \frac{1,2}{P_{\text{mppt}}} \quad (4.8)$$

де $P_{\text{інв}}$ – номінальна потужність інвертора;

P_{mppt} – потужність сонячної панелі;

N_{sum} – діапазон кількості сонячних панелей.

$$110\,000 \times \frac{0,8}{660} \leq N_{\text{sum}} \leq 110\,000 \times \frac{1,2}{660}$$

$$133 \leq N_{\text{sum}} \leq 200$$

Отже загальна кількість сонячних панелей котрі можна підключити до інвертора потужністю 110 кВт являється діапазон від 133 до 200 шт на один інвертор. Порахуємо раціональну кількість сонячних панелей яку можна підключити до даху будівель корпусів 2 та 2А відходячи від дозволеної площі, максимальної напруги холостого ходу сонячної панелі, та діапазону напруги роботи одного МРРТ трекера промислового інвертора. Підрахуємо нову потужність станції за формулою (2.2)

$$P_{\text{заг.сес}} = 144 \times 660 = 95\,040 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{заг.сес}} = 95\,040 \times 2 = 190\,080 \text{ Вт}$$

Розрахуємо площу покриття сонячними панелями корпусу 2 за формулою (4.9)

$$S_1 = N_{\text{пан}} \times S_{\text{пан}} \quad (4.9)$$

Де S_1 – корисна площа забудови корпусу 2;

$N_{\text{пан}}$ – кількість панелей на даху корпусу 2;

$S_{\text{пан}}$ – площа однієї панелі.

$$S_1 = 144 \times 3,1 = 446,4 \text{ м}^2$$

Розрахуємо площу покриття сонячними панелями корпусу 2А.

$$S_2 = 144 \times 3.1 = 446,4 \text{ м}^2$$

Розрахуємо кількість задіяних МРРТ трекерів промислового інвертора формулою (4.10). За технічними характеристиками кількість МРРТ трекерів в промисловому інверторі типу SUN2000-110KTL-M0 дорівнює 10 шт з яких 8 шт буде задіяно для підключення сонячних панелей.

$$N_{\text{mppt}} = \frac{N_{\text{пан}}}{8} \quad (4.10)$$

де N_{mppt} кількість панелей підключених до одного стрінгу МРРТ.

$$N_{\text{mppt}} = \frac{144}{8} = 18 \text{ шт}$$

Розрахуємо кількість панелей за максимально допустимою напругою холостого ходу на один МРРТ трекер яку можемо підключити до інвертора за формулою (4.11)

$$N_{\text{пан}} = V_{\text{ххп}} \times 18 \quad (4.11)$$

Де $V_{\text{ххп}}$ – максимальна напруга холостого ходу інвертора.

$$N_{\text{пан}} = 51.35 \times 18 = 924,3 \text{ В}$$

Отже у висновку можемо сказати, що після розрахунку струму холостого ходу, який значно виріс за рахунок температурних показників панелей загальна потужність сонячної електростанції дещо зменшиться від першочергового розрахунку потужністю 100 950 Вт до 95 040 Вт на один корпус промислового підприємства. Зведемо розрахункові показники до таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Порівняльна таблиця розрахунків сонячної електростанції

Допустимі характеристики	Дозволена характеристика	Розрахунок СЕС	Розрахункова характеристика
Загальна площа Корпусу 2	475,57м ²	Загальна площа Корпусу 2	446,4 м ²
Загальна площа корпусу 2А	465,9м ²	Загальна площа корпусу 2А	446,4 м ²
Загальна кількість панелей корпусу 2	153 шт	Загальна кількість панелей корпусу 2	144 шт
Загальна кількість панелей корпусу 2А	153 шт	Загальна кількість панелей корпусу 2А	144 шт
Напруга холостого ходу сонячної панелі	45,75 В	Напруга холостого ходу сонячної панелі	51,35 В
Струм короткого замикання сонячної панелі	18,33 А	Струм короткого замикання сонячної панелі	18,66 А
Кількість панелей в одному стрінгу	20 шт	Кількість панелей в одному стрінгу	18 шт
Кількість стрінгів задіяних в інверторі	8 шт	Кількість стрінгів задіяних в інверторі	8 шт
Сума напруги холостого ходу на один стрінг	915 В	Сума напруги холостого ходу на один стрінг	924.3 В
Максимальний струм короткого замикання інвертора	40 В	Струм короткого замикання сонячної панелі	18,66 А
Потужність сонячної панелі	660 Вт	Потужність сонячної панелі	660 Вт
Загальна потужність однієї СЕС	100 095 Вт	Загальна потужність однієї СЕС	95 040 Вт

З порівняльної таблиці можемо зробити висновок, що по усім попереднім та розрахунковим параметра на дахах корпусів 2 та 2А промислового підприємства буде раціонально встановити сонячну електростанцію потужністю загальною потужністю 190 080 Вт, а не 200 190 Вт, яка була розрахована попередньо в пункті 2.3 кваліфікаційної роботи.

4.3 Кінцевий вибір обладнання сонячної електростанції

У пункті 2.3, а саме попередній розрахунок кількості сонячних панелей кваліфікаційної роботи було визначено, що загальна потужність сонячної електростанції складає 200,19 кВт, але після проведених розрахунків необхідно зменшити загальну потужність до 190 кВт. Оскільки попередньо було вибрано промисловий інвертор на потужність 110 кВт на один корпус, то зробимо коригування вибору інвертора з 110 кВт на 100 кВт кожного з корпусів промислового підприємства згідно розрахунку. Замінімо промисловий сонячний інвертор SUN2000-110KTL-M0 на SUN2000-100KTL-M0. Тип та потужність сонячних панелей залишається без змін. Технічні характеристики обох інверторів дещо відрізняються один від одного, тому занесемо зміни до таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики інвертора SUN2000-100KTL-M0

Характеристика	SUN2000-110KTL-M0	SUN2000-100KTL-M0
Номінальна активна потужність	110 000 Вт	100 000 Вт
Максимальна потужність	121 000 ВА	110 000 Вт
Максимальна активна потужність при $\cos \varphi = 1$	121 000 Вт	110 000 Вт
Номінальна вихідна напруга	3x220/380 В, 3x220/400 В, 3W+N+PE	3x220/380 В, 3x220/400 В, 3W+N+PE
Номінальна частота мережі змінного струму	50 Гц	50 Гц
Номінальний вихідний струм	167,2 А (380 В АС), 158,8 А (400 В)	152,0 А (380 В АС), 144,4 А (400 В)
Максимальний вихідний струм	185,7 А (380 В АС), 176,4 А (400 В)	168,8 А (380 В АС), 160,4 А (400 В)
Діапазон регулювання коефіцієнта потужності	0,8	0,8

Всі інші характеристики залишаються без змін.

Для вибору перерізу провідників, розрахуємо падіння напруги в залежності від довжини та кількості струму протікання при підключенні сонячних панелей та запобіжників за формулою (4.12). Прийmemo максимальну та середню довжину провідника віддалену від захисних запобіжників та сонячних панелей об'єднаних між собою в один стрінг, а кількість сонячних панелей в одному стрінгу складає 18 шт. Максимальна довжина 90 м. Середня довжина 55 м.

$$V = \frac{2 \times P \times L}{k \times q \times U_{\pi}} \quad (4.12)$$

Де V – падіння напруги при передачі енергії від сонячного стрінгу до захисних запобіжників;

P – номінальна потужність одного стрінгу;

L – максимальна довжина провідника;

k – коефіцієнт питомої провідності провідника;

q – переріз провідника;

U_{π} – максимальна розрахункова напруга одного стрінгу МРРТ.

Розрахуємо падіння напруги для середньої довжини в 55 м.

$$V_1 = \frac{2 \times 11\,880 \times 55}{57 \times 4 \times 924,3} = \frac{1\,306\,800}{2\,107\,40,4} = 6,2 \text{ В}$$

$$V_2 = \frac{2 \times 11\,880 \times 55}{57 \times 6 \times 924,3} = \frac{1\,306\,800}{3\,161\,10,6} = 4,13 \text{ В}$$

$$V_3 = \frac{2 \times 11\,880 \times 55}{57 \times 4 \times 700} = \frac{1\,306\,800}{159\,600} = 8,18 \text{ В}$$

$$V_4 = \frac{2 \times 11\,880 \times 55}{57 \times 6 \times 700} = \frac{1\,306\,800}{239\,400} = 5,45 \text{ В}$$

З розрахунку бачимо, що для довжини в 55 м та перерізом провідника в 4 мм^2 та 6 мм^2 падіння напруги може складати від 0,8 до 2 %, що задовольняє показник правил улаштування електроустановок.

Розрахуємо падіння напруги для максимальної довжини 90 м.

$$V_5 = \frac{2 \times 11\,880 \times 90}{57 \times 4 \times 924,3} = \frac{2\,138\,400}{2\,107\,40,4} = 10,8 \text{ В}$$

$$V_6 = \frac{2 \times 11\,880 \times 90}{57 \times 6 \times 924,3} = \frac{2\,138\,400}{3\,161\,10,6} = 6,76 \text{ В}$$

$$V_7 = \frac{2 \times 11\,880 \times 90}{57 \times 4 \times 700} = \frac{2\,138\,400}{159\,600} = 13,3 \text{ В}$$

$$V_8 = \frac{2 \times 11\,880 \times 90}{57 \times 6 \times 700} = \frac{2\,138\,400}{239\,400} = 8,93 \text{ В}$$

З розрахунку бачимо, що для довжини в 90 м та перерізом провідника в 4 мм^2 та 6 мм^2 падіння напруги може складати від 1,5 до 3 %, а той і більше.

Отже з проведених розрахунків обираємо переріз провідників за наступною довжиною:

- довжина провідника 55 м, переріз складає 4 мм^2 ;
- довжина провідника 90 м, переріз складає 6 мм^2 ;
- провідник типу Solar H1Z2Z2.

Розрахуємо струм плавкого запобіжника виробника компанії ETI, типу NH gPV для захисту живлення одного MPPT трекера промислового сонячного інвертора за формулою (4.13).

$$I_n \geq 1,25 \times I_{sc} \quad (4.13)$$

де I_n – номінальний струм плавкого запобіжника одного стрінга;

I_{sc} – струм короткого замикання сонячної панелі.

$$I_n \geq 1,25 \times 18,66 = 23,3 \text{ А}$$

Розраховуємо номінальну напругу плавкого запобіжника за формулою (4.14).

$$V_n = 1,2 \times V_{oc(STC)} \times N_{пан} \quad (4.14)$$

де V_n – номінальна напруга плавкого запобіжника;

$V_{oc(STC)}$ – номінальна напруга сонячної панелі за характеристикою STC;

$N_{пан}$ – кількість панелей у одному стрінгу.

$$V_n = 1,2 \times 51,35 \times 18 = 1109,16 \text{ В}$$

Обираємо плавкий запобіжник типу NH gPV CH10/14x85 25 А 1500 V DC

Після розрахунку основних показників до таблиці 4.4 занесемо основне обладнання для будівництва сонячної електростанції промислового підприємства.

Таблиця 4.4 – Обладнання СЕС потужністю 190 кВт

Назва обладнання	Марка обладнання
Сонячні панелі	Titan risen RSM132-8-660M
Промисловий сонячний інвертор	SUN2000-100KTL-M0
Кабельно-провідникова продукція	Solar H1Z2Z2
Плавкі запобіжники	NH gPV CH10/14x85 25 A 1500 V DC
Автоматичний вимикач	EB2 250/4L 200A 4p
Обмежувач перенапруги	ETITEC M T12 PV
Двонаправлений лічильник	ACE6000 Itron

5 ОГЛЯД ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС МОНТАЖНИХ РОБІТ ТА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАКАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

5.1 Загальні питання по охороні праці

Охорона праці під час експлуатації фотоелектричних електростанцій є важливим аспектом забезпечення безпеки працівників та ефективної роботи електростанції. Особливий характер роботи з електрообладнанням та фактори навколишнього середовища вимагають дотримання особливих заходів безпеки. У цьому розділі представлені основні принципи та заходи з охорони праці та безпеки під час роботи на фотоелектричних електростанціях.

Безпека при роботі з електричними системами:

- відключення електричних ліній та обладнання (перед початком роботи з сонячними панелями або інверторами від'єднайте електричні з'єднання та заблокуйте обладнання, щоб запобігти випадковому ввімкненню);

- перевірка та наявність напруги (використовувати спеціальне обладнання для контролю напруги та вимірювати наявність або відсутність напруги перед виконанням робіт);

- ізоляція проводки та кабелів (кабелі та з'єднання повинні бути належним чином ізольовані, щоб запобігти короткому замиканню та ураженню електричним струмом);

- захисні засоби (щоб запобігти ураженню електричним струмом, працівники повинні носити спеціальні ізольовані рукавички, захисні окуляри та інші засоби індивідуального захисту).

Робота на висоті:

- безпечне підняття та переміщення на дахи або спеціальні платформи (встановлення та обслуговування сонячних панелей, які зазвичай встановлюються на дахах або спеціальних стійках, вимагає використання захисних сходів, риштувань і підйомників для платформ);

- запобігання падінням (працівники повинні бути забезпечені засобами захисту від падіння, такими як системи, як страхувальні мотузки, ремені, огорожі);

- робота з платформами та сходами (під час роботи на висоті, де можуть виникнути проблеми з рівновагою, слід використовувати додаткове захисне спорядження, щоб запобігти падінню та нещасним випадкам).

Захист від сонячного випромінювання та погодних умов:

- захист від перегріву (під час роботи на відкритому повітрі при сильному сонячному світлі працівники повинні бути захищені від сонця (капелюх, сонцезахисний крем, спеціальний одяг);

- робота під час дощу або грози (через підвищений ризик ураження електричним струмом роботу на сонячних електростанціях необхідно призупинити в разі дощу або шторму).

Охорона праці під час обслуговування та технічного огляду:

- регулярні перевірки та обслуговування обладнання (важливо регулярно перевіряти і обслуговувати сонячні панелі, інвертори та інші елементи системи, щоб виявити несправності і забезпечити безпеку під час експлуатації);

- технічна документація (працівники повинні ознайомитися з інструкціями та рекомендаціями виробника щодо технічного обслуговування обладнання);

- вентиляція і охолодження інверторів (під час роботи інвертори виділяють тепло, тому важливо забезпечити їх належне охолодження та вентиляцію, щоб запобігти перегріванню та короткому замиканню).

Захист від механічних травм:

- захист від гострих країв (панелі та монтажні конструкції можуть мати гострі краї або елементи, які можуть спричинити порізи або травми, працівники повинні носити спеціальні рукавички та одяг для захисту від);

- використання інструменту (перед використанням всі інструменти повинні бути перевірені на правильність роботи, також важливо правильно використовувати інструменти, щоб уникнути травм)

Охорона праці під час аварійних ситуацій:

- надання першої допомоги (працівники повинні бути навчені надавати першу медичну допомогу і знати, що робити в разі нещасного випадку або пожежі);
- використання вогнегасників (інвертори та електрообладнання становлять потенційну пожежну небезпеку і потребують вогнегасників класу С, призначених для гасіння електричних пожеж;
- наявність аварійних виходів (у разі надзвичайної ситуації працівники повинні отримати чіткі інструкції з евакуації та бути забезпечені аварійними виходами);

Навчання та інструктаж працівників:

- ознайомлення з правилами безпеки (перед початком роботи всі працівники повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та бути ознайомлені з особливостями роботи сонячної електростанції та принципами охорони праці);
- регулярні тренінги та курси (регулярні тренінги з безпеки та інформаційні перевірки, щоб підвищити обізнаність співробітників і підготувати їх до непередбачуваних ситуацій);

Забезпечення належної охорони праці на фотоелектричних електростанціях допомагає знизити ризик і забезпечити безпеку працівників, що важливо для стабільної та ефективної роботи всієї системи.

5.2 Електробезпека

Електробезпека - це заходи і правила, спрямовані на запобігання електротравмам і нещасним випадкам, а також на забезпечення безпеки при роботі з електрообладнанням. На сонячних електростанціях електробезпека є одним з найважливіших аспектів експлуатації, оскільки робота з електрообладнанням, високовольтними ланцюгами, інверторами та батареями може бути небезпечною для життя. Основні аспекти електробезпеки, які слід враховувати під час експлуатації сонячних електростанцій.

Забезпечення належної ізоляції. Ізоляція електричних кабелів і компонентів є основним заходом для запобігання нещасним випадкам, пов'язаним з електричним струмом. Належна ізоляція кабелів і захист від механічних пошкоджень є ключовими елементами безпеки:

- якісні кабелі (використання кабелів, що мають високий клас ізоляції та здатні витримувати вплив погодних умов (волога, ультрафіолет, температура);
- захист від переривання ізоляції (перевірка наявності пошкоджень ізоляції в процесі експлуатації).

Заземлення. Належне заземлення всіх металевих конструкцій, які можуть бути електрично зарядженими, є важливим фактором запобігання травматизму. Наявність заземлення забезпечує безпеку в разі короткого замикання або іншої несправності:

- заземлення конструкцій панелей (металеві частини конструкції сонячної панелі повинні бути надійно заземлені, щоб запобігти небезпечній поверхневій напрузі);
- заземлення інверторів (інвертори, які перетворюють постійний струм на змінний, повинні бути належним чином заземлені, щоб запобігти електричним пошкодженням);

Захист від короткого замикання та перевантажень. Фотоелектричні електростанції потребують належного захисту від коротких замикань і перевантажень, які можуть виникнути в результаті несправностей в електричному ланцюзі:

- автоматичні вимикачі (встановлення автоматичних вимикачів або запобіжників для запобігання коротких замикань або перевантажень);

- реле контролю напруги (використовуйте пристрої контролю та регулювання напруги для забезпечення стабільної роботи системи).

Моніторинг та діагностика. Постійний моніторинг роботи сонячних електростанцій дозволяє оперативно виявляти проблеми, які можуть призвести до аварій:

- моніторинг в реальному часі (система моніторингу та повідомлення про несправності в електрообладнанні дозволяє швидше реагувати на проблеми);

- регулярні перевірки (регулярно проводьте технічне обслуговування інверторів, панелей та інших компонентів для виявлення можливих несправностей).

Обслуговування та ремонт. Роботи з технічного обслуговування та ремонту повинні виконуватися тільки кваліфікованим персоналом, який має досвід і знання з електробезпеки:

- ремонт та заміна компонентів (Всі роботи по заміні або ремонту електричних компонентів повинні виконуватися відповідно до правил техніки безпеки).

При проектуванні та експлуатації сонячної електростанції необхідно дотримуватися всіх вимог національних і міжнародних стандартів електробезпеки, включаючи ІЕС (Міжнародна електротехнічна комісія), OSHA (Управління з охорони праці та здоров'я) і місцевих нормативних актів.

Електробезпека вимагає пильної уваги до всіх елементів системи сонячної електростанції та регулярного технічного обслуговування, щоб мінімізувати ризики для життя і здоров'я тих, хто працює на системі.

5.3 Пожежна безпека

Сонячні панелі, як і інше електрообладнання, несуть певний ризик виникнення пожежі. Однак останні технологічні та регуляторні зміни мінімізували ризик загоряння сонячних панелей. Практично у всіх випадках, коли через роботу сонячних панелей виникали пожежі, є неспростовні докази того, що основною причиною інциденту було порушення під час монтажу та пов'язане з наступними порушеннями:

- використанням невідповідного інструменту для обтиску кабелів;
- використанням електричних роз'ємів різних виробників;
- неякісне з'єднанням та прокладка кабелю;
- недостатня кваліфікація персоналу;
- пошкодженням струмопровідних виробів.

Для забезпечення пожежної безпеки фотоелектричних установок дуже важливо правильно підбирати компоненти і використовувати сучасні технології монтажу. Останнім часом все частіше встановлюють установки сонячних панелей з компенсаційними швами для компенсації температурних коливань відповідно до розміру елемента, щоб уникнути пошкодження проводів і кабельних лотків [13].

Різні компоненти фотоелектричних пристроїв, такі як плівки для інкапсуляції модулів, полімерні фонові шари, провідники масивів та інвертори, є легкозаймистими, оскільки містять полімери. Під час і після пожежі фотоелектричне обладнання може розряджатися у вигляді рідин, твердих речовин і диму. Щоб зменшити ризик, пожежно-рятувальні служби повинні бути поінформовані про наявність, розташування і тип фотоелектричного модуля, щоб вони могли безпечно спланувати свої дії. Другий фактор полягає в тому, що фотоелектричні установки обмежують простір на даху і можуть стати причиною падіння пожежників, тому для зменшення ризиків, рекомендується наступне:

- залишати доріжки певної ширини та з відступами від країв даху;
- позначати провідникову продукцію постійного струму та оновлювати мапи їх розташування [13].

Оскільки фотоелектричне обладнання знаходиться під високою напругою, несправність може спричинити виникнення дуги, яка може тривати до тих пір, поки напруга не буде знята або відстань між контактами дуги не збільшиться. Така дуга може бути викликана поганою пайкою фотоелектричних елементів або поганим підключенням елементів до шин всередині фотоелектричного модуля. Неякісні розподільні коробки з ненадійними кабельними з'єднаннями і поганою герметизацією можуть призвести до корозії, поганого відводу тепла і пошкодження зворотних діодів, що може викликати дугу утворення. Певні ризики існують при одночасному використанні роз'ємів від двох різних виробників. Опір з'єднання може значно збільшитися, а один з компонентів може сильно нагрітися. Щоб зменшити ці ризики, рекомендується наступне:

- обирати високоякісні компоненти, фото модулів, провідникової продукції, інвертори;

- не допускати з'єднання різних один від одного виробників [14].

Сонячні панелі продовжуватимуть генерувати струм доти, доки на них потрапляє достатньо потужне джерело світла. Навіть світло від галогенної лампи може генерувати достатньо енергії, щоб підвищити напругу фотоелектричної системи до небезпечного рівня. Один з потенційних ризиків полягає в тому, що рятувальникам, можливо, доведеться відкрити дах і наблизитися до фотоелектричної установки. У цьому випадку ймовірно виникнення електричної дуги, що може становити серйозний ризик ураження електричним струмом [14].

Навіть пошкоджені модулі можуть генерувати небезпечні для пожежників струми. В одному конкретному тесті 60% модулів все ще були повністю працездатними після пошкодження від спеки або вогню:

- знеструмити PV систему;

- пожежно-рятувальні підрозділи повинні бути обладнані автономним дихальним апаратом;

- мають бути встановлені запобіжники або автоматичні вимикачі, щоб виключити ризик прямого контакту рятувальника з кабелем під напругою.

Аварійний вимикач, цей пристрій можна встановити поруч з контуром панелі. У разі пожежі, якщо відповідальна особа відключить подачу змінного струму, аварійний вимикач відключить подачу постійного струму безпосередньо біля сонячного модуля, що зробить ділянку безпечнішою. Автоматичний вимикач також реагує, коли температура досягає 100° С. Тому, щоб запобігти пожежам на сонячних електростанціях та обладнанні, необхідно дотримуватися технічних стандартів, щоб обмежити потенційну можливість виникнення пожеж на фотоелектричних станціях. UL 790 «Стандарт безпеки для вогневих випробувань покрівельних матеріалів» повинен бути пройдений на предмет горіння і поширення вогню. Інвертори повинні виготовлятися без запобіжників, щоб запобігти пожежам, спричиненим несправностями на стороні постійного струму фотоелектричних модулів.

Плати інверторів, внутрішні трансформатори та інші високотемпературні внутрішні компоненти повинні бути виготовлені з негорючих або важко займистих матеріалів. Апаратура управління, розподільні коробки та обладнання для розподілу електроенергії також повинні використовувати негорючі внутрішні компоненти. Всі електричні кабелі повинні мати вогнестійку оболонку і бути виготовлені з матеріалів, які утворюють менше диму і є менш токсичними. Протипожежна герметизація повинна застосовуватися до отворів в електророзподільному обладнанні в будівлях, таких як кабельні вводи і виводи, вводи обладнання, розподільні коробки, кабельні жолоби і отвори для проходу кабелів [15].

ВИСНОВКИ

У рамках представленої кваліфікаційної роботи було розраховано сонячну електростанцію потужністю 190 кВт з дослідженням її роботи та улаштування на промисловому підприємстві.

Аналіз доцільності використання сонячних панелей, показав, що цей вид енергії хоч і дорогий, але і найбільш доступний як для приватних домогосподарств так і для комерційних підприємств. У ході роботи було проаналізовано роботу сонячних панелей із застосуванням мобільних портативних електростанцій, що в нинішніх умовах які склалися на території нашої держави, дозволяють жити основні побутові електричні прилади, які в свою чергу дозволяють пройти погодинні відключення світла.

Основним завдання кваліфікаційної роботи було розрахунок та визначення загальної потужності мережевої сонячної електростанції. Під час розрахунку було визначено, кількість сонячних панелей які можливо встановити на даху промислового підприємства, спосіб їх підключення, визначено потужність інвертора в складі 2 шт, визначено тип провідникової продукції та спосіб його прокладання. Для мережевої електростанції було підібрано марку та типи електротехнічного обладнання. Розраховано загальну корисну площу для забудови сонячними панелями корпусів промислового підприємства.

Під час проведення розрахунків було виявлено, що підбір кількості сонячних панелей за площею забудови дахів будівель чи площ забудов з обмеженістю їх габаритів є не досить коректним. Оскільки для розрахунку кількості сонячних панелей необхідно враховувати їх температурні показники, а не відштовхуватися від загальної площі покрівель (ділянок) відносно площі сонячної панелі.

Потенціалом даної сонячної електростанції, є те що при бажанні її можливо розширити до потужності 100 кВт, оскільки в сонячному інверторі є два вільних МРРТ трекери на кожен інвертор.

Розглянуто основні питання щодо правил охорони праці, електробезпеки, правил пожежної безпеки під час експлуатації сонячних електростанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матеріали студентської науково – практичної конференції «Актуальні питання агропромислового комплексу» // Бережани: ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут» (м. Бережани, 22-24 листопада 2016 р.), 2016. – с.

2. Войнов, О., & Белошапка, О. (2018). ДО ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА ФОТОЕФЕКТУ ТА ЙОГО ЗАКОНІВ У КУРСІ ФІЗИКИ В СЕРЕДНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ. Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти, (7), 201–210.

3. Громадянська компетентність як ключова у формуванні демократичного суспільства України / Зб. наук. пр. [ред. кол. І. Б. Вашеньяк (гол.) та ін.]. Хмельницький: Видавництво ХОППО імені Анатолія Назаренка, 2023. 227 с.

4. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.

5. Батареї для сонячних систем. Яка краща, літієва чи свинцева? | Solar Garden. Solar Garden. URL: <https://www.solargarden.com.ua/yaki-akumulyatory-krashhi-dlya-sonyachnyh-batarej-litiyevi-chy-svyntsevi/> (дата звернення: 24.12.2024)

6. Найбільші сонячні електростанції в Україні | SolarGarden. Solar Garden. URL: <https://solar.chweb-s40337.tesla.chost.com.ua/najbilshi-sonyachni-elektrostantsiyi-v-ukrayini/> (дата звернення: 24.12.2024).

7. Конспект лекцій, Запорізький національний університет. Сонячна енергетика https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1087006/mod_resource/content/1/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf

8. Мережевий інвертор Huawei SUN2000-110KTL-M0 купити за вигідною ціною від компанії Sun-Energy.com.ua. Інтернет-магазин електротехніки та електрообладнання. URL: https://sun-energy.com.ua/solar-power/solarinverters/huawei-110kw-sun2000?srsId=AfmBOooX7N_Mlbu_1Ss7fH9nl5kV5GbanOU5Yrmx_5vp5ae7-JqGWCo (дата звернення: 24.12.2024).

9. Кабель SOLAR H1Z2Z2-K в Києві та Україні від "ЄВРОПАН". Europan. URL: <https://europan.ua/produksiya/kabeli-y-provoda-riznogo-priznachennya/solar-h1z2z2-k/> (дата звернення: 24.12.2024).

10. Кріплення сонячних панелей. Сонергія. URL: <https://sonergia.com.ua/kriplennya-sonyachnyh-panelej/> (дата звернення: 25.12.2024).

11. Інститут докторантури та аспірантури – Вінницький Національний Технічний Університет. URL: <https://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/6BBDE512-24A3-416A-9D0D-A3FC99B15A16.pdf> (дата звернення: 24.12.2024).

12. Вимоги з технічної безпеки щодо експлуатації сонячного обладнання 2024-07. VictronEnergy.com.ua. URL: <https://www.victronenergy.com.ua/ru/blog/1/2024-07-534> (дата звернення: 24.12.2024).

13. Сонячні панелі та дотримання вимог пожежної безпеки. Shieldfire. URL: <https://shieldfire.com.ua/sonyachni-paneli-ta-dotrymannya-vymog-pozhezhnoyi-bezpeky/> (дата звернення: 24.12.2024).

14. 5 потенційних загроз від PV-систем при пожежі та як їх запобігти. Solarity. URL: <https://solarity.eu/ua/blog/fire-hazards-and-mitigation-in-photovoltaic-systems/> (дата звернення: 24.12.2024).

15. Ризики пожежі сонячних панелей і безпека пожежників | Beny Інсайти | BENY. Beny New Energy | BENY Electric. URL: <https://www.beny.com/uk/firefighting-solar-panels-all-you-need-to-know/> (дата звернення: 24.12.2024).

16. Носенко Ю. Сучасні сонячні технології / Юрія Носенко // Життєве середовище. - №18(241) – 2012. – С 1.

ДОДАТОК А
Переклад пункту 5

5 OVERVIEW OF SAFETY MEASURES DURING INSTALLATION AND OPERATION OF A SOLAR POWER PLANT

5.1 General occupational health and safety issues

Occupational safety during the operation of photovoltaic power plants is an important aspect of ensuring the safety of workers and the efficient operation of the power plant. The specific nature of working with electrical equipment and environmental factors require special safety precautions. This section presents the basic principles and measures for occupational health and safety when working at photovoltaic power plants.

Safety when working with electrical systems:

- disconnecting electrical lines and equipment (before working with solar panels or inverters, disconnect electrical connections and lock out equipment to prevent accidental switching on);
- checking and presence of voltage (use special equipment to monitor voltage and measure the presence or absence of voltage before performing work);
- insulation of wiring and cables (cables and connections must be properly insulated to prevent short circuits and electric shock);
- protective equipment (to prevent electric shock, workers must wear special insulated gloves, safety glasses and other personal protective equipment).

Working at height:

- safe lifting and moving to roofs or special platforms (installation and maintenance of solar panels, which are usually installed on roofs or special racks, requires the use of safety ladders, scaffolding and platform lifts);
- fall prevention (workers must be provided with fall protection equipment, such as systems such as safety ropes, belts, fences);
- working with platforms and ladders (when working at height where balance problems may arise, additional protective equipment should be used to prevent falls and accidents).

Protection from solar radiation and weather conditions:

- protection against overheating (when working outdoors in strong sunlight, workers must be protected from the sun (hat, sunscreen, special clothing));
- work during rain or thunderstorms (due to the increased risk of electric shock, work on solar power plants must be suspended in case of rain or storm).

Occupational safety during maintenance and technical inspection:

- regular inspections and maintenance of equipment (it is important to regularly inspect and maintain solar panels, inverters and other system elements to detect malfunctions and ensure safety during operation);
- technical documentation (employees must familiarize themselves with the manufacturer's instructions and recommendations for equipment maintenance);
- ventilation and cooling of inverters (during operation, inverters emit heat, so it is important to ensure their proper cooling and ventilation to prevent overheating and short circuits).

Protection against mechanical injuries:

- protection from sharp edges (panels and mounting structures may have sharp edges or elements that can cause cuts or injuries, workers must wear special gloves and clothing to protect against);
- tool use (all tools must be checked for proper operation before use, it is also important to use tools correctly to avoid injuries).

Occupational safety during emergencies:

- first aid (employees must be trained to provide first aid and know what to do in the event of an accident or fire);
- use of fire extinguishers (inverters and electrical equipment pose a potential fire hazard and require Class C fire extinguishers designed to extinguish electrical fires);
- availability of emergency exits (in the event of an emergency, employees must receive clear evacuation instructions and be provided with emergency exits);

Training and instruction of employees:

- familiarization with safety rules (before starting work, all employees must undergo safety training and be familiar with the features of the operation of the solar power plant and the principles of labor protection);
- regular training and courses (regular security training and information checks to increase employee awareness and prepare them for unforeseen situations);

Ensuring proper occupational health and safety in photovoltaic power plants helps reduce risk and ensure worker safety, which is important for the stable and efficient operation of the entire system.

5.2 Electrical safety

Electrical safety is measures and rules aimed at preventing electrical injuries and accidents, as well as ensuring safety when working with electrical equipment. In solar power plants, electrical safety is one of the most important aspects of operation, as working with electrical equipment, high-voltage circuits, inverters, and batteries can be life-threatening. Key aspects of electrical safety that should be considered when operating solar power plants.

Ensuring proper insulation. Insulating electrical cables and components is a basic measure to prevent accidents related to electrical current. Proper cable insulation and protection against mechanical damage are key safety elements:

- high-quality cables (use of cables that have a high insulation class and are able to withstand weather conditions (moisture, ultraviolet, temperature));
- protection against insulation interruption (checking for insulation damage during operation).

Grounding. Proper grounding of all metal structures that may be electrically charged is an important factor in preventing injuries. The presence of grounding ensures safety in the event of a short circuit or other malfunction:

- grounding of panel structures (metal parts of the solar panel structure must be reliably grounded to prevent dangerous surface voltage);

- grounding of inverters (inverters that convert direct current to alternating current must be properly grounded to prevent electrical damage);

Protection against short circuits and overloads. Photovoltaic power plants require proper protection against short circuits and overloads that may occur as a result of faults in the electrical circuit:

- circuit breakers (installation of circuit breakers or fuses to prevent short circuits or overloads);

- voltage control relay (use voltage control and regulation devices to ensure stable system operation).

Monitoring and diagnostics. Constant monitoring of solar power plants allows you to quickly identify problems that can lead to accidents:

- real-time monitoring (the system for monitoring and reporting faults in electrical equipment allows for faster response to problems);

- regular inspections (regularly maintain inverters, panels and other components to detect possible malfunctions).

Maintenance and repair. Maintenance and repair work should only be carried out by qualified personnel who have experience and knowledge of electrical safety:

- repair and replacement of components (All work on the replacement or repair of electrical components must be carried out in accordance with safety regulations).

When designing and operating a solar power plant, it is necessary to comply with all requirements of national and international electrical safety standards, including IEC (International Electrotechnical Commission), OSHA (Occupational Safety and Health Administration) and local regulations.

Electrical safety requires close attention to all elements of a solar power plant system and regular maintenance to minimize risks to the life and health of those working on the system.

5.3 Fire safety

Solar panels, like other electrical equipment, carry a certain risk of fire. However, recent technological and regulatory changes have minimized the risk of solar panel fires. In almost all cases where fires have occurred due to the operation of solar panels, there is irrefutable evidence that the main cause of the incident was a violation during installation and was associated with the following violations:

- using an inappropriate tool for crimping cables;
- using electrical connectors from different manufacturers;
- poor-quality connection and cable laying;
- insufficient qualification of personnel;
- damage to conductive products.

To ensure fire safety of photovoltaic installations, it is very important to correctly select components and use modern installation technologies. Recently, solar panel installations with expansion joints to compensate for temperature fluctuations according to the size of the element have been increasingly installed to avoid damage to wires and cable trays [13].

Various components of photovoltaic devices, such as module encapsulation films, polymer back sheets, array conductors, and inverters, are flammable because they contain polymers. During and after a fire, photovoltaic equipment can discharge in the form of liquids, solids, and smoke. To reduce the risk, fire and rescue services must be informed of the presence, location and type of photovoltaic module so that they can safely plan their actions. The second factor is that photovoltaic installations limit roof space and can cause firefighters to fall, so to reduce the risks, the following is recommended:

- leave paths of a certain width and with indentations from the edges of the roof;
- mark DC conductor products and update maps of their location [13].

Because photovoltaic equipment is under high voltage, a fault can cause an arc to occur, which can continue until the voltage is removed or the distance between the arcing contacts increases. Such an arc can be caused by poor soldering of the photovoltaic cells or poor connection of the cells to the busbars inside the photovoltaic module. Poor-quality junction boxes with unreliable cable connections and poor sealing can lead to corrosion,

poor heat dissipation, and damage to the fly back diodes, which can cause arcing. There are certain risks when using connectors from two different manufacturers at the same time.

The resistance of the connection may increase significantly and one of the components may become very hot. To reduce these risks, the following is recommended:

- choose high-quality components, photo modules, conductive products, inverters;
- do not allow connections between different manufacturers [14].

Solar panels will continue to generate current as long as they are exposed to a sufficiently powerful light source. Even the light from a halogen lamp can generate enough energy to increase the voltage of a photovoltaic system to dangerous levels. One potential risk is that rescuers may have to open the roof and get close to the photovoltaic installation. In this case, an electric arc is likely to occur, which can pose a serious risk of electric shock [14].

Even damaged modules can generate currents that are dangerous to firefighters. In one particular test, 60% of the modules were still fully functional after being damaged by heat or fire:

- de-energize the PV system;
- fire and rescue units must be equipped with self-contained breathing apparatus;
- fuses or circuit breakers must be installed to eliminate the risk of direct contact of the rescuer with the live cable.

Emergency switch, this device can be installed next to the panel circuit. In the event of a fire, if the responsible person turns off the AC power supply, the emergency switch will turn off the DC power supply directly near the solar module, making the area safer. The automatic switch also reacts when the temperature reaches 100° C. Therefore, to prevent fires in solar power plants and equipment, it is necessary to follow technical standards to limit the potential for fires to occur in photovoltaic plants. UL 790 “Safety Standard for Fire Tests of Roofing Materials” must be passed for combustion and flame spread. Inverters should be manufactured without fuses to prevent fires caused by faults on the DC side of the photovoltaic modules.

Inverter boards, internal transformers, and other high-temperature internal components must be made of non-flammable or flame-retardant materials. Control equipment, junction boxes, and power distribution equipment must also use non-flammable internal components. All electrical cables must have a fire-resistant sheath and be made of materials that produce less smoke and are less toxic. Fire sealing should be applied to openings in electrical distribution equipment in buildings, such as cable entries and exits, equipment entries, junction boxes, cable trays and cable entry openings [15].

Додаток Б

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Департамент економічного розвитку, торгівлі та залучення інвестицій
Полтавської обласної військової адміністрації
Полтавська торгово-промислова палата
Університет Флорида (США)
“1 DECEMBRIE 1918” University of Alba Iulia (Румунія)
Білостоцький технологічний університет (Польща)
Вільнюський університет прикладних наук (VIKO) (Литва)
London Metropolitan University (Велика Британія)
Словацький технологічний університет (Словаччина)
Рада молодих вчених Національної академії наук України
Рада молодих вчених Національного університету «Запорізька політехніка»
Рада молодих вчених Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Чернігівська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Одеська політехніка»
Рада молодих вчених Одеського національного університету імені І.І. Мечникова
Рада молодих вчених Ізмаїльського державного гуманітарного університету
Рада молодих вчених Глухівського національного педагогічного університету
імені Олександра Довженка
Рада молодих вчених Сумського національного аграрного університету
Рада молодих вчених Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Рада молодих вчених Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди
Рада молодих вчених Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Наукове товариство студентів та молодих вчених Хмельницького національного університету
Рада молодих вчених Київського національного університету будівництва та архітектури
Рада молодих вчених Херсонського державного аграрно-економічного університету

МОЛОДІЖНА НАУКА: ІННОВАЦІЇ ТА ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ

ЗБІРНИК ТЕЗ

Міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів та молодих вчених



Полтава, 06 листопада 2024 року

УДК 378.1: 001.89(06)

Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики // Збірник тез за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених – Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 2024. – 785 с.

У збірнику тез опубліковані результати наукових досліджень студентів, аспірантів та молодих учених, які були включені в програму Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики» (06 листопада 2024 року, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»). Тези подано в авторському оригіналі українською чи англійською мовами. Відповідальність за точність, достовірність і зміст поданих матеріалів несуть автори.

Редакційна колегія

МАСЛІЙ Олександра – голова ради молодих вчених Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», к.е.н., доцент;

ЧАЙКІНА Аліна – голова ради навчально-наукового інституту фінансів, економіки, управління та права, к.е.н., доцент;

ПАЛІЙ Катерина – голова ради молодих вчених факультету філології, психології та педагогіки, к.ф.н., доцент кафедри;

КРАВЧЕНКО Михайло – голова ради факультету фізичної культури та спорту, асистент кафедри;

ГАСЕНКО Антон – голова ради молодих вчених навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою, д.т.н., професор кафедри;

БОРЯК Богдан – голова ради молодих вчених навчально-наукового інституту інформаційних технологій та робототехніки, к.т.н., доцент кафедри;

ЛЕВЧЕНКО Ірина – доцент кафедри міжнародних економічних відносин та туризму, доктор філософії;

МАКСЮТА Наталія – начальниця відділу аналізу інноваційної діяльності та інтелектуальної власності, доктор філософії;

ЛЕВЧЕНКО Валерій – Президент Студентського парламенту університету;

БУРЯК Альона – доцент кафедри міжнародних економічних відносин та туризму, к.е.н., доцент;

УСЕНКО Дмитро – доцент кафедри хімії та фізики, магістр фізики, доктор філософії;

ЙОПА Тетяна – старший викладач кафедри фізичної культури та спорту, кандидат в майстри спорту України з дзю-до;

РІЗНИК Юлія – старший викладач кафедри загального мовознавства та іноземних мов;

ЛАКТІОНОВ Олександр – доцент кафедри автоматики електроніки та телекомунікацій, к.т.н., доцент кафедри.

<i>Roy Gwatie</i> <i>Scientific advisor: Kyslytsia Svitlana</i> DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN ADAPTIVE GRIPPER DRIVE FOR A ROBOT MANIPULATOR ARM	548
<i>Руденко Віталій Віталійович</i> АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОТОКОЛУ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ LORA	550
<i>Смоляр Денис Валерійович</i> СИСТЕМИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ЄМНІСНОГО ЗВ'ЯЗКУ	552
<i>Сухоребрий Олександр Володимирович</i> <i>Науковий керівник: Дрючко Олександр Григорович</i> З'ЯСУВАННЯ ВПЛИВУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	554
<i>Ткаченко Антон Олександрович</i> DIGITAL TRANSFORMATION AND ELECTRONIC DEMOCRACY FOR ENSURING INCLUSIVE PARTICIPATION	556
<i>Федоров Віталій Анатолійович</i> <i>Шевченко Денис Олександрович</i> <i>Наукові керівники: Ільяшенко Матвій Борисович</i> <i>Куликовська Наталія Анатоліївна</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ПОДІЙ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	558
<i>Фіктянов Андрій Анатолійович</i> <i>Науковий керівник: Фомін Олександр Сергійович</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАКЛАДУ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ОСВІТИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	560
<i>Фіктянов Андрій Анатолійович</i> <i>Науковий керівник: Фомін Олександр Сергійович</i> ШИРОКОСМУГОВИЙ РЕАКТИВНИЙ ДЖАММЕР	562
<i>Царьков Ростислав Михайлович</i> <i>Науковий керівник: Єрмілова Наталія Василівна</i> ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ФАПЧ З ВБУДОВАНИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ, КЕРОВАНИМИ НАПРУГОЮ.....	563
<i>Штанько Максим Васильович</i> АЛЬТЕРНАТИВНА СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ СЬОГОДЕННЯ.....	565

УДК 621.311

Штанько Максим Васильович

здобувач освіти третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АЛЬТЕРНАТИВНА СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ СЬОГОДЕННЯ

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Вона використовує поновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів. На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Отримання електроенергії завдяки сонячній радіації можливе через непряме перетворення, наприклад, нагріванням води до пароподібного стану дзеркальними концентраторами з подальшою подачею пари в турбіну. Проте система непрацездатна у темну пору доби. Найбільш оптимальним зараз є пряме перетворення сонячної енергії в електричну за рахунок використання фотоелектричного ефекту – фотоефекту. Хоча воно й потребує значних площ для розміщення фотоелементів і акумуляторів для запасання електричної енергії для темної пори доби [1, ст.9].

Сучасна сонячна електростанція складається із сонячних панелей, перетворювача напруги, оскільки будь яка сонячна панель будь якої потужності виробляє постійну напругу, а для користувача хоч в побутових умовах чи промислових підприємствах необхідна змінна напруга, та накопичувачів (акумуляторів). Коли наприклад вимикається світло, особливо в нинішніх реаліях 2022-2024 року, електронний перетворювач напруги перемикається на резервне живлення від сонячної електростанції із одночасною роботою акумуляторів і таким чином виконується живлення електричних споживачів.

Якщо це весняно-осінній період пори року, то КПД сонячної електростанції буде максимальним від своєї потужності, отже можна жити велику кількість споживачів. Відповідно, коли зимова пора року КПД електростанції зменшується це пов'язано із хмарністю та коротшим проміжком часу доби. Тому для збільшення часу роботи електричних споживачів в більш темну пору доби, необхідні акумулятори.

Основним недоліком таких СЕС є не мобільність, для великої потужності необхідна доволі велика площа забудовлі. Якщо це приватне домогосподарство можна встановити сонячні панелі на даху будинку, а якщо це багатоповерхівка з великою кількістю жителів, то така СЕС взагалі не актуальна. Це пов'язано із місцевим законодавством кожної країни окремо.

Але, на щастя, сучасна промисловість може запропонувати й інші рішення для енергонезалежності вашого домогосподарства. Це наприклад портативні чи мобільні електростанції. Вони складаються із корпусу (корпус може бути як переносний так і переїзний), із набором певної кількості акумуляторів та вхідних і вихідних роз'ємів живлення. Така конструкція електростанції дозволяє жити не велику кімнату чи окремих електричний пристрій, наприклад ноут-бук чи телевізор.

Якщо електростанція хоч мобільна або ж стаціонарна, обладнана інтелектуальним перемиканням, тобто це по суті автоматичний АВР, після вимикання світла через 20 мс, а то і менше, вмикається резервне живлення і енергія від акумулятора подається до внутрішньої електромережі. Після споживання деякої кількості потужності Вт, електростанцію можна підзарядити від мережі або ж від сонячної панелі. На борту кожної мобільної електростанції є вихідні роз'єми типу USB-A, USB type C для заряджання портативних пристроїв такі як телефони, планшетні комп'ютери, ліхтарі та інші подібні електричні пристрої, без яких нинішнє сьогодення вже не справляється.

Перевагою мобільних електростанцій є дуже багато, наприклад більш менш доступна ціна в залежності від стаціонарних сонячних електростанцій. Можливість перенесення з одного місця на інше. Ряд роз'ємів для заряджання, це роз'єм на 220 В змінної напруги від мережі, автомобільний роз'єм, а також роз'єм для заряджання від сонячної панелі. В залежності від потужності електростанції (її ємності АКБ) та потужності панелі, залежить і час заряджання. Наприклад якщо електростанція знизить свою ємність АКБ до 30 % від своєї ємності, то час заряджання від мережі становитиме 40-50 хв до повного заряду. Оскільки середньостатистична зарядна станція має акумуляторні батареї з хімічними елементами літій-залізо-фосфат або LiFePO_4 .

Так, як і в світі не має нічого ідеального, мобільні електростанції теж мають недоліки. Це не велика їх потужність, приблизно до 5 кВт, чим більш потужніша електростанція тим вона буде важчою, а отже вона втрачає функцію мобільності. Перезаряджання акумуляторів до 3000 тис. циклів. Деякі станції не обладнані функцією вводу АВР.

Отже висновок такий, що на 2024 рік, сучасні технології з розробок та виготовлення альтернативних джерел електроенергії дозволяють людству не бути повністю залежним від інших джерел енергії (атомні, теплові, гідроелектростанції), а при бажанні сонячна енергія може заживити не великі міста та підприємства.

Список використаної літератури

1. Колонтаєвський Ю.П., Тугай Д.В., Котелевець С.В. Фотоенергетика : навч. посібник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.

ДОДАТОК В
Презентація

Актуальність теми: сонячна енергетика являє собою, ключовим компонентом сучасної енергетичної системи, який набуває дедалі більшої актуальності в умовах глобальних викликів. Їх популярність пояснюється рядом технічних, економічних, екологічних та соціальних переваг, такі як:

- глобальні зміни клімату;
- зростаючий попит на енергію;
- економічні переваги;
- енергетична незалежність;
- технологічний прогрес;
- використання на різних рівнях.

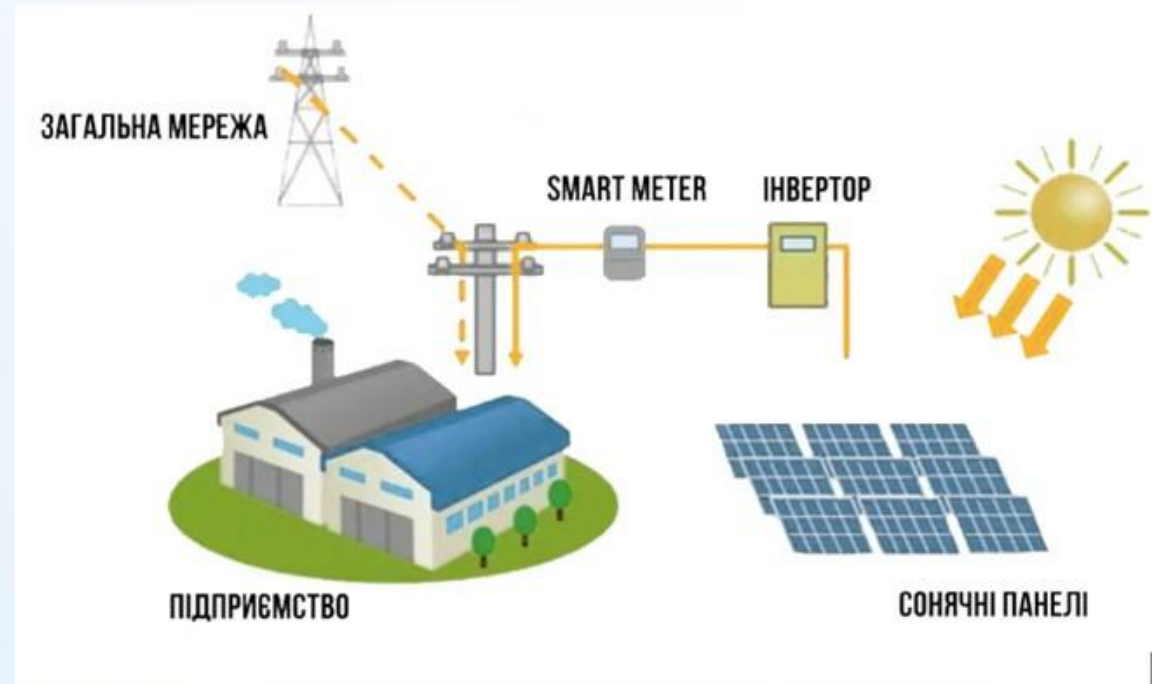
Мета роботи - розроблення мережевої фотоелектричної станції для змішаного живлення промислового підприємства з дослідженням доцільної потужності електроустановки.

Об'єкт дослідження – процес живлення промислового підприємства від сонячної електростанції, та підключення СЕС до внутрішніх мереж електропостачання промислового підприємства.

Предмет дослідження – сонячна електростанція, сонячні панелі, промислові інвертори.

Основні задачі:

- проаналізувати практичне застосування автономних та мережевих сонячних електростанцій;
- розробити структурну схему сонячної станції промислового підприємства;
- розрахувати кількість сонячних панелей, для змішаного живлення промислового підприємства;
- визначити доцільність потужності електростанції;
- розглянути основні питання по охороні праці та електробезпеки сонячної електростанції.



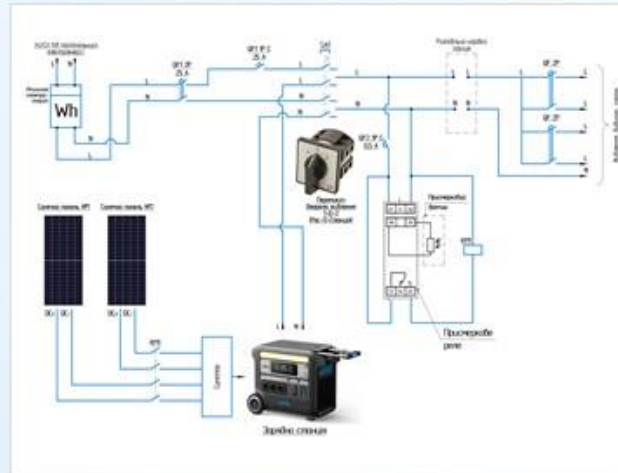
Аналіз практичного застосування автономних та мережевих сонячних електростанцій

Структурна схема автономної станції

Постійний і змінний струм - сонячні панелі генерують постійний струм (DC). Для живлення побутових пристроїв, що працюють на змінному струмі (AC), використовуються інвертори, які перетворюють постійний струм у змінний.

Сонячний інвертор – електронний пристрій, який використовується в системах сонячної енергетики для перетворення постійного струму (DC), що генерується сонячними панелями, у змінний струм (AC), який може використовуватися для живлення побутових пристроїв або передаватися в електромережу.

Пускова апаратура – сукупність пристроїв та елементів, які забезпечують запуск, контроль, регулювання та зупинку роботи електричних машин або іншого обладнання. Вона використовується в різних галузях електротехніки, від побутового до промислового обладнання



Jinko Solar JKM-585N 585 Вт



Рисунок 1.12 – Сонячні панелі практичного застосування

Розподільчий пристрій міні СЕС



Anker Solix F2000 2400 Вт

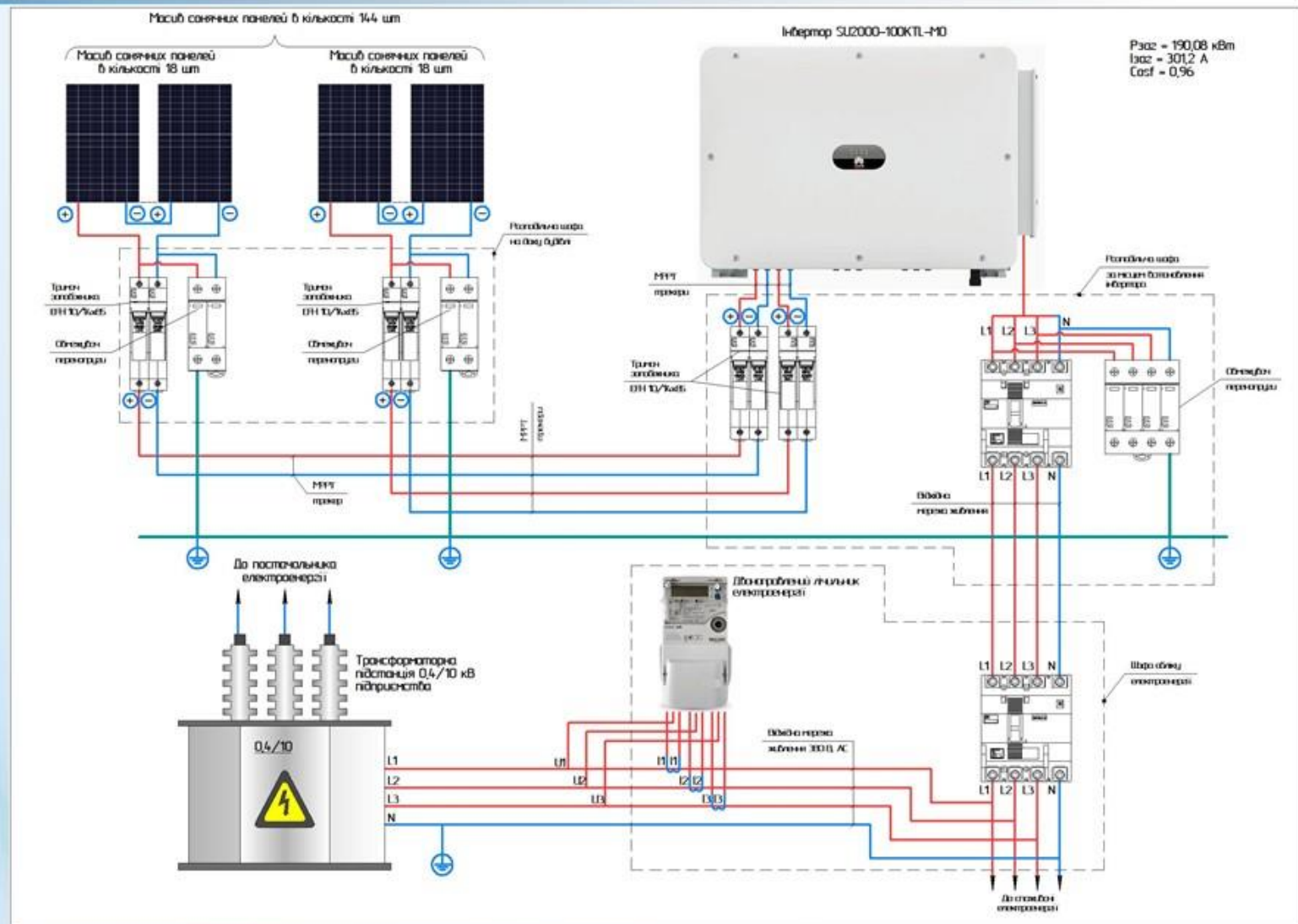


Рисунок 1.13 – Портативна електростанція Anker

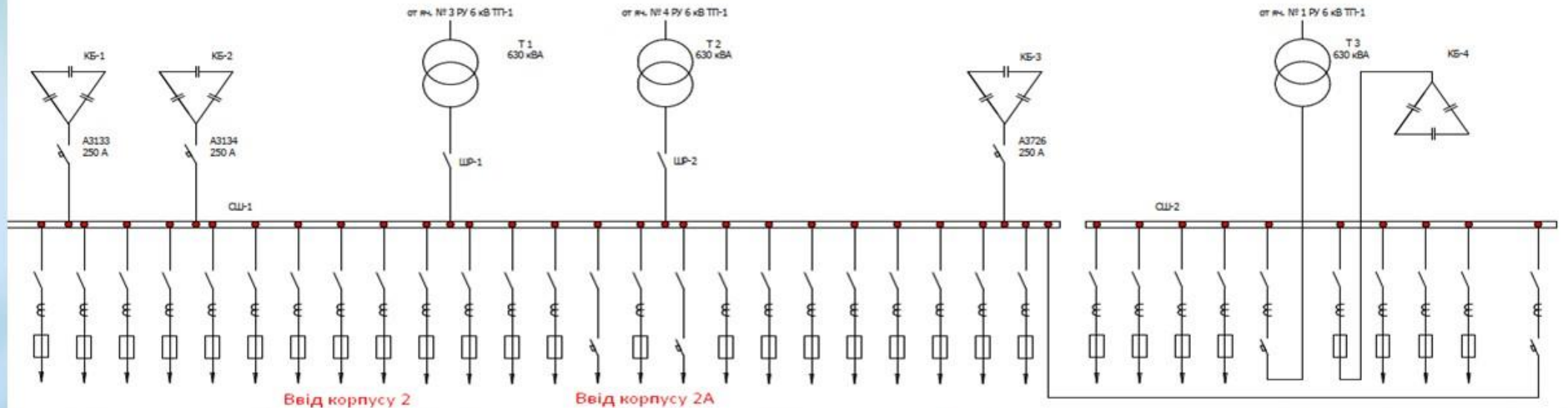
Структурна схема мережевої сонячної електростанції, що пропонується

Застосовується наступне обладнання:

- сонячні панелі Risen RSM132-8-660M;
- інвертор SUN2000-100KTL-M0;
- запобіжники NH gPV CH10/14x85 25 A 1500 VDC;
- тримач запобіжників EFH 10/14x85;
- обмежувач перенапруги ETITEC M T12 PV 1500/12,5 Y (стрінга MPPT);
- розподільчі коробки ЩМПп ABS IP65 600 x 500 x 220 мм;
- автоматичний вимикач EB2 250/4L 200A 4P;
- обмежувач перенапруги ETITEC C T2 275/20 (4+0);
- двонаправлений лічильник ACE6000 Itron.



Розподільча електрична схема 0,4 кВ внутрішніх електромереж підприємства



Ввід корпусу 2

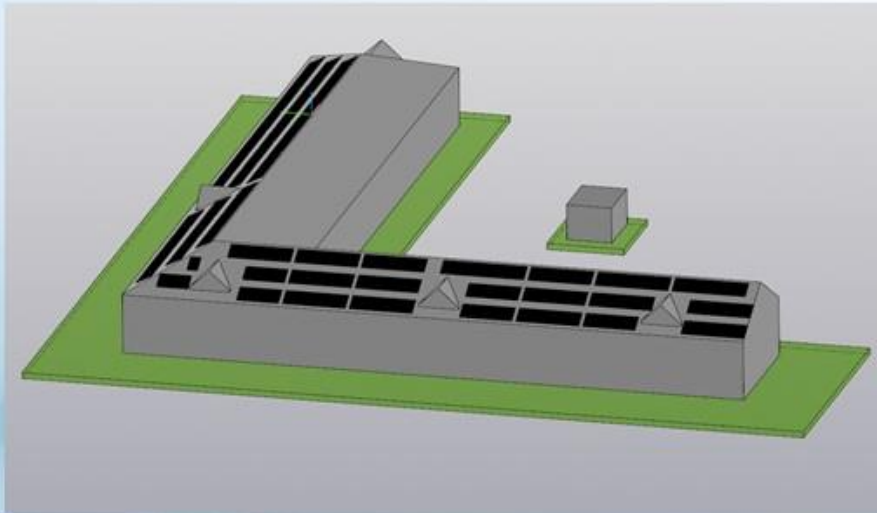
Ввід корпусу 2А

Панель №1				Панель №2				Панель №3				Панель №4				Панель №5				Панель №6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Зан №1 РП-1, РП-8	Корпус 2 з 2 РП-10, 12-13, 14 з РП-17	ТТ №2 Р 0,4 кВ	Корпус 3 з 2 РП-9, 14 з РП-11, 12, 3 з РП-13, 14 з РП-17	Зан 3 Р-3 (має леву)	Корпус 2 (РК2 з лів. ввідної шайби №1)	Зан 3 РП-5, РП-6	Корпус 2 (РК2 з лів. ввідної шайби №2)	Зан 1 РП-3	Зан 1 РП-1, РП-2	Зан 2 РП-6-2	Зан 2 РП-3, РП-4	Ввід корпусу 2А (РК1) (корпус, лівий, правий, лівий, право)	Корпус 2 з 1 з 11 каб.	Ввід корпусу 2А (РК1) (корпус, лівий, правий, лівий, право)	А3144 600 А	Корпус 2А новий зан №1 РП-11, РП-13, РП-13	Ввід на корпус 2А	Собівна мережа ТТ-1 шлях освітлення	Зан №1 (пробив) Рубильник лів. машини ЦД	Корпус 2А	Корпус 2А	Зан №1 лів. машини РП-12, корпусний	Зан 1 РП-6-1
Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	А3144 600 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А	Р-3 400 А
Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5	Т-066 200/5
БПВ/Л 3х95	АСБ-2 3х95	АСБ 3х95	АСБ-2 3х95	ПВ-3 3х95	АББГ 4х120	ПВ-3 3х95	АББГ 4х120	БПВ/Л 3х95	БПВ/Л 3х95	ПВ-3 3х95	БПВ/Л 3х95	АСБ 3х185	АСБ 3х95	АББГ 4х185	АСБ 3х185	АСБ 3х20	ПВС 3х2,5	АСБ 3х50	АСБ 3х95	БПВ/Л 3х95	БПВ/Л 3х95	АСБ 3х50	АСБ 3х50

Панель №1				Панель №2		Панель №3			Панель №4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зан 4 РП-6-4 (має леву)	Шлях рп-6,2 корп. 2А шлангово	Шлях рп-6,1 корп. 2А шлангово	Зан 4 РП-6-6 (шлях леву)	Ввід от група №3	Лів. зан №5 р-15	Лів. зан №5 РП-4, 15, Р-14	Корп. Батарей №1, ЦД	Резерв	Секційний розподільник
250 А	250 А	250 А	250 А	1000 А	250 А	250 А	250 А	250 А	1000 А
250 А	250 А	250 А	250 А		250 А	250 А	250 А	250 А	
250/5	250/5	250/5	250/5	1000/5	250/5	250/5	250/5	250/5	1000/5
	АББГ 4х120	АББГ 4х120							

План розподілу електронавантажень підприємства

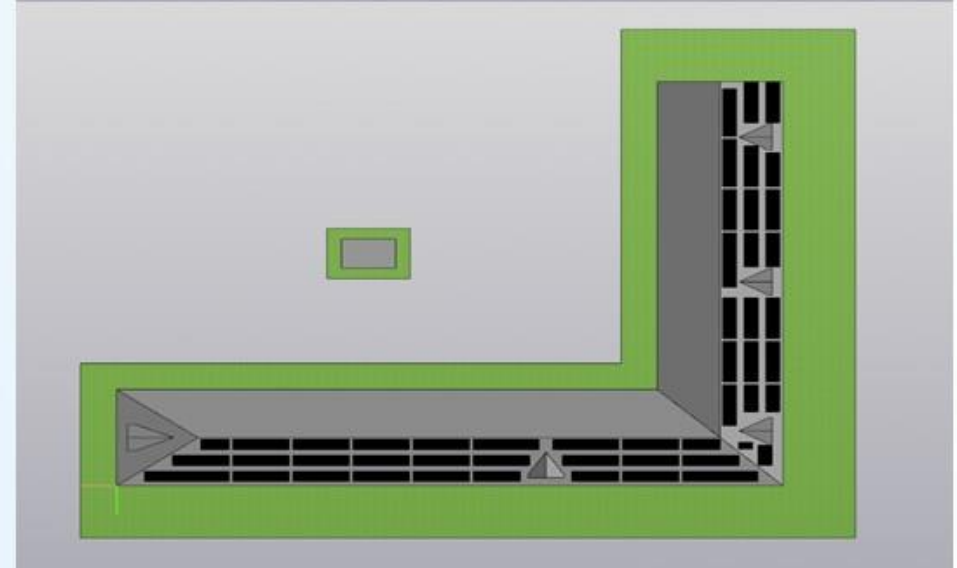
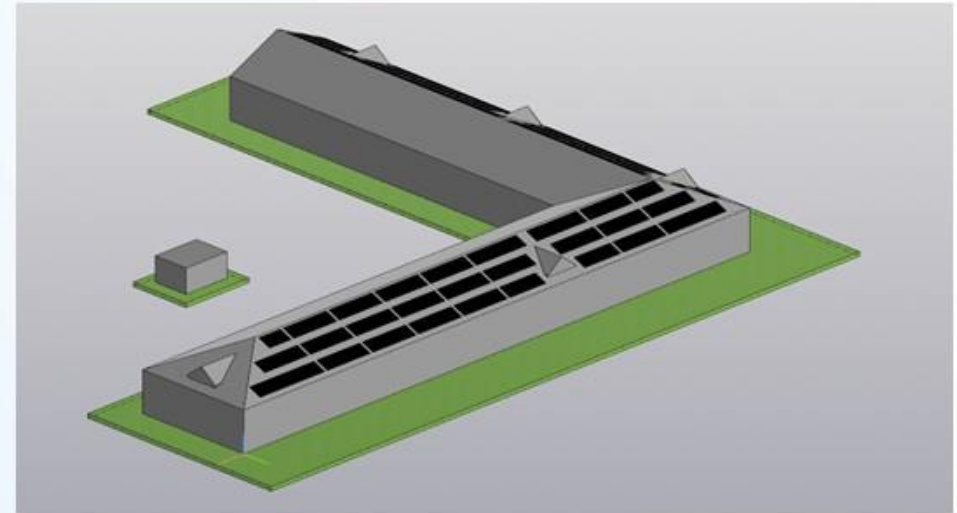
Масиви сонячних панелей, корпус - 2



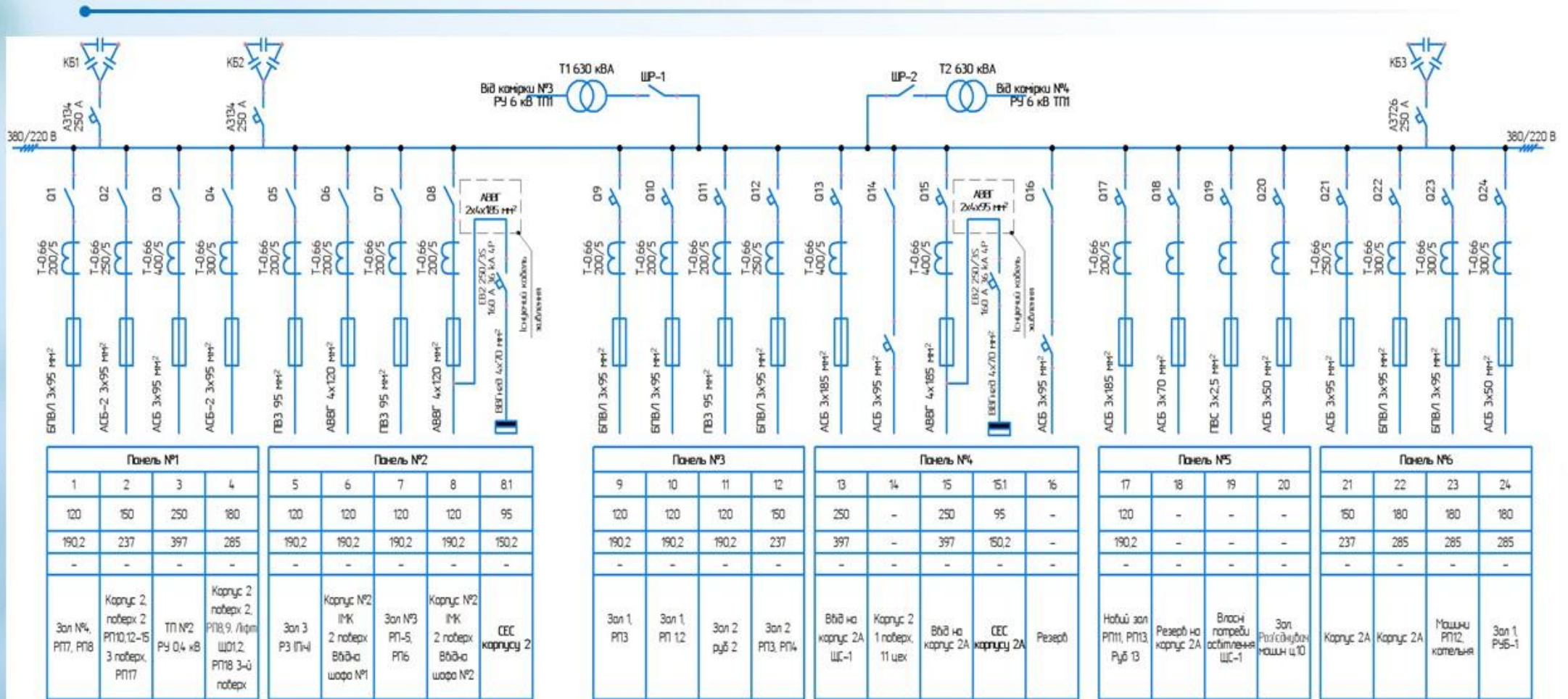
Корпус 2 та 2А

- 144 панелі потужністю 660 Вт;
- MPPT стрінгів 8 шт;
- 1 MPPT стрінг підключений між собою послідовно в кількості 18 панелей;
- сонячний інвертор потужністю 100 кВт;
- провід для підключення сонячних панелей Solar H1Z2Z2 номінальною напругою до 1500 В DC;
- падіння напруги на стороні постійного струму не більше 14 В при довжині лінії стрінга 90 м з перерізом провідника 6 мм².

Масиви сонячних панелей, корпус – 2А

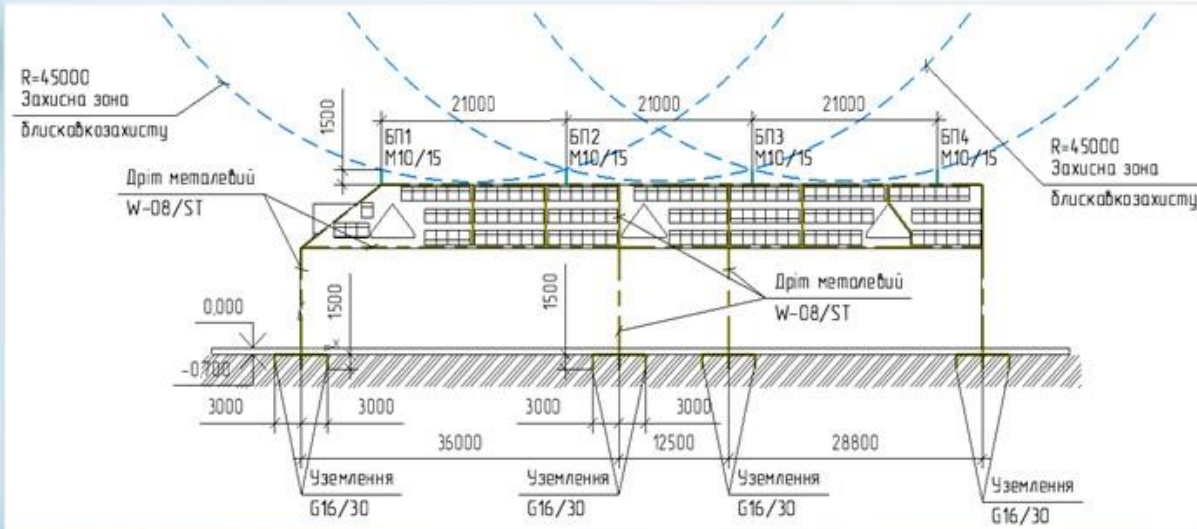


Доцільна схема під'єднання фото-електростанції до електромереж підприємства



Система блискавкозахисту та зрівнювання потенціалів

Система блискавкозахисту та уземлення корпусу 2



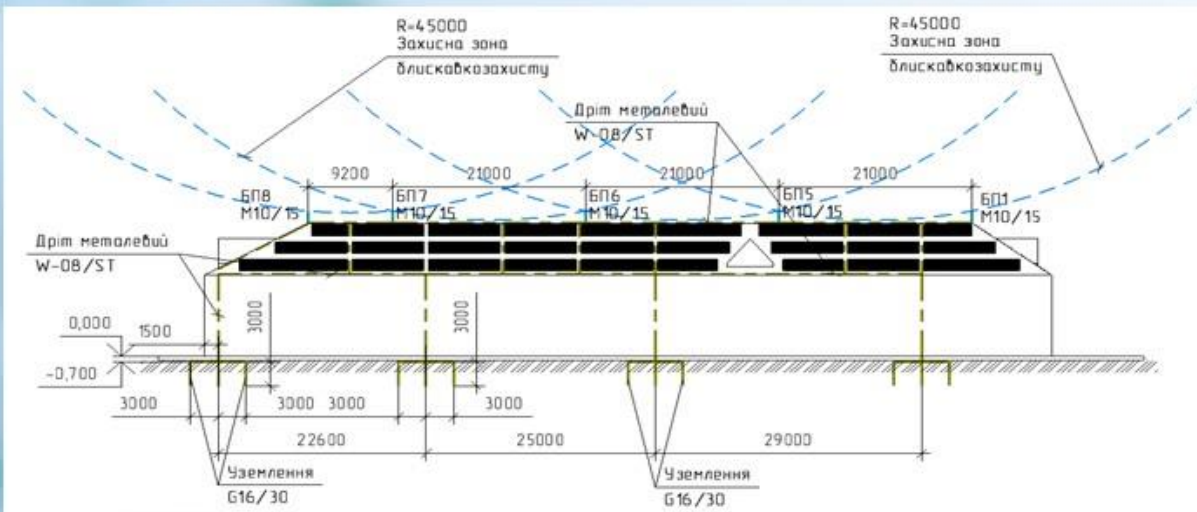
Блискавкоприймач



Стержневий уземлювач



Система блискавкозахисту та уземлення корпусу 2А



Дріт оцинкований



Аксессуары



Економічний аналіз доцільності встановлення фото-електростанції

Назва	Тип	Од. вимір.	Кіл-ть	Ціна (з ПДВ)	Сума (з ПДВ)
Прямі витрати					
Корпус електротехнічний	КЕП 1600x800x400 IP 54	шт	2,0	8 900,0	17 800,0
Корпус розподільчий	ЩМПт-600x500x220мм ABS IP65	шт	16,0	3 050,0	48 800,0
Сонячні панелі	Titan risen RSM132-8-660M	шт	288,0	5 871,0	1 690 848,0
Інвертор промисловий	SUN 2000 - 100KTL-M0	шт	2,0	236 500,0	473 000,0
Лічильник двонаправлений	ACE6000 Iron	шт	1,0	12 600,0	12 600,0
Запобіжники	NH gPV CH10-14x85 25 A 1500 V DC	шт	64,0	553,5	35 424,0
Тримач запобіжників	EFH 10/14x85	шт	64,0	454,5	29 088,0
Обмежувач перенапруги	ЕПТЕС М Т12 PV 1500/12,5 У	шт	8,0	8 730,0	69 840,0
Обмежувач перенапруги	ЕПТЕС С Т2 275/20 (4+0)	шт	2,0	3 627,0	7 254,0
Автоматичний вимикач	EB2 250/4L 200A 4р	шт	4,0	12 780,0	51 120,0
Провід сонячних панелей	Solar H1Z2Z2 1x6	м	880,0	63,9	56 232,0
Провід силовий	АВВГнгд 4x120	м	200,0	431,5	86 300,0
Провід	ПВЗнгд 1x1,5	м	400,0	11,4	4 560,0
Провід	ПВЗнгд 1x2,5	м	180,0	18,9	3 402,0
Провід	ПВЗнгд 1x10 (Жовто-Зелений)	м	164,0	75,2	12 332,8
Блискавкоприймач	M10/15	шт	8,0	882,0	7 056,0
Дріт однієвокаб	W-08/ST	кг	250,0	146,4	36 600,0
Стержень уземлення	G-16/30	шт	24,0	1 179,0	28 296,0
Комплект кріплень сонячних панелей	-	компл.	1,0	180 000,0	180 000,0
Акcesуари БЗЗ та уземлення	-	компл.	1,0	14 600,0	14 600,0
Електромонтажні вироби	-	компл.	1,0	40 000,0	40 000,0
Виконання робіт					
Проектні роботи	-	послуга	1,0	280 000,0	280 000,0
Електромонтажні роботи	-	послуга	1,0	840 000,0	840 000,0
Пусконаладжувальні роботи	-	послуга	1,0	24 000,0	24 000,0
Інше	-	-	1,0	30 000,0	30 000,0
Разом:					4 066 552,8
				0,107 (Євро за кВт*год)	
Виробництво дахової СЕС, кВт в рік		кВт	221 412,0	5,64	1 248 763,7

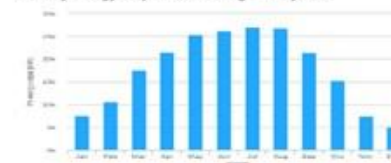
В залежності від коливань цін на електроенергію, строк окупності дахової мережевої СЕС становить 3,5-4 роки.



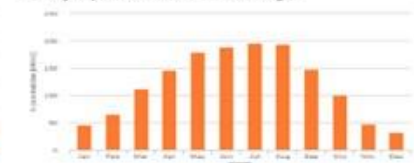
PVGIS estimates of solar electricity generation :

Provided inputs:	Simulation outputs:	Outline of horizon at chosen location:
Latitude/longitude: 49.579 , 34.536	Slope angle: 35 °	
Horizon: Calculated	Azimuth angle: 0 °	
Database used: PVGIS-SARAH3	Yearly PV energy production: 211412.83 kWh	
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation: 1450.04 kWh/m2	
PV installed: 130 kWp	Year-to-year variability: 10218.65 kWh	
System loss: 14.1%	Changes in output due to:	
	Angle of incidence: -2.83 %	
	Spectral effects: 1.31 %	
	Temperature and low irradiance: 9.36 %	
	Total loss: -23.26 %	

Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



При введенні в експлуатацію сонячних електростанцій, без ПДВ

Тип станції	до 31.12.2019	3	3	3	3	3
		до 01.01.2020 до 31.12.2020	до 01.01.2021 до 31.12.2021	до 01.01.2022 до 31.12.2022	до 01.01.2023 до 31.12.2024	до 01.01.2025 до 31.12.2029
Дахова СЕС	0,164 Євро за кВт*год	0,123 Євро за кВт*год	0,118 Євро за кВт*год	0,115 Євро за кВт*год	0,110 Євро за кВт*год	0,107 Євро за кВт*год
Наземна СЕС	0,15 Євро за кВт*год	0,113 Євро за кВт*год	0,109 Євро за кВт*год	0,105 Євро за кВт*год	0,101 Євро за кВт*год	0,097 Євро за кВт*год

Висновки

У рамках представленої кваліфікаційної роботи було розраховано сонячну електростанцію потужністю 190 кВт з дослідженням її роботи та улаштування на промисловому підприємстві.

Аналіз доцільності використання сонячних панелей, показав, що цей вид енергії хоч і дорогий, але і найбільш доступний як для приватних домогосподарств так і для комерційних підприємств. У ході роботи було проаналізовано роботу сонячних панелей із застосуванням мобільних портативних електростанцій, що в нинішніх умовах які склалися на території нашої держави, дозволяють жити основні побутові електричні прилади, які в свою чергу дозволяють пройти погодинні відключення світла.

Вибрано оптимальну конфігурацію обладнання (сонячні панелі, інвертори, кабельно-провідникову продукцію, системи кріплення).

Проведено розрахунки прогнозованої генерації електроенергії залежно від географічного розташування та кліматичних умов.

Розраховано систему блискавкозахисту та заземлення. Розглянуті основні аспекти по охороні праці під час експлуатації сонячної СЕС.

