

Кафедра _____ (факультет)
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ _____
_____ (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Долінського Романа Олеговича
(ПІБ)

академічної групи 141М-22-1
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____

за освітньо-
професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Обґрунтування вибору фотогальванічних панелей для промислових електростанцій

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи				
Розділів:				
Технологічний	Пінчук В.О			
Спеціальний	Пінчук В.О			
Економічний	<u>Тимошенко Л.В</u>			
Рецензент				
Нормоконтролер	Олішевський Г.С			

Дніпро
2023

Форма завдання на кваліфікаційну роботу за освітньо-професійною програмою

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Електроенергетики

(повна назва кафедри)

Папайка Ю.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня Магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Долінський Р.О. академічної групи 141М-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною **програмою** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

На тему Обґрунтування вибору фотогальванічних панелей для промислових електростанцій

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.11.2023 №1372-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступна частина		22.10.2023
Основна частина		26.11.20203
Економічна частина		10.12.2023

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Пінчук В.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 25.09.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Долінський Р.О.
(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 57 с, 15 рис, 6 табл, 1 додаток, 10 джерел.

**СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА
СТАНЦІЯ, ІНВЕРТОР.**

Об'єкт досліджень - технічні характеристики різних видів сонячних батарей, аналітичні дані використання альтернативних джерел енергії в Україні, сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України за областями, дані про інсоляцію в Україні.

Мета дипломної роботи - визначити найбільш ефективний вид сонячних батарей на різних типах кристалах. У вступі описується стан проблеми, пропонуються способи, якими можна забезпечити збільшення кількості енергії, що поглинається сонячною батареєю.

Вихідні дані для проведення роботи – електричні принципові схеми, нормативні документи з якості електроенергії на базі фотоелектростанції потужністю 30кВт.

Економічним обґрунтуванням проекту - проведено аналіз вартості створення установки з урахуванням всіх витрат на придбання обладнання та комплектуючих і оплату робітників. Крім цього розраховані щорічні витрати на обслуговування і ремонт обладнання, а також амортизація витрачених коштів.

ABSTRACT

Explanatory Note: 57 pages, 15 figures, 6 tables, 1 appendix, 10 sources.

SOLAR ENERGY, SOLAR PANEL, PHOTOVOLTAIC STATION, INVERTER.

Research Object: Technical specifications of various types of solar panels, analytical data on the use of alternative energy sources in Ukraine, the total annual solar energy potential in Ukraine by regions, and data on insolation in Ukraine.

The aim of the thesis is to determine the most efficient type of solar panels on different types of crystals. The introduction describes the state of the problem and proposes ways to increase the amount of energy absorbed by the solar panel.

The work's initial data include electrical schematic diagrams, regulatory documents on the quality of electricity from a 30 kW photovoltaic power station.

The economic justification of the project includes an analysis of the cost of installing the system, taking into account all expenses for purchasing equipment and components, as well as labor costs. In addition, annual expenses for equipment maintenance and repair, as well as the depreciation of incurred costs, have been calculated.

Зміст

Список умовних скорочень.....	6
Вступ.....	7
1 Класифікація фотоелектричних перетворювачів.....	9
1.2 Порівняння сонячних панелей.....	15
1.3 Дослідження ефективності сонячних панелей.....	16
Основна частина.....	22
2 Порівняння основних типів панелей.....	22
2.1 Характеристика об'єкта проектування.....	26
2.2 Розрахунок експлуатаційних параметрів ФЕМ.....	29
2.3 Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції.....	30
2.4 Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інверторів	31
2.5 Максимальний струм в колі.....	31
2.6 Максимальна напруга в колі.....	31
2.7 Розрахунок мінімальної кількості модулів в колі з урахуванням допустимої напруги інвертора.....	32
2.8 Визначення конструктивних параметрів окремого «стола».....	34
2.9 Розрахунок продуктивності СЕС.....	38
3 Економічний розділ.....	40
Висновки.....	55

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СЕС – сонячна електростанція;

ФЕС – фотоелектрична станція;

ФЕМ – фотоелектричний модуль;

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВН – висока напруга;

НН – низька напруга;

ДБН – державні будівельні норми;

ДСТУ – державний стандарт України;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КЛ – кабельна лінія;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ПС – підстанція;

РП – розподільчий пункт;

АВР – автоматичне вмикання резерву.

ВСТУП

На сьогоднішній день криза в галузі енергетики є однією з ключових проблем світу. Звичні для нас енергетичні ресурси є вичерпними та несуть шкоду для нашого середовища. Тому ці фактори основним чином вплинули на популяризацію використання відновлюваних джерел енергії. Сонячна енергетика – досить перспективна галузь альтернативних джерел видобутку енергії, яка з останніми роками прогресивно розвивається. Її можна назвати невичерпним джерелом, яке має два основні плюси – відновлювальний ресурс та повністю екологічно чиста електроенергія яка не завдає шкоди для довкілля. Сонце є невичерпно потужним джерелом електричної енергії, і цю енергію можливо отримувати, використовуючи сонячні фотоелектричні елементи і фотоелектричний ефект для перетворення світлової енергії в електричну. Проте перетворення звичайної фотоелектричної комірки має низьку ефективність. Основна причина цієї проблеми це те, що потужність фотоелементів залежить безпосередньо від інтенсивності світла, яке поглинається панеллю, а так, як Сонце постійно змінює своє положення, то ефективність поглинання статичними сонячними панелями буде значно менша від максимальної, що буде отримана при попаданні промені впад прямим кутом на поверхню. Фундаментальне розуміння того, як працює фотоелектрична панель, має важливе значення для створення високоефективної сонячної системи. Панелі сонячних батарей формуються з сонячних елементів, які з'єднані паралельно або послідовно. При послідовному підключенні відбувається збільшення загальної напруги, що підключається паралельно до збільшення загального струму. Кожен окремий сонячний елемент, як правило, виготовляється з кристалічного кремнію, хоча є й інші типи, такі як стрічка і тонкоплівковий силікон.

Альтернативна енергетика – сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з мінімальними впливом на довкілля та ризиком техногенних катастроф. До альтернативних джерел

енергії відносять: енергія сонця, гідроенергію, геотермальних вод та вітру, біомаси. Використання даних видів енергетики дозволить скоротити викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, скоротити залежність від палива, а також створити додаткові можливості для різних сфер господарства. Сонячне випромінювання, що потрапляє на поверхню планети є потужним джерелом екологічно чистої енергії. Даний вид енергетики є радіаційно безпечним, а також при її виробленні не утворюється вуглекислий газ. Але в отриманні сонячної енергії є як «плюси» так і «мінуси». Погодні фактори відіграють велику роль. Багато хто скаржиться на досить високу вартість сонячних елементів, відносно невисоку ефективність у плані окупованості. Проте з кожним роком попит на сонячні електростанції в Україні тільки росте і відповідно ціни на сонячні елементи різко знижуються. «Підводним каменем» функціонування сучасних «сонячних ферм» стає проблема технічної підтримки та обслуговування. Досвід використання сонячних панелей показав, що інтенсивний нагрів фотоелементів відчутно знижує ефективність системи в цілому, тому потрібно передбачати вирішення охолодження модулів. Також сонячні батареї необхідно періодично чистити від пилу і бруду, а в разі роботи з установкою площею кілька квадратних кілометрів з очищенням можуть виникнути значні труднощі. Проте основна проблема сонячної енергії полягає в тому, що вона безпосередньо залежить від інтенсивності світла. Для отримання максимальної кількості енергії сонячна панель повинна бути перпендикулярною до джерела світла. Оскільки сонце рухається як протягом дня, так і протягом усього року, сонячна панель повинна мати можливість стежити за рухом сонця, щоб отримати максимально можливу потужність. Рішення полягає у використанні системи стеження, яка підтримує ортогональне положення панелі з джерелом світла. Існує багато конструкцій системи стеження, включаючи пасивні та активні системи з однією або двома осями. Середнє значення ККД в сонячних батареях на монокристалічному кремнії сьогодні становить близько 15 %. Проте ці

цифри актуальні лише влітку, ополудні і при падінні сонячного випромінювання перпендикулярно на світлопоглинаючу панель. В реальних умовах, коли Сонце рухається від сходу до заходу змінюється кут падіння випромінювання та його інтенсивність. Тому для зменшення впливу цих факторів використовується система автоматичного позиціонування сонячних панелей, що значно підвищує енергетичну вигоду сонячного випромінювання.

1.Класифікація фотоелектричних перетворювачів

Фотоелектричні панелі – один з найважливіших компонентів системи в цілому. Дане обладнання займає ключове місце в генеруванні електроенергії. За допомогою унікальної структури та конструкції фотоелектричних модулів, вони мають змогу отримувати енергію від постійного джерела світла – Сонця. Перетворення енергії в Фотоелектричних панелях ґрунтується на фотовольтаїчному ефекті. Він утворюється в напівпровідникових неоднорідних структурах у результаті впливу на них випромінювання Сонця.

Залежно від матеріалу, конструкції і способу виробництва ФЕП діляться на кілька типів:

-Тонкоплівкові фотоелектричні модулі.



Рис. 1.1 Зовнішній вигляд тонкоплівкової панелі

Тонкоплівкові фотоелектричні модулі - це тип сонячних панелей, які виготовляються шляхом нанесення тонких шарів фоточутливих матеріалів, таких як аморфний кремній, кадмієво-телурові плівки (CdTe) або селенід-мідь (CIS/CIGS), на підґрунтя, яке може бути скляне або гнучке.

Основна перевага тонкоплівкових модулів - це їхні невеликі товщина та легкість. Вони можуть бути гнучкими, що дозволяє їх використовувати в різних місцях, де традиційні важкі сонячні панелі були б недоцільними. Також цей тип панелей має високий потенціал для інтеграції в будь-які об'єкти, такі як покрівлі будівель, антикорозійні захисні покриття тощо.

Коефіцієнт перетворення сонячної енергії (КПЕ) тонкоплівкових сонячних модулів може варіюватися залежно від типу матеріалу, використаного у виробництві панелі, та технології її виготовлення. Зазвичай КПЕ тонкоплівкових панелей становить від приблизно 7% до 15%. Однак найефективніші тонкоплівкові модулі можуть досягати КПЕ близько 20%.

- Монокристалічні фотоелектричні модулі



Рис. 1.2 Зовнішній вигляд монокристалічної панелі

Монокристалічні фотоелектричні модулі виготовляються з монокристалічного кремнію, який отримують шляхом вирощування кристалів з високою чистотою. Цей процес відбувається шляхом плавлення сировини і контрольованого відпускання кристалів, що дає однорідний, більш високоякісний матеріал. У процесі охолодження кремній поступово застигає у формі циліндричної виливки монокристала діаметром від 13 см до 20 см, довжина якого досягає 200 см. Одержуваний таким чином злиток нарізається сегментами товщиною від 250 мкм до 300 мкм. Такі елементи мають більш високу ефективність у порівнянні з елементами, виробленими іншими способами, ККД досягає 19%, завдяки особливій орієнтації атомів монокристалу, яка сприяє зростанню рухливості електронів. Кремній пронизує сітка з металевих електродів. Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом

Монокристалічні модулі мають однорідний чорний колір і часто мають вигляд квадратних чи обрізаних у формі восьмикутника панелей. Їх ефективність зазвичай вища порівняно з полікристалічними панелями,

зазвичай у діапазоні 15-22%, хоча технології постійно вдосконалюються, і ефективність може бути ще вищою.

Ці панелі мають кращу витривалість та довший термін служби порівняно з іншими типами сонячних панелей, що робить їх популярними у вимогливих наукових та промислових застосуваннях, де ефективність та тривалий термін служби важливі. Однак вони можуть бути дорожчими у виробництві порівняно з іншими технологіями, такими як полікристалічні чи тонкоплівкові сонячні модулі. Сонячні батареї надійні, довговічні (термін служби до 50 років) і прості в установці, так як не містять рухомих частин. Сонячні батареї можна використовувати, де погано працює звичайне енергопостачання і велика кількість сонячних днів.

- Полікристалічні фотоелектричні модулі



Рис. 1.3 Зовнішній вигляд полікристалічної панелі

Полікристалічні фотоелектричні модулі виготовляються з кремнію, але вони отримуються шляхом відливання розплавленого кремнію у форми блоків, які потім ріжуться на тонкі пластини. Цей процес виробництва більш простий і менш енергоємний, але призводить до меншої однорідності структури матеріалу, у порівнянні з монокристалічними модулями.

Полікристалічні панелі часто мають синьо-фіолетовий відтінок через структуру кристалів у їхній основі. Їхній ККД може бути нижчим, зазвичай у діапазоні близько 13-16%, хоча цей показник також залежить від виробника та технології виготовлення.

Ці панелі зазвичай менш витривалі та можуть мати коротший термін служби порівняно з монокристалічними, проте їхні виробничі витрати зазвичай менше, що робить їх більш доступними для споживачів. Вони широко використовуються в різних масштабах, від житлових систем до комерційних та промислових вирішень, завдяки своїй більш доступній ціні та прийнятній ефективності. Удосконалення процесу виробництва елементів даного типу дозволяє сьогодні отримувати компоненти, характеристики яких лише трохи поступаються по електричним показникам монокристалів.

Двосторонні фотоелектричні модулі

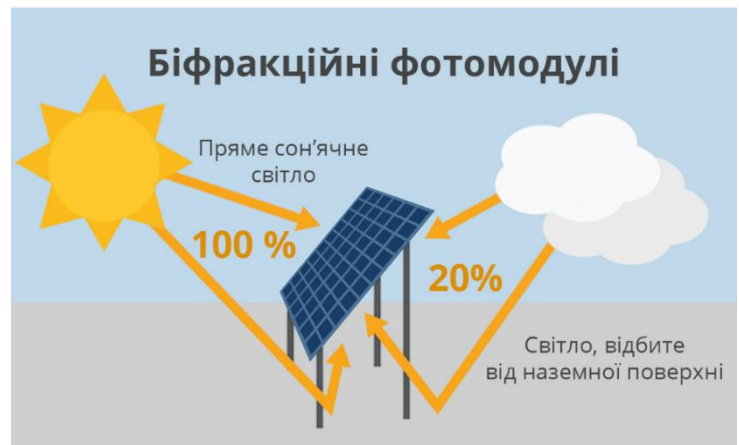
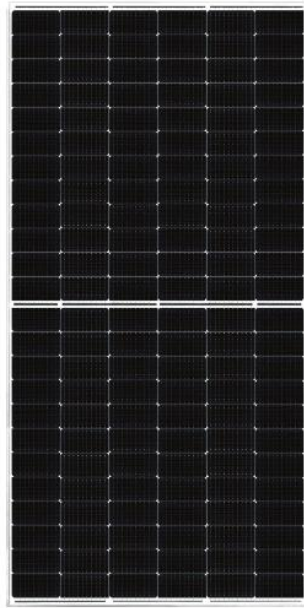


Рис. 1.4 Зовнішній вигляд двостороннього модуля

Двосторонні фотоелектричні модулі - це сонячні панелі, які можуть генерувати електрику як з основної, так і з зворотної сторони. Це можливо завдяки спеціальному дизайну та конструкції, яка дозволяє використовувати світло, що відбивається від підкладки або оточуючих поверхонь. Особливо популярними в останні пару років вони стали в Китаї. Зокрема, двосторонні сонячні панелі дозволяють отримати більше енергії від, здавалося б, стандартного розміру батарей. Однак навіть використання обох сторін двосторонніх сонячних елементів поки не підвищує продуктивність до максимальних 100%

Такі панелі можуть бути корисними у випадках, коли наявність відбитого світла може збільшити загальну енергію, зібрану з сонячного випромінювання. Наприклад, якщо панель встановлена над рівнем ґрунту або на покрівлі, де відбита від поверхні світлова енергія може додаватись до загальної генерації.

Важливою характеристикою таких модулів є їхня конструкція, яка має бути такою, щоб забезпечити максимальний збір світла з обох сторін панелі і одночасно зберігати довговічність та ефективність. Такі панелі можуть знайти застосування у спеціальних випадках, де відбите світло може приносити додаткову користь для виробництва електроенергії. Розробники втілили в життя інноваційні панелі з використанням двостороннього модуля, які працюють набагато довше звичайних. Крім того, зросла і вироблення енергії. Система поглинає світло лицьовій і тильній сторонами

Зазвичай ККД двосторонніх панелей сягає близько 20-30% для односторонньої генерації енергії, і додатково, приблизно 5-10% може бути отримано з зворотної сторони завдяки використанню відбитого світла.

Ці значення можуть відрізнитися в залежності від різних факторів, таких як тип використаного фоточутливого матеріалу, конструкція панелі, якість скла чи іншого матеріалу, який використовується на підкладці для панелі, а також від властивостей оточуючого середовища та умов експлуатації.

1.2 Порівняння сонячних панелей

- **Монокристалічні модулі:**

ККД: Зазвичай вище, близько 15-22%

Товщина і вага: Зазвичай товщі і важчі порівняно з іншими технологіями.

Термін служби: Зазвичай довший, більш витривалі у порівнянні з іншими типами панелей.

- **Полікристалічні модулі:**

ККД: Зазвичай трохи нижче, приблизно 13-16%.

Товщина і вага: Зазвичай тонші та легші, але менш витривалі.

Вартість: Зазвичай дещо дешевші у виробництві порівняно з монокристалічними.

- **Тонкоплівкові модулі:**

ККД: Зазвичай нижче, у діапазоні від 7% до 20%, залежно від конкретного матеріалу.

Товщина і вага: Найтонші та легкі, можуть бути гнучкими.

Ефективність у низькому освітленні: Можуть бути ефективнішими в умовах низького освітлення порівняно з іншими типами.

- **Двосторонні модулі:**

ККД: Приблизно 20-30% для односторонньої генерації, додаткові 5-10% зі зворотної сторони.

Функціональність: Здатні генерувати енергію з обох сторін, що робить їх корисними у певних умовах, де відбите світло може збільшити загальну енергію.

Вибір оптимального типу фотоелектричного модуля зазвичай залежить від конкретних умов установки, вартості, потреби у високій ефективності та інших факторів, таких як доступність і вимоги до просторового розташування.

1.3 Дослідження ефективності сонячних панелей

Ефективність сонячних елементів (або фотоелектричних перетворювачів, ФЕП) визначається їх структурою та типом використовуваної підкладки, якою зазвичай є кремній р-типу або n-типу. Ефективність фотоелектричного елемента сонячних батарей розраховується за так званим коефіцієнтом

заповнення, який пропорційний максимальній ефективності перетворення фотоелектричного елемента при оптимальній робочій напрузі та струмі. Конструкція ФЕП відіграє значну роль в ефективності панелі. Основні характеристики включають тип кремнію, конфігурацію контактних шин, тип переходу та спосіб пасивації поверхні. Панелі, побудовані з використанням високовартісних ІВС сонячних елементів, наразі є найефективнішими (20-22%) завдяки кремнієвій підкладці високої чистоти n-типу та відсутності втрат від затінення шин. Однак панелі, розроблені з використанням найновіших монокристалічних PERC елементів, фотоперетворювачів за технологією TOPcon і вдосконалених гетероперехідних HJT елементів, досягли рівня ефективності значно вище 21%.

Завдяки пасивним елементам задньої частини сонячної панелі, PERC технологія покращує ефективність всієї сонячної системи. За рахунок такої пасивації світло, потрапляючи на задню стінку елемента, не створює жодного вільного заряду, а відображається в комірці, де воно проводить електричний струм.

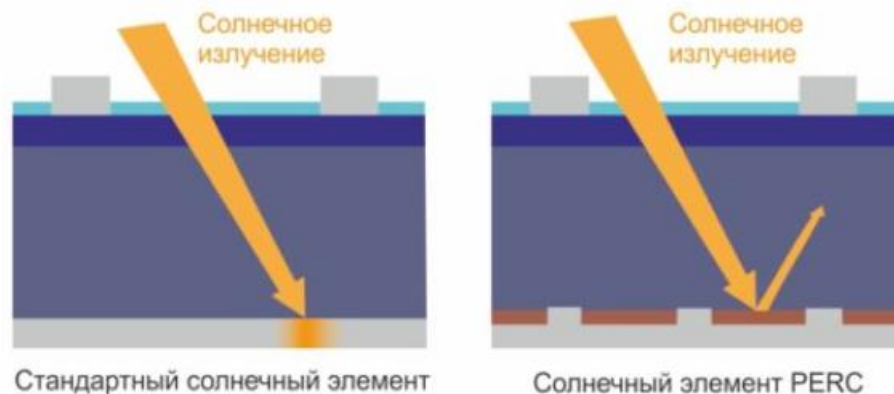


Рис 1.5 Комірка з технологією PERC

Фактично, технологія TOPCON – це просто нове покоління PERC, і, як і його попередник, вона може бути додана до елементів, виготовлених традиційним способом. TOPCon включає додавання ультратонкого шару діоксиду кремнію (SiO_2) та шару полікристалічного кремнію, легованого фосфором. Оскільки TOPCon є наступним логічним кроком після PERC, він не

призводить до значних додаткових витрат та суттєвого збільшення собівартості готового продукту. TOPCon поєднує тунельний оксидний шар із сонячним елементом PERC для зменшення втрат на рекомбінацію та підвищення ефективності фотоперетворення. Завдяки декільком додатковим крокам в технологічному процесі TOPCon перетворює PERC-елемент в більш потужний та ефективний.

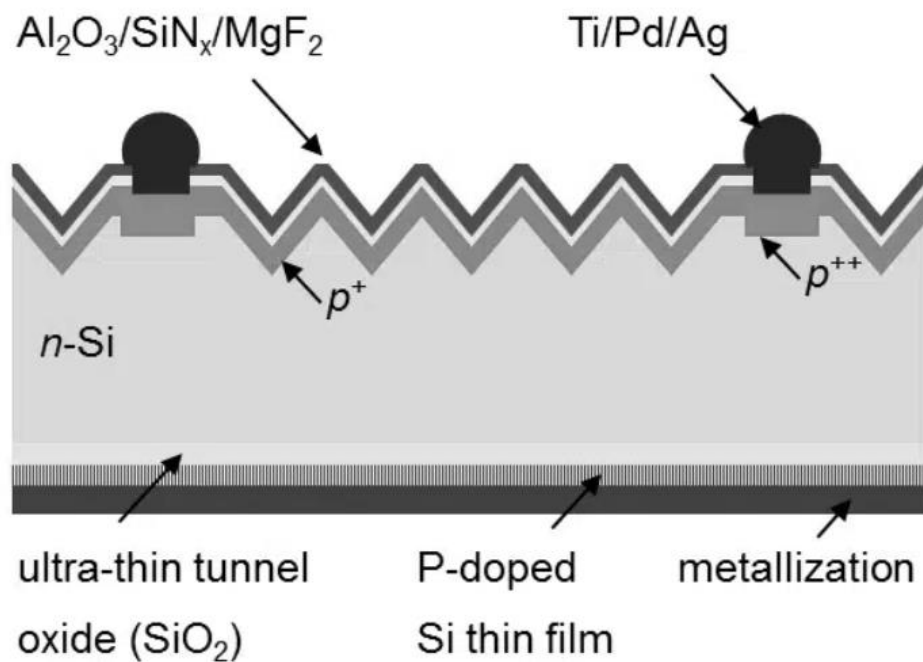


Рис 1.6 Комірка з технологією TOPCon

Ефективність сонячної панелі вимірюється за стандартних умов випробування (STC) при температурі 25°C , сонячного випромінювання 1000 Вт/кв.м і спектральної характеристики AM1,5. Ефективність сонячної панелі фактично обчислюється шляхом ділення її максимальної номінальної потужності (P_{max} , Вт) на загальну площу панелі, виміряну в квадратних метрах.

На загальну ефективність панелі може впливати багато факторів, зокрема; температура, рівень опромінення, тип ФЕП та схема комутації ФЕП

в панелі. Дивно, але навіть колір захисного тильного матеріалу може вплинути на ефективність. Так, темна задня сторона сонячної панелі може візуально виглядати естетичніше, але вона буде поглинати більше тепла, що призводить до підвищення температури фотоелементів, що збільшує опір, що, у свою чергу, дещо знижує загальну ефективність перетворення. Тому більш світлі захисні матеріали призводять до більш ефективної роботи всієї конструкції.

Найбільш ефективними є ІВС сонячні панелі, за ними йдуть гетероперехідні сонячні елементи (HJT), сонячні елементи TOPcon, монокристалічні PERC фотоперетворювачі та, нарешті, стандартні 60-елементні фотомодулі на базі монокристалічних фотоелементів. 60-коміркові полі- або мультикристалічні панелі, як правило, є найменш ефективними і в рівній мірі більш дешевими. За останні два роки виробники почали випускати більш ефективні сонячні панелі на основі високопродуктивних гетероперехідних елементів n-типу. Такі продукти також виграють від нижчої швидкості деградації, що становить лише 0,25% на рік. Якщо підрахувати 25-річний термін служби панелі, багато з цих високоефективних панелей гарантовано генеруватимуть 90% або більше початкової номінальної потужності, залежно від деталей гарантії виробника.

Ефективність також має велике значення для визначення необхідної площі для розміщення сонячної електростанції певної потужності. Панелі з більшою ефективністю виробляють більше енергії на квадратний метр і, отже, займають меншу загальну площу. Це ідеально підходить для дахів з обмеженим простором, а також дозволяє встановити системи більшої потужності на будь-якому даху.

Наприклад, 12 високоефективних сонячних панелей потужністю 400 Вт з ефективністю перетворення 21,8%, забезпечать приблизно на 1200 Вт (1,2 кВт) більшу загальну сонячну потужність, ніж та сама кількість панелей аналогічного розміру, але по 300 Вт із ККД 17,5%.

Залежно від місцевих умов навколишнього середовища ці різні фактори можуть знизити ефективність панелі та загальну продуктивність системи.

Основні фактори, які впливають на ефективність сонячної панелі:

- Інсоляція, або щільність сонячного опромінення, (Вт/кв.м);
- Затінення поверхні сонячних батарей;
- Орієнтація панелей;
- Діапазон робочих температур;
- Географічне розташування;
- Пора року;
- Пил і бруд;

Номінальна потужність сонячної панелі, виміряна у ватах (Вт), розраховується за стандартними умовами випробування (STC) при температурі 25°C і рівні освітленості 1000 Вт/кв.м. Однак у реальному використанні температура на поверхні сонячних фотоперетворювачів зазвичай піднімається значно вище 25°C, залежно від температури навколишнього повітря, швидкості вітру, часу доби та інтенсивності сонячного випромінювання.

Під час сонячної погоди внутрішня температура елемента зазвичай суттєво вища за температуру навколишнього повітря, що відповідає зниженню загальної вихідної потужності приблизно на 8-15% (залежно від типу сонячного елемента та його температурного коефіцієнта). Щоб забезпечити середню реальну оцінку продуктивності сонячних панелей, більшість виробників також вказують номінальну потужність в умовах NOCT або номінальну робочу температуру елемента. Продуктивність NOCT зазвичай вказується при температурі елемента 45°C і нижчому рівні сонячного випромінювання 800 Вт/кв.м, що наближено до середніх реальних умов роботи сонячних батарей. І навпаки, надзвичайно низькі температури можуть

призвести до збільшення вироблення електроенергії вище номінального значення для конкретного сонячного модуля, оскільки напруга фотоелектричного елемента зростає при нижчих температурах нижче 25°C. Сонячні панелі можуть перевищувати номінальну потужність панелі (P_{max}) протягом коротких періодів часу під час дуже холодної погоди. Це часто трапляється, коли сонячне світло пробивається взимку після періоду похмурої погоди.

Температурний коефіцієнт потужності вимірюється в % на °C:

- Полікристалічні сонячні елементи – 0,39 до 0,43 (% /°C);
- Монокристалічні сонячні елементи – 0,35-0,40 (% /°C);
- Монокристалічні ІВС сонячні елементи – 0,28 до 0,31 (% /°C);
- Монокристалічні HJT сонячні елементи – 0,25 до 0,27 (% /°C).

Найефективніші сонячні панелі на ринку зазвичай використовують монокристалічні кремнієві елементи n-типу. Поки що більшість виробників зазвичай пропонують більш поширені ФЕП за технологією моно-PERC p-типу, поступово починаючи переходити на більш ефективні елементи n-типу. Типова ефективність різних типів сонячних фотоелементів наведена нижче:

- Полікристалічні сонячні елементи- від 15 до 18%;
- Монокристалічні сонячні елементи- від 16,5 до 19%;
- Полікристалічні PERC сонячні елементи – від 17 до 19,5%;
- Монокристалічні PERC сонячні елементи – від 17,5 до 20%;
- Монокристалічні сонячні елементи n-типу – від 19 до 20,5%;
- Монокристалічні HJT сонячні елементи n-типу – від 19 до 21,7%;
- Монокристалічні ІВС сонячні елементи n-типу – від 20 до 22,8.

Виробники виробляють різні лінійки сонячних батарей із різними показниками ефективності залежно від типу кремнію та конструкції фотоелектричних перетворювачів. Високоєфективні панелі з ККД більше 21% із елементами n-типу, як правило, набагато дорожчі, тому, якщо вартість не є основним параметром, вони краще підійдуть для місць з обмеженим простором для монтажу. Крім того, панелі з елементами n-типу майже завжди перевершуватимуть панелі з елементами p-типу та генеруватимуть довше панелей із елементами p-типу через нижчу швидкість деградації під впливом світла, тому додаткові витрати зазвичай того варті в довгостроковій перспективі. Такі сонячні батареї забезпечують вищу продуктивність із нижчими темпами деградації та, як правило, мають довший гарантійний термін від виробника, тому часто є розумною та ефективною інвестицією.

Основна частина.

2.1 Порівняння основних типів панелей.

В Україні використовуються різні типи сонячних панелей, проте кристалічні кремнієві сонячні панелі, як монокристалічні, так і полікристалічні, є серед найбільш поширених.

Це пов'язано з наявністю технологічної бази для виробництва таких панелей та їх відносною ефективністю в порівнянні з іншими типами. Кристалічні сонячні панелі зазвичай відносяться до класу "традиційних" сонячних технологій і вже доведені до ефективності в різних умовах експлуатації.

В розрахунках будемо проводити аналіз двох сонячних фотомодулів на полікристаллах і монокристаллах з однаковою номінальною потужністю.

ELECTRICAL DATA / STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20 %	16.46 %	16.72 %	16.97 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

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

ELECTRICAL DATA / NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	228 W	232 W	236 W	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.84 A	6.91 A	6.98 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	41.6 V	41.8 V	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.44 A	7.50 A	7.57 A	7.66 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connectors	T4 (IEC / UL)
Per Pallet	26 pieces
Per container (40' HQ)	572 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

Рис 2.1 Технічні характеристики Полікристалічної панелі.

MAXPOWER CS6U-320

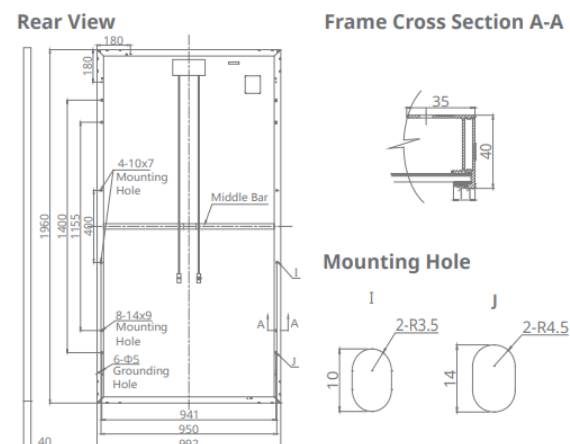
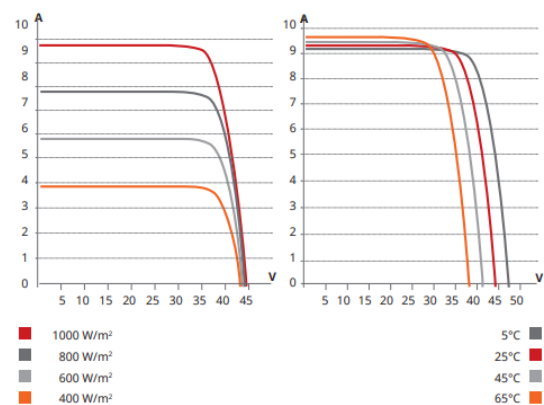
ENGINEERING DRAWING (mm)**CS6U-320P / I-V CURVES**

Рис 2.2 Габарити Полікристалічної панелі.

MAXPOWER CS6U-320

Напруга холостого ходу (V_{oc})	40,60 В
Струм МРРТ(I_{mp})	9,70 А
Напруга МРРТ(V_{mp})	33,00 В
ККД	19,18 %
Допустиме відхилення	0 ~ +4,99 Вт

Примітка

1. Дані відповідають умовам навколишнього середовища: інсоляція: 1000 Вт/м² температура модуля: +25 оС АМ=1,5
2. Можливе невелике відхилення в параметрах модулів від зазначених в таблиці через відхилення у властивостях окремих елементів.

5. Температурні характеристики

Номинальна робоча температура (NOCT)	45,0 °С
Температурний коефіцієнт P_{max}	-0,381 +/- 0,38 % °С
Температурний коефіцієнт V_{oc}	-0,281 +/- 0,28 % °С
Температурний коефіцієнт I_{sc}	0,050 +/- 0,05 % °С

Зміна значення потужності (P_{max}), напруги (V_{oc}) та сили струму (I_{sc}) при різних робочих температурах фотомодуля

	-50 °С	-25 °С	0 °С	25 °С	50 °С	75 °С	100 °С
I_{sc}	9,64 А	9,77 А	9,89 А	10,02 А	10,15 А	10,27 А	10,40 А
V_{oc}	49,16 В	46,30 В	43,45 В	40,60 В	37,75 В	34,90 В	32,04 В
P_{max}	411 Вт	381 Вт	350 Вт	320 Вт	290 Вт	259 Вт	229 Вт

Рис 2.2 Технічні характеристики Монолікрystalічної панелі

C&T Solar CT60 320-M

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0,9 - \eta), \quad (2.1)$$

Для полікрystalа $T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,16) = 45,3$ °С,

Для монокрystalа $T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,19) = 44,6$ °С,

Потужність РТС обчислюється з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта:

$$P_{РТС} = P_{STC} \cdot (1 - C_T \cdot (T_{РТС} - 25)) \quad (2.1)$$

Для полікристала $P_{РТС} = 320 \cdot (1 - 0,0041 \cdot (45,3 - 25)) = 291.4 \text{ Вт}$

Для монокристала $P_{РТС} = 320 \cdot (1 - 0,0038 \cdot (44,6 - 25)) = 296.7 \text{ Вт}$

Це складає $P_{РТС}/P_{STC}$ 91.06% від номіналу для полікристалічної панелі,
і 92.72% для монокристалічної.

Обчислення вироблення ФЕС електричної енергії W:

Середньорічне потрапляння сонячної енергії за добу:

$$W_{\text{ср.доб}} = 3,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Сумарне потрапляння сонячної енергії (інсоляція) за рік на 1 м^2 площі

Полікристал:

$$W_{\text{ср.доб.фем}} = W_{\text{ср.доб}} \cdot \eta_{\text{фем}} \cdot S_{\text{фем}} = 3,1 \cdot 0,1646 \cdot 1,219 = 0,62 \text{ кВт} \cdot \text{год за добу}$$

Монокристал:

$$W_{\text{ср.доб.фем}} = W_{\text{ср.доб}} \cdot \eta_{\text{фем}} \cdot S_{\text{фем}} = 3,1 \cdot 0,1918 \cdot 1,665 = 0,98 \text{ кВт} \cdot \text{год за добу}$$

Виробництво енергії 1 фем за рік:

Полікристал:

$$W_{\text{річ.фем}} = W_{\text{доб.фем}} \cdot 365 = 0,62 \cdot 365 = 226,3 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}$$

Монокристал:

$$W_{\text{річ.фем}} = W_{\text{доб.фем}} \cdot 365 = 0,98 \cdot 365 = 357,7 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}$$

Як ми можемо бачити монокристалічна панель ефективніша на 63,27% при однаковій потужності, це дає змогу ефективніше використовувати площу встановлення ФЕС та позитивно впливає на термін окупності станції.

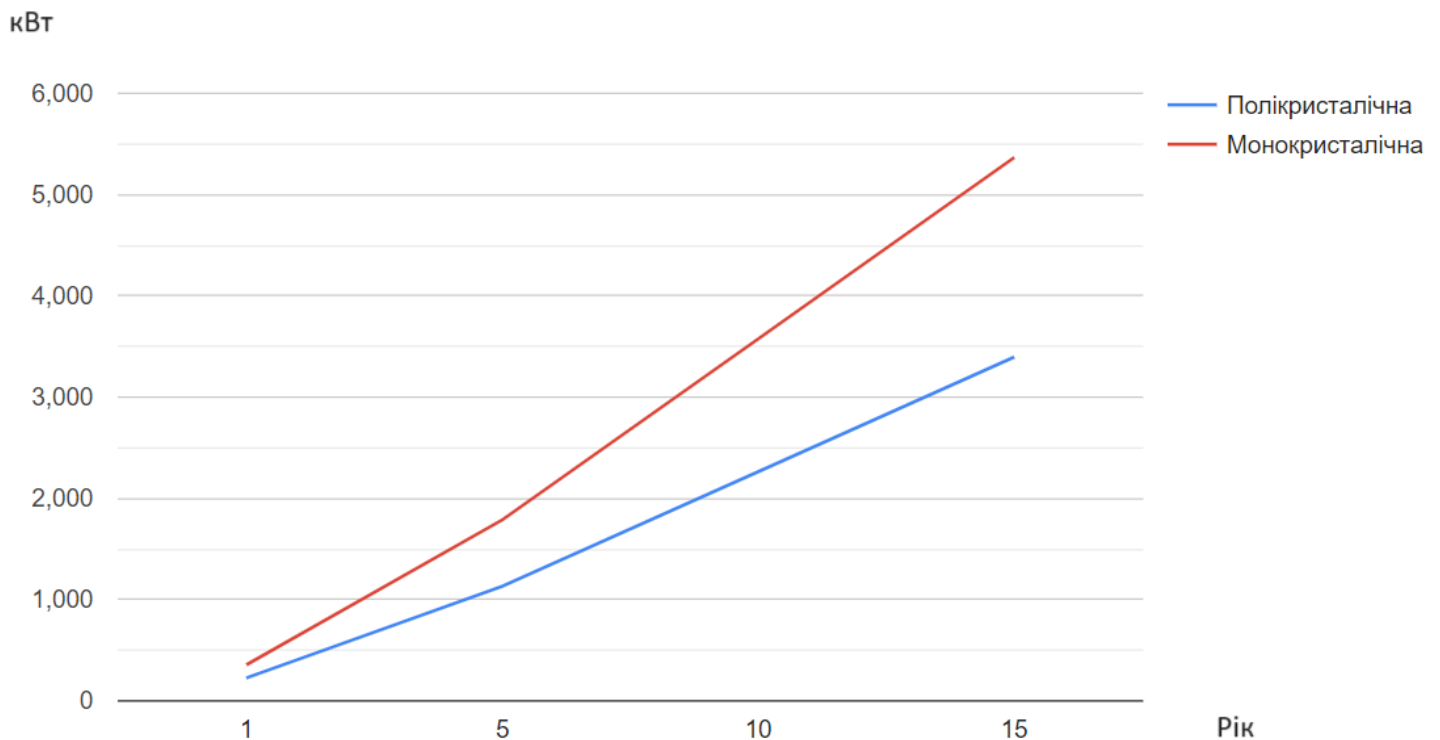


Рис 2.3 Порівняння кількості виробленої енергії

2.2 Характеристика об'єкта проектування

Реставрація існуючої мережевої станції та встановлення автономної безперебійної системи.

Місце розташування – Київська область.

Місце розташування модулів: наземна металоконструкція.

Відповідно до завдання на проектування передбачувана генерована потужність складає 30 кВт.

До складу СЕС входить:

- Сонячні модулі;
- Інверторне обладнання;
- Акумуляторні батареї;
- Дизельний генератор.

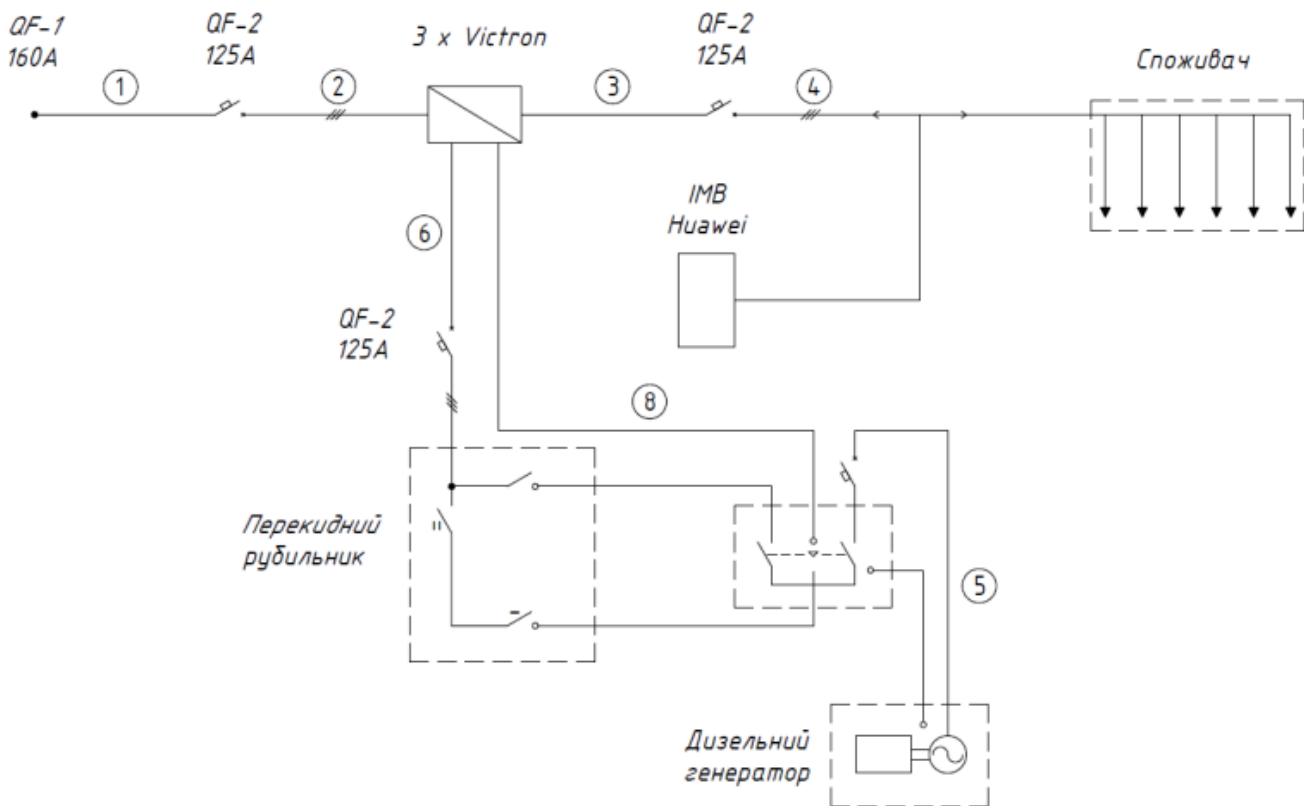


Рис 2.3 Однолінійна схема підключення обладнання

Монтаж кабельних ліній проводився двома типами:

- підземна прокладка (три лінії: вихід від ТП до інвертора, вихід з інвертора на споживач, вихід з інвертора на АВР. Кабель АВВГ 5х35, довжина монтажу під землею 25м для кожної лінії.
- монтаж у кабельних каналах по фасаду будинку (три лінії: вихід від ТП до інвертора, вихід з інвертора на споживач, вихід з інвертора на АВР генератора. Кабель АВВГ 5х35, загальна протяжність 14м.

SUN2000-30/36/40KTL-M3
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
Efficiency			
Max. Efficiency		98.7%	
European Efficiency		98.4%	
Input			
Max. Input Voltage ¹		1,100 V	
Max. Current per MPPT		26 A	
Max. Short Circuit Current per MPPT		40 A	
Start Voltage		200 V	
MPPT Operating Voltage Range ²		200 V ~ 1000 V	
Rated Input Voltage		600 V	
Number of Inputs		8	
Number of MPP Trackers		4	
Output			
Rated AC Active Power	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA ³	40,000 VA	44,000 VA
Rated Output Voltage		230 Vac / 400 Vac / 480 Vac, 3W/N+PE	
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz	
Rated Output Current	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Max. Output Current	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Adjustable Power Factor Range		0.8 LG ... 0.8 LD	
Max. Total Harmonic Distortion		< 3%	
Protection			
Input-side Disconnection Device		Yes	
Anti-Islanding Protection		Yes	
AC Overcurrent Protection		Yes	
DC Reverse-polarity Protection		Yes	
PV-array String Fault Monitoring		Yes	
DC Surge Arrester		Yes	
AC Surge Arrester		Yes	
DC Insulation Resistance Detection		Yes	
Residual Current Monitoring Unit		Yes	
Arc Fault Protection		Yes	
Ripple Receiver Control		Yes	
Integrated PID Recovery ⁴		Yes	
Communication			
Display		LED Indicators, Integrated WLAN + FusionSolar APP	
RS485		Yes	
Smart Dongle		WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)	
Monitoring BUS (MBUS)		Yes (Isolation Transformer required)	
General Data			
Dimensions (W x H x D)		640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)	
Weight (with mounting plate)		43 kg (94.8 lb)	
Operating Temperature Range		-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)	
Cooling Method		Natural Convection	
Max. Operating Altitude		4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)	
Relative Humidity		0% RH ~ 100% RH	
DC Connector		Staubli MC4	
AC Connector		Waterproof Connector + OT/DT Terminal	
Protection Degree		IP 66	
Topology		Transformerless	
Nighttime Power Consumption		≤ 5.5W	
Optimizer Compatibility			
DC MBUS Compatible Optimizer		SUN2000-450W-P	

Рис 2.4 Технічні характеристики інвертора

Huawei SUN3000-30KTL-M

Електричні характеристики	STC AM1.5 1000W/m ² 25°C					
	C	D	A-A	B-B	Тестова невизначеність для P _{max} : ±3%	
Вихідна потужність	525	530	535	540	545	550
Максимальна потужність (P _{max} /W)	525	530	535	540	545	550
Напруга холостого ходу (V _{oc} /V)	49.05	49.20	49.35	49.50	49.65	49.80
Струм КЗ (I _{sc} /A)	13.65	13.71	13.78	13.85	13.92	13.98
Напруга при максимальній потужності (V _{mp} /V)	41.20	41.35	41.50	41.65	41.80	41.95
Струм при максимальній потужності (I _{mp} /A)	12.75	12.82	12.90	12.97	13.04	13.12
ККД (%)	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5

Робочі характеристики	
Робоча температура	-40°C ~ +85°C
Допуск потужності	0 ~ +5W
Допуск по V _{oc} і I _{sc}	±3%
Максимальна напруга системи	DC1500V(IEC/UL)
Максимальна серія запобіжників	25A
Номинальна температура	45±2°C
Клас захисту	Class II
Вогнестійкість	UL тип 1, або 2

Механічне навантаження	
Максимальне статичне навантаження передньої сторони	5400Pa
Максимальна статичне навантаження задньої сторони	2400Pa
Тест на град	25мм град зі швидкістю 23 м/с

Теплові характеристики (STC)	
Температурний коефіцієнт (I _{sc})	+0.048%/°C
Температурний коефіцієнт (V _{oc})	-0.270%/°C
Температурний коефіцієнт (P _{max})	-0.350%/°C

Рис 2.5 технічні характеристики сонячного модуля

2.3 Розрахунок експлуатаційних параметрів ФЕМ

Кут нахилу панелей розраховуємо за наступною формулою:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1^\circ$$

$$\beta = 0,76 \cdot 48,18 + 3,1^\circ = 39,71^\circ \quad (2.1)$$

де β – кут нахилу активної поверхні панелі до горизонту, °;

φ – широта місцевості, де встановлюється ФЕС, °.

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0,9 - \eta), \quad (2.2)$$

Для монокристала $T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,2) = 44,3^\circ\text{C}$,

Потужність PTC обчислюється з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта:

$$P_{PTC} = P_{STC} \cdot (1 - C_T \cdot (T_{PTC} - 25)) \quad (2.3)$$

$$P_{PTC} = 540 \cdot (1 - 0,0037 \cdot (44,308 - 25)) = 501.4 \text{Вт}$$

де P_{STC} – максимальна потужність модуля, Вт;

C_T – температурний коефіцієнт для потужності, %/°C;

T_{PTC} – очікувана температура модуля, °C.

Оптимальним є значення співвідношення P_{PTC} / P_{STC} , яке перевищує 88%.

В нашому випадку це співвідношення дорівнює 93%.

2.4. Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції.

Вибір інвертора починаємо з вибору потужності СЕС – визначається потужністю встановленого інверторного обладнання, встановленого на ній.

$$N_{\text{інв}} = P_{\text{ФЕС}} / P_{\text{ном.інв}}$$

$$N_{\text{інв}} = 30000 / 36000 = 1 \quad (2.4)$$

Де $P_{\text{ФЕС}}$ – потужність ФЕС, відповідно до технічних умов, кВт

$P_{\text{ном.інв}}$ – номінальна одинична потужність інвертора, прийнятого до встановлення, кВт.

2.5 Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інверторів.

Максимальний струм в колі

Струм, що генерується сонячними панелями, залежить від типу з'єднання. При послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найбільш слабкої ланки в стрінгу, наприклад, частково затемненої панелі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів від окремих панелей. Значення струму також залежить від температури – чим вона вище, тим вище струм, що генерується.

Зміна інтенсивності струму в залежності від температури визначається коефіцієнтом I_{sc} панелі (в нашому випадку 0,05 %/К).

Максимальний струм, який може генерувати одна панель можна розрахувати за формулою:

$$I_{sc(T_r)} = I_{sc} \left(1 + \frac{(T_r - 25)\alpha_T}{100} \right)$$

$$I_{sc(T_r)} = 13.85 \left(1 + \frac{(80-25)0.048}{100} \right) = 14.2 \text{ A} \quad (2.5)$$

де:

- $I_{sc(T_r)}$ — значення струму сонячної батареї при 80° С;
- I_{sc} — значення струму короткого замикання в умовах STC, вказане в характеристичі модуля;
- T_r — максимальна температура (80 °С);
- α_T — температурний коефіцієнт I_{sc} .

Максимальна напруга в колі.

На відміну від струму напруга, що видається сонячною батареєю, збільшиться при падінні температури панелі. Розрахунки проводять для граничної температури батареї рівної - 25 ° С. Теоретично більш висока напруга буде мати місце при подальшому падінні температури, однак на практиці зимою практично неможливо отримати температуру на сонячному модулі менш ніж -25 ° С

В умовах необхідної освітленості для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги враховуються: напруга холостого ходу, температурний коефіцієнт β_T :

$$U_{oc(T_r)} = U_{oc} \left(1 + \frac{(T_r - 25)\beta_T}{100} \right)$$

$$U_{oc(T_r)} = 49.50 \cdot (1 + (-25 - 25) \cdot 0,048 \cdot 100) = 48,3 \text{ (В)} \quad (2.6)$$

де:

- $U_{oc(T_r)}$ — значення напруги при температурі — 25 °С;
- U_{oc} — напруга холостого ходу;
- T_r — мінімальна робоча температура;
- β_T — температурний коефіцієнт модуля.

Розрахування мінімальної кількості модулів в колі з урахуванням допустимої напруги інвертора.

Кожний інвертор має мінімальну напругу на вході, в нашому випадку це 200 В.

В свою чергу, модулі досягають мінімальної робочої напруги при граничній температурі 80° С. Тому мінімальна кількість панелей в стрінгу розраховується для цієї температури, округляючи значення вгору.

В цьому випадку використовуються формули:

$$U_{OC(Tr)} = U_{OC} \left(1 + \frac{(T_{min} - 25)\beta_T}{100} \right)$$

$$N_{max} \geq U_{DC\ max} / U_{OC(Tmax)}$$

$$U_{OC(Tmax)} = 48.3 \cdot (1 + (-40 - 25) \cdot (-0.27 / 100)) = 46.7 \text{ (В)} \quad (2.7)$$

$$N_{min} \geq 200 / 46.7 = 4.2$$

де:

- $U_{OC(Tmax)}$ — напруга при максимальній температурі ° С;
- U_{OC} — напруга холостого ходу;
- T_{min} — максимальна робоча температура;
- β_T — температурний коефіцієнт модуля;
- N_{min} — мінімальна кількість сонячних батарей;
- $U_{dcstart}$ — подаваєма початкова напруга.

Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи МРР трекара.

В нашому випадку цей діапазон в межах: 480-850 В. При визначенні кількості панелей, що підключені до одного входу МРР, необхідно визначити кількість панелей, при чому все коло буде генерувати напругу в робочому діапазоні МРРТ при певних умовах. В цьому випадку підраховується максимальна і мінімальна напруга сонячної батареї для умов МРРТ, при цьому максимальне значення напруги підраховується при -25 ° С та мінімальне значення при +70 ° С. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей за формулою:

$$U_{MPP(Tmax)} = U_{MPP(STC)} \left(1 + \frac{(T_{max}-25)\beta_T}{100} \right) \quad (2.8)$$

$$N_{min} \cdot U_{MPP(Tmax)} \geq U_{DC min}$$

$$U_{MPP(Tmax)} = 41 \cdot (1 + (85 - 25) \cdot (-0.27 / 100)) = 34.3 [V]$$

Таким чином:

$$N_{min} \geq 200 / 34.3 = 5,8$$

де:

- $U_{MPP(Tmax)}$ — напруга сонячної батареї при °C;
- $U_{MPP(stc)}$ — оптимальна напруга МРРТ;
- T_{max} — максимальна робоча температура;
- β_T — індекс температури модуля;
- N_{min} — мінімальна кількість модулів в стринзі;
- $U_{dc min}$ — мінімальне значення МРРТ інвертора;

2.6 Перевірка сумарної кількості сонячних модулів з урахуванням номінальної потужності інвертора.

Зазвичай виробники рекомендують приєднувати до інвертора сонячні батареї сумарної потужності в співвідношенні 0,8-1,2 до номінальної вихідної потужності інвертора для оптимальної роботи перетворювача. В нашому випадку інвертор має номінальну вихідну потужність $P_{ac,r} = 36\ 000$ Вт.

Розрахуємо кількість панелей згідно з рекомендуваним діапазоном:

$$P_{ac,r} \cdot 0.8 / P_{mpp} \leq N_{sum gen} \leq P_{ac,r} \cdot 1.2 / P_{mpp}$$

$$36\ 000 \cdot 0,8 / 540 \leq N_{sum gen} \leq 36\ 000 \cdot 1,2 / 540 \quad (2.10)$$

$$33 \leq N_{sum gen} \leq 82$$

де: $P_{ас,г}$ — номінальна потужність інвертора .

2.7Визначення конструктивних параметрів окремого «стола»

Довжина стола визначається за геометричними розмірами ФЕМ та їх кількості в одному стрінгу з урахуванням технологічних відстаней між панелями для їх кріплення до металоконструкцій (приймається за конкретними розмірами кріплень).

Таким чином, довжина столу обчислиться:

$$L_{ст} = N_{ФЕМ} \cdot (b_{ФЕМ} + \Delta_{ФЕМ}) \quad (2.11)$$

$$L_{ст} = N_{ФЕМ} \cdot b_{ФЕМ} + (N_{ФЕМ} - 1) \Delta_{ФЕМ} = 21 \cdot 1.133 + (21 - 1) \cdot 0,02 = 24 \text{ м}$$

$b_{ФЕМ}$ — ширина модуля, м.

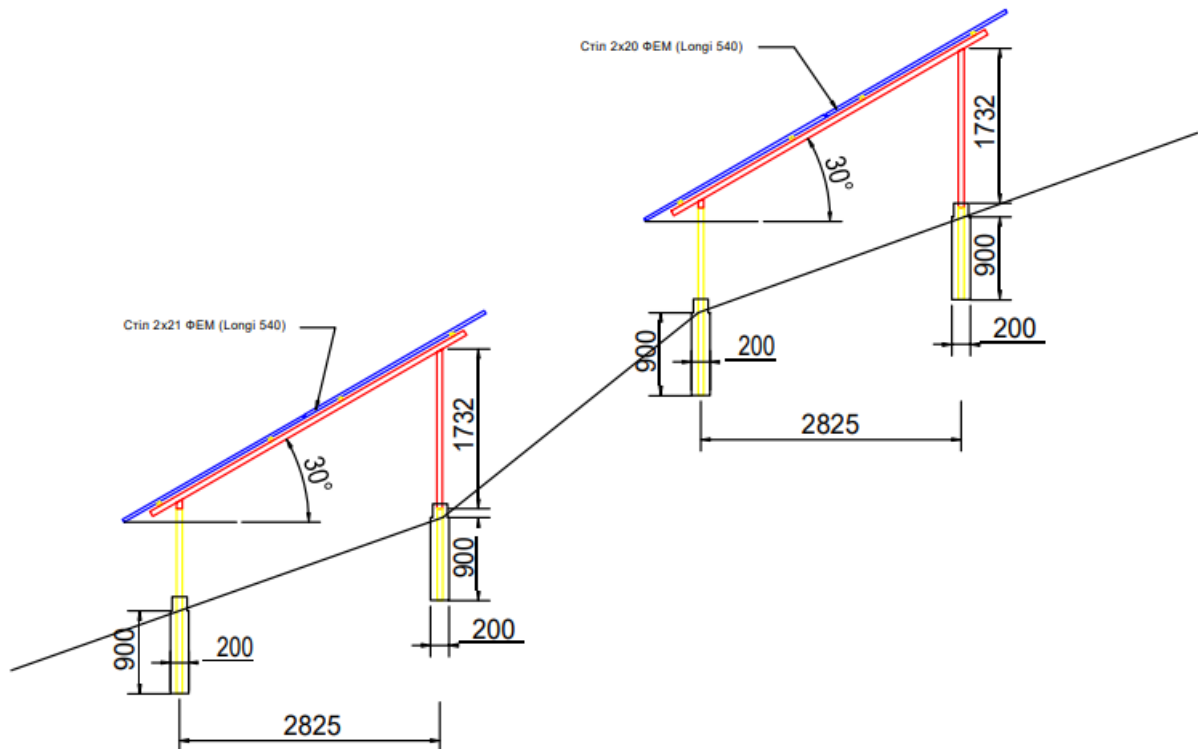


Рис 2.6 Габарити столів

2.8 Визначення загальної кількості фотоелектричних модулів з урахуванням втрат потужності в мережі постійного струму та інверторах.

Втрати в мережі постійного струму та неоптимальні умови роботи ФЕМ доцільно компенсувати шляхом додаткового встановлення сонячних модулів в ланцюгах інверторів з урахуванням ККД інвертора та ККД мережі DC.

Кількість ФЕМ, які мають бути підключені до одного інвертора, можна визначити зі співвідношення та округлити до більшого парного числа, враховуючи переважну парну кількість панелей, що формують стіл ФЕМ:

$$N_{ФЕМ}^{інв} = \frac{P_{інв}}{P_{PТС} \cdot \eta_{інв} \cdot \eta_{DC}}$$

$$N_{ФЕМ}^{інв} = \frac{30\,000}{540 \cdot 0.98 \cdot 1} = 82 \quad (2.14)$$

де $\eta_{інв}$ ККД інвертора відповідно до паспортних даних, як правило, становить 0,98.

Кількість ФЕМ, які формують ФЕС, можна визначити зі співвідношення за кількістю інверторного обладнання:

$$N_{\Sigma ФЕМ} = N_{ФЕМ}^{інв} \cdot N_{інв.} = 82 \cdot 1 = 82$$

$N_{ФЕМ}^{інв}$ – кількість панелей.

$N_{інв.}$ – кількість інверторів.

Вибір перетину кабельної лінії 0.4кВ

Розраховуємо струмове навантаження на одну фазу інвертора

$$I_M^{інв} = \frac{P_{інв}^{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,99} = 46 \text{ А} \quad (2.15)$$

Монтаж кабельних ліній проводився двома типами: - підземна прокладка три лінії: вихід від ТП до інвертора, вихід з інвертора на споживач, вихід з інвертора на АВР. Кабель АВВГ 5х35, довжина монтажу під землею 25м для кожної лінії. - монтаж у кабельних каналах по фасаді будинку (три лінії: вихід від ТП до інвертора, вихід з інвертора на споживач, вихід з інвертора на АВР генератора. Кабель АВВГ 5х35, загальна протяжність 14м. Також використовувався кабель керування від сухого контакту інвертора до АВР. Кабель ПВС 3х1 довжиною 45м

Перетин, мм ²	Прокладений у трубі					
	Мідь			Алюміній		
	I _н , А	кВт		I _н , А	кВт	
		220В	380В		220В	380В
0,5	-	-	-	-	-	-
0,75	-	-	-	-	-	-
1	14	3	9	-	-	-
1,5	15	3,3	9,7	-	-	-
2,5	21	4,6	13,6	16	3,5	10,3
4	27	5,9	17,4	21	4,6	13,6
6	34	7,5	22	26	5,7	16,8
10	50	11	32,3	28	8,3	24,5
16	80	17,6	51,7	55	12,1	35,5
25	100	22	64,6	65	14,3	42
35	135	29,7	87,2	75	16,5	48,5

Рис. 2.7 Перетин кабелю

Вибір параметрів захисної апаратури в мережі 0.4кВ

Вибір ввідних вимикачів на стороні $U_{\text{НОМ}}=0,4$ кВ в КТП.

$$I_P = \frac{S_{\text{HT}}}{\sqrt{3}U_{\text{HH}}} \quad (2.16)$$

$$I_P = \frac{S_{\text{HT}}}{\sqrt{3}U_{\text{HH}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 151,2 \text{ А.}$$

Для підключення розподільчого щита 0,4 кВ (всі приєднання інверторів окремої КТП) до трансформатора приймаємо автоматичні вимикачі серії NXM-160S/3P 160A 35кА CHINT Electrics.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані автоматичних вимикачів

Параметр	Значення
Номінальний струм, А	160
Номінальна напруга, В	690
Вимикаюча здатність, кА	35
Механічний ресурс	10000
Кількість полюсів	3

2.11 Розрахунок продуктивності ФЕС

Обчислення вироблення ФЕС електричної енергії W рекомендовано виконувати за формулою :

$$W = E_n \cdot k_{\text{мод}} \cdot S \cdot k_{\text{інв}} \cdot k_{W1} \cdot k_{W2} \cdot k_{W3} \cdot k_{\text{тр}} \cdot k_{\text{т}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.17)$$

$$W = 3,1 \cdot 0,215 \cdot 2,5 \cdot 0,9 \cdot 82 = 1,22 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином:

За місяць 2,234 кВт·год

За рік 44,530 кВт·год

де E_n – надходження сонячної радіації (прямої та розсіяної) на похилу поверхню, кВт/м² за годину;

$k_{\text{мод}}$ – ККД фотоелектричного модуля;

S – загальну сумарну площу фотобатарей, м^2 ;

$k_{\text{інв}}$ – ККД інвертора;

k_{w1} – втрати змінного струму в мережі до 1 кВ;

k_{w2} – втрати змінного струму в мережі понад 1 кВ;

k_{w3} – втрати в мережі постійного струму;

$k_{\text{тр}}$ – ККД трансформатора;

$k_{\text{г}}$ – коефіцієнт готовності ФЕС.

У разі попереднього оцінювання техніко-економічних показників площадок, добуток $k_{\text{інв}} \cdot k_{\text{w1}} \cdot k_{\text{w2}} \cdot k_{\text{w3}} \cdot k_{\text{тр}} \cdot k_{\text{г}}$ обираємо 0,9.

Середньомісячна сонячна іррадіація у Київській області за даними NASA за останні 20 років наведено в таблицю (2.2.)

Місяць	Значення іррадіації
Січень	1,07
Лютий	1,87
Березень	2,85
Квітень	3,95
Травень	5,25
Червень	5,22
Липень	5,25
Серпень	4,67
Вересень	3,12
Жовтень	1,94
Листопад	1,02
Грудень	0,86
Середнє значення	3,1

Таблиця 2.2 – Середньомісячний рівень сонячної іррадіації у Київській області ($\text{кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{день})$)

3 Економічний розділ

3.1 Вступ

В цьому проекті ми проводимо порівняння різних типів панелей для сонячних електростанцій, та на основі результатів досліджень було реконструйовано діючу мережеву сонячну станцію. Для того щоб електростанція як найшвидше почала приносити прибуток потрібно правильно обрати обладнання не тільки за інженерними розрахунками, а й техніко-економічними. Час за який окупляться інвестиції залежить від того як буде продаватися вироблена енергія, чим потужніша станція, тим швидше повернуться вкладені кошти. Виходячи з цього слід обирати обладнання пропорційно ціні\якості, для того щоб не купувати занадто дороге обладнання і в одно час досить якісне, щоб завчасно не вийшло з ладу і відпрацювало свій термін експлуатації.

В економічній частині дипломного проекту будуть проводитись розрахунки вартості:

- капітальних витрат;
- експлуатаційних витрат;
- амортизаційних відрахувань;
- річних цін на ремонт та обслуговування обладнання;
- спожитої енергії;

Економічна частина проекту розрахована на визначення основних витрат на будівництво сонячної станції, для цього необхідно розрахувати загальну вартість обладнання, будівельних робіт, монтажу електрообладнання та заробітну плату працівників.

3.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення це частина інвестицій, спрямована на відтворення основних засобів виробничого призначення, реконструкцію і розвиток наявних основних засобів. До них відносять початкову вартість будівель, придбання обладнання.

Визначення величини проектних капіталовкладень (Кпр)

Розрахунки були проведені згідно тарифу моної компанії:
<https://pvsolar.com.ua/promislovi-ses/>.

$$K_{пр} = K_{об} (\sum^k \Pi_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр}, \quad (3.1)$$

$$K_{об}(\sum_{i=1}^k \Pi_i) = 960,0 \text{ тис.грн.}$$

де $K_{об}(\sum_{i=1}^k \Pi_i)$ – вартість придбання електрообладнання за проектом;

к - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Таблиця 3.1 – Капітальні втрати електрообладнання СЕС

№	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Сума, тис. грн.
1	Сонячна панель Longi LR5-72HPH-540M	55	6,900	379,500
2	Інвертор HUAWEI SUN2000-30KTL-M3	1	80,000	80,000

3	Роз'єднувач EFH 10 1P 25A 1000V DC	8	120	960
4	Запобіжник ETI VVC 1000V 25 A	8	35	280
5	Обмежувач перенапруги ETITEC V T12 280/12,5 (3+0)	1	5,400	5,400
6	Автоматичний вимикач CHINT 3р 160A 50kA	1	5,100	5,100
7	Автоматичний вимикач CHINT 3р 125A 25kA	3	1,700	5,100
8	Автоматичний вимикач ETIMAT 3р 63A 16kA	1	980	980
9	Лічильник електроенергії GAMA 300 G3B 144.230.F27.B2.P4.C311.A3.L1	1	5,400	5,400
10	Акумуляторні батареї Pilontech US2000C	10	42,000	420,000
10	Кабель PV 6	545	42	22,900
11	Кабель АВВГ 5х35	150	121	18,000
12	Кабель ПВ 3х35	45	29	1,300
13	Кабель ВВГ 4х35	300	64	19,200
	Всього			960,000

Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи можна визначити за формулою:

$$Z_{M(n)} = \sum (Ч_i * a_i * t_i) * K_d * K_{cm} * K_{pr}, \quad (3.2)$$

$$Z_M = (4 * 61.1 * 180) * 1,25 * 1.22 * 1,2 = 90.0 \text{ тис. грн}$$

де $Ч_i$ – чисельність працівників 4-го та 5-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт),

a_i – годинна тарифна ставка працівника 4-го та 5-го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних, год;

$K_d = 1,25$ – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{cm} = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{pr} = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати для здійснення монтажних та налагоджувальних робіт.

Аналогічно робимо розрахунок для витрат на налагоджувальні роботи, але кількість працівників, годинна ставка та час для виконання будуть інші.

Кількість робітників налагоджувальників - 2 осіб.

Годинна ставка – 100 грн/год для електромонтерів - налагоджувальників 5-го розряду, згідно з середньої заробітною платою.

Час для виконання налагоджувальних робіт - 8 годин.

Витрати на налагоджувальні роботи (Z_n) визначаються за формулою:

$$Z_n = (2 * 100 * 8) * 1,2 * 1,22 * 1,2 = 3000 \text{ грн} \quad (3.3)$$

Отже капітальні витрати складають:

$$K_{pr} = 960,000 + 30,000 + 90,000 + 3,000 + 5,000 = 1088000 \text{ тис. грн} \quad (3.4)$$

3.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі. До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування мереж (C_t);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ($C_э$);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{пр}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_э + C_{пр}, \text{ грн,} \quad (4.4)$$

Амортизація це процес поступового перенесення вартості основних засобів на продукт, що виготовляється з їх допомогою. Для заміщення зношеної частини основних засобів виробництва підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу засобів виробництва. Амортизаційні відрахування використовуються для повного відтворення зношених основних фондів, а також для їх часткового відшкодування на капітальний ремонт і модернізацію.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів

і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_n - Л, \quad (3.5)$$

де Φ_n – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю. Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_n - Л}{\Phi_n * T_n} * 100\% \quad (3.6)$$

де T_n – термін корисного використання (амортизаційний період).

Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації, який приймається у даній роботі, відповідає мінімально допустимому терміну корисного використання для споруд (третя група основних засобів) і становить 12 років.

$$H_a = \frac{(1,088,000 - 0,08 * 1,088,000) * 100\%}{(1,088,000 * 12)} = 7,6\%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n * H_a}{100} \quad (3.7)$$

$$AO = \frac{1,088,000 * 7,6\%}{100\%} = 82\,688 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 4.2 Розрахунок амортизаційних витрат

№	Найменування обладнання	Норма амортизації %	Капітальні інвестиції грн	Сума, амортизації, грн
1	Сонячна панель Longi LR5-72HPH-540M	7.6	6,900	524,4
2	Інвертор HUAWEI SUN2000-30KTL-M3	7.6	80,000	6,080
3	Роз'єднувач EFH 10 1P 25A 1000V DC	7.6	120	9,12
4	Обмежувач перенапруги ETITEC V T12 280/12,5 (3+0)	7.6	5,400	410
5	Автоматичний вимикач CHINT 3р 160A 50kA	7.6	5,100	387,6
6	Автоматичний вимикач CHINT 3р 125A 25kA	7.6	1,700	129,2
7	Автоматичний вимикач ETIMAT 3р 63A 16kA	7.6	980	74
8	Лічильник електроенергії GAMA 300 G3B 144.230.F27.B2.P4.C311.A3.L1	7.6	5,400	410

9	Акумуляторні батареї Pilontech US2000C	7.6	42,000	3,200
10	Кабель PV 6	7.6	42	3
11	Кабель АВВГ 5х35	7.6	121	9
12	Кабель ПВ 3х35	7.6	29	2
13	Кабель ВВГ 4х35	7.6	64	5
	Всього			10 963,7

3.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, 10 посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці, норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки. Вона визначається тарифними ставками і відрядними розцінками, посадовими окладами для спеціалістів, службовців і керівників. При визначенні основної заробітної плати робітників необхідно знати погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду та розрахувати номінальний річний фонд робочого часу робітника. Номінальний річний фонд робочого часу одного робітника **F_н** визначається відповідно до режиму його роботи, кількістю робочих днів і тривалістю зміни:

$$F_H = (D_K - D_{CB} - D_{Вих}) * T_{зм} = (365 - 11 - 104) * 8 = 200 \text{ год,} \quad (3.8)$$

де D_K - число календарних днів;

D_C - число святкових днів;

D_x - число вихідних днів;

$T_{зм}$ - тривалість зміни, год.

Таблиця 3.3 – Розрахунки річного фонду заробітної плати за рік

№	Найменування професій робітників	Явочний штат, осіб	Обліковий склад, осіб	Годинна тарифна ставка, грн/год	Номінальний річний фонд робочого часу підприємства, годин	Усього основна зарплата, грн. за рік
1	Кліннінгова компанія	2	10	90	3	1300
	Всього		2			1300

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад встановлених норм, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати належать премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій за діючими на підприємстві преміальними системами, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством. Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 8-10% від основної заробітної плати.

$$Z_{доп} = 0.1 * Z_{осн} = 0.1 * 1300 = 130 \text{ грн.} \quad (3.9)$$

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати становить:

$$C_3 = Z_{осн} + Z_{доп} = 1300 + 130 = 1330 \text{ грн.} \quad (3.10)$$

де $Z_{осн}$, $Z_{доп}$ – основна і додаткова заробітна плата.

3.5 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати. Згідно законодавству України на 2023 рік єдиний соціальний внесок дорівнює 22%. Можна ознайомитись за посиланням: https://buh.ligazakon.net/aktualno/11630_diniy-sotsalniy-vnesok.

Єдиний соціальний внесок розраховується за формулою:

$$C_c = 0.22 * C_3 = 0.22 * 1330 = 292 \text{ грн.} \quad (3.11)$$

3.6 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства або укрупнено у відсотках до капітальних витрат :

- для кабельних і повітряних ліній – 0,5%;
- для підстанцій (у тому числі електроустаткування) – 1%.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^n \left(R_i * t_i * m_i * R_{\Sigma i} + \frac{S_i * \Pi_i}{T_i} * T_{\Phi} \right) \quad (3.12)$$

$$Z_{\text{т.р.}} = 543,5 \text{ грн}$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од;

m_i – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

$R_{\Sigma i}$ – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π – кількість однотипних замінних елементів;

T – середній термін служби деталей даного типу, год.;

$T\phi$ – число годин роботи апаратури на рік, год.

3.7 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_{\Sigma} = W_p \cdot C_e, \text{ грн.}, \quad (3.13)$$

де W_p – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт • год;

C_e – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт • год;

Ціну тарифів було взято згідно: «Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії» ставка для першої категорії від Енергорозподільчої компанії АТ «ДТЕК Київські електромережі» від 01.01.2023р. Складає 2.64грн/кВт• год.

Ознайомитись можна за посиланням: <https://www.dtek-kem.com.ua/ua/services-tariffs>.

Таблиця 3.4 – Перелік власних потреб СЕС

Споживачі	Потужність кВт	Час роботи год/доба	Сезонна робота день/рік	Електроенергія кВт*год
Приватне домоволодіння	16	24	365	140.160
Всього				140.160

Витрати за споживання енергії на рік складають:

$$C_э = 140.160 * 12 * 2,64 = 36\,960 \text{ грн} \quad (3.14)$$

3.8 Визначення інших втрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{пр} = 0,04 * C_э = 0,04 * 1330 = 53,2 \text{ грн}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування складуть, грн:

$$C = 82,688 + 11,000 + 1330 + 543,5 + 53,2 = 95\,614,7 \text{ грн.}$$

3.9. Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення ($E_{кр}$) може полягати в наступному:

- безпосередній економії ресурсів (електроенергії), зниженні собівартості і збільшенні прибутку від реалізації продукції (за інших рівних умов);
- економією платежів за спожиту електроенергію за рахунок: застосування диференційованих (багатозонних) тарифів на електроенергію та

упорядкування графіка навантажень або підвищення класу точності приладів обліку;

- збільшенні випуску продукції за рахунок скорочення часу простоїв основного технологічного обладнання і поліпшення якості продукції. Це також призводить до збільшення прибутку підприємства в результаті збільшення обсягу реалізації і продажної ціни (за інших рівних умов);

- скорочення екологічних платежів, що обумовлено зменшенням шкідливих викидів підприємства у навколишнє природне середовище.

Повна річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{kn} = E_{kp} - C, \text{ грн.}$$

$$E_{kn} = 288\,999 - 36\,960 = 252\,037 \quad (3.15)$$

До введення проекту в експлуатацію, об'єкт споживав 140.1 кВт/год, що при тарифній ставці 2.64грн/кВт· год, сплачував 36 960 грн. Після підключення станції до «Зеленого тарифу» при тарифній ставці 0,148 євро (6,49 грн) та автономному споживанню економія склала 252 037 грн.

3.10 Визначення та аналіз показників економічної ефективності Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p ;

б) терміну окупності капітальних витрат T_p . Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E_{kp} / K_{пр}, \text{ долі од.}, \quad (3.12) \quad E_p = 252\,037 / 1088000 = 0,22, \text{ долі од.}$$

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{пр}/E_{кп}, \text{ років,} \quad (3.16)$$

$$T_p = 1088000/252\,037 = 4.3 \text{ роки}$$

Висновок

В цьому розділі було проведено ряд заходів з визначення капітальних витрат на будівництво та експлуатацію ФЕС, Розраховані амортизаційні відрахування та заробітна плата працівників. Були освоєні навички аналізу ринку та роботі з нормативними документами . Аналіз показників економічної ефективності показав, що запропоновані у кваліфікаційній роботі рішення, а саме встановлення мережевої системи є економічно доцільним, так як термін окупності склав 4.3 років з мінімально допустимого значення у 12 років (термін корисного використання), значення економічної ефективності показало, що варіант є рекомендованим до реалізації.

Висновки

На сьогодні сонячна енергетика є одним з найбільш популярних методів екологічного виробництва електроенергії. Основна перевага полягає в тому, що сонячні панелі можна встановлювати не лише на великих земельних ділянках, а й на дахах будівель. Це дозволяє не лише використовувати згенеровану електроенергію для власних потреб, а й продавати її державі за "зеленим тарифом".

У зв'язку зі значним спадом у світовій економіці та ситуації в Україні, сьогодні галузь сонячної енергетики є однією з небагатьох, що показує позитивну динаміку зростання.

Під час проектування фотоелектричної станції потужністю 30 кВт враховувалися всі основні умови для її оптимальної та ефективної експлуатації. Географічно було обране розташування у Київській області, де рівень сонячної інсоляції, хоч і нижчий порівняно з північними регіонами, все ж залишається значним.

Було проведено аналіз різних типів сонячних панелей та проведено техніко-економічне обґрунтування .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Обладнання:

1. Фотоелектрична панель :
 - [Солнечная панель Suntech STP-540W B72/Vmh Half-Cell купить в Украине. Характеристики Suntech STP-540W B72/Vmh Half-Cell \(ecoforce.com.ua\)](#)
2. Інвертор:
 - <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/huawei-100kw>
 - https://www.volta.com.ua/catalog/a/avtomat_1000_amper/
 - <https://www.eti.ua/produksiya-ua/nv-nh/fuse-links-nh-am-up-to-ac-690v/004111736-nh00-nh-nh00-160a-690-am>
 - <https://electrocontrol.com.ua/rubilniki-razediniteli/vertikalnyi-blok-rubilnik-ars-2-6-m-400a-aporator-63-811707-031>
 - <https://evrosvet.com.ua/product/lampa-svetodiodnaya-vysokomoshchnaya-evrosvet-60vt-6400k-vis-60-e27->
4. Кабелі:
 - <https://ptk-veles.in.ua/apvegapu-15/apvegapu-15-1x95>
 - <https://www.avtomats.com.ua/3962-avvg-3x50>
 - <https://uea.kiev.ua/kabel>
5. Заробітна плата:
 - <https://www.work.ua/jobs/4833192/>
 - <https://www.work.ua/jobs/4835221/>
6. Тарифи та послуги з підключення електроенергії:
 - <https://www.dtek-kem.com.ua/ua/services-tariffs>
7. Будівництво СЕС:
 - <https://pvsolar.com.ua/promislovi-ses/>

Література:

8. Луценко І.М., Кошеленко Є.В., Циган П.С Методичні вказівки до самостійної роботи «Децентралізовані системи електропостачання»
 Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни
 “Сонячна енергетика” для студентів спеціальності 141

"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко,

Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 20 с.

9. Кігель Г.А., Півняк Г.Г., «Електричні мережі систем електропостачання» - Д.: Національний гірничий університет, 2011 р., 318 с.

10. Тимошенко Л.В., Дементьєва Н.В., Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» - Дніпро: НТУ «ДП», 2019.- 14с.

ДОДАТОК А

		Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1					
2			Документація		
3					
4	A4		Пояснювальна записка	57	
5					
6			Графічні матеріали		
7	A4			1	
8					
9					
10					
11					
12					