

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста,  
магістра)

студента Шевченко Ігор Вікторович

(ПІБ)

академічної групи 141м-17-3

(шифр)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії

(офіційна назва)

на тему Аналіз ефективності застосування трекерних установок для мережевих СЕС на

(назва за наказом ректора)

фотомодулях різного типу.

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Шкрабець Ф.П.			
розділів:				
Розділ 1	Гребенюк А.М.			
Розділ 2	Гребенюк А.М.			
Розділ 3	Гребенюк А.М.			
Розділ 4	Тимошенко Л.В.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	Ципленков Д.В.			

Дніпро  
2018

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
Відновлюваних джерел енергії  
(повна назва)

Шкрабець Ф.П.  
\_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу**

кваліфікаційної роботи ступеню **магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента **Шевченко І. В.** академічної групи **141М-17-3**  
(прізвище та ініціали) (шифр)

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

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою **Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії**  
(офіційна назва)

на тему **Аналіз ефективності застосування трекерних установок для мережевих СЕС на фотомодулях різного типу.**  
(назва за наказом ректора)

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від **12.11.18** № **1913-л**

Розділ	Зміст	Термін виконання

Завдання видано \_\_\_\_\_ Шкрабець Ф.П.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі **10.10.2018**

Дата подання до екзаменаційної комісії **26.12.18**

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 сторінок, 20 таблиць, 20 рисунків, 25 джерел.

Об'єкт розробки: система орієнтування сонячних батарей.

Мета дипломної роботи: визначити найбільш ефективний використання орієнтації сонячних батарей на різних типах кристалах.

У вступі описується стан проблеми, пропонуються способи, якими можна забезпечити збільшення кількості енергії, що поглинається сонячною батареєю.

У першому розділі обґрунтовано використання сонячних панелей більш ефективного використання сонячної енергії для сонячної електростанції.

У другому розділі обґрунтовано використання системи орієнтування сонячних панелей для більш ефективного використання сонячної енергії, а також описані способи установки.

У третьому розділі проводиться розрахунок ефективності різних систем орієнтування сонячних панелей на основі чинників, що відповідають місту Дніпро. Визначено найбільш ефективну для використання систему на різних типах фотомодулях.

В економічному розділі 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.

**СИСТЕМА ОРІЄНТУВАННЯ, СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ТРЕКЕР, СОНЯЧНА ІНСОЛЯЦІЯ**

## ABSTRACT

Explanatory note: 64 pages, 20 tables, 20 figures, 25 sources.

Object of development: the system of orientation of solar panels.

The purpose of the thesis: to determine the most effective use of the orientation of solar cells on different types of crystals.

The introduction describes the state of the problem, suggests ways to increase the amount of energy absorbed by the solar cell.

The first section justifies the use of solar panels for more efficient use of solar energy for a solar power plant.

The second section justifies the use of sun panel orientation for more efficient use of solar energy, as well as the methods of installation described.

The third section deals with the calculation of the effectiveness of various systems for orientation of solar panels based on factors that are relevant to the city of Dnipro. The most effective and for use system is determined in different types of photo models.

In the economic section, an analysis of the cost of setting up the installation, taking into account all costs for the purchase of equipment and components and payment of workers. In addition, the estimated annual maintenance and repair costs of equipment, as well as depreciation of expenditures.

ORIENTATION SYSTEM, SOLAR TRACKER, SOLAR BATTERY,  
TRACKER, SOLAR INSULATION

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТИПІВ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ .....	9
1.1 Розподілу сонячної радіації на поверхні Землі.....	9
1.2 Тип панелей для сонячної електростанції.....	11
1.3 Висновки по розділу.....	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНФІГУРАЦІЇ ТРЕКЕРНИХ УСТАНОВОК І ЇХ ТИПИ.....	16
2.1 Актуальність досліджуваної проблеми.....	16
2.2 Принцип роботи трекера.....	17
2.3 Трекерна система стеження за сонцем.....	19
2.4 Двовісний сонячні трекери.....	21
2.5 Способи орієнтації сонячних панелей.....	22
2.6 Трекерна система для великих станцій.....	23
2.7 Висновки по розділу.....	23
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ.....	24
3.1 Раціональне використання енергії сонця.....	24
3.2 Математична модель роботи ФМ.....	25
3.2.1 Кут відміни сонця.....	29
3.2.2 Часовий кут.....	30
3.2.3 Потужність сонячних панелей.....	33
3.3 Визначаємо оптимальний кут нахилу сонячних батарей.....	33
3.3.1 Визначаємо кут нахилу модулів в різні пори року.....	34
3.3.2 Щільність потоку енергії, що падає на фотоелектричний модуль на горизонтальній поверхні.....	34
3.4 Докладний розрахунок сонячної радіації.....	35
3.4.1 Обчислимо справжнє сонячне час для Дніпра.....	35
3.4.2 Визначимо кут нахилу сонця.....	37
3.4.3 Визначимо висоту сонцестояння.....	37
3.4.4 Визначимо коефіцієнт поправки на повітряну масу.....	37
3.4.5 Визначимо кількість сонячної радіації.....	38
3.4.6 Середній місячний рівень сонячної радіації.....	39
3.5 Розрахунок вироблення умовної СЕС на 10 кВт.....	40

3.5.1 Вибір фотомодулів.....	41
3.5.2 Визначимо потужність сонячних панелей типу монокристал.	41
3.5.3 Визначимо потужність сонячних панелей типу полікристал..	42
3.6 Висновки по розділу. ....	43
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК</b> .....	<b>44</b>
Вступ.....	44
4.1 Розрахунок капітальних витрат. ....	45
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат. ....	50
4.3 Розрахунок амортизаційних витрат. ....	51
4.4 Розрахунок вартості вироблення електрики. ....	54
4.5 Розрахунок терміну окупності.....	56
Висновки по розділу. ....	58
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>59</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>60</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>63</b>

## ВСТУП

Сонячна енергетика відноситься до відновлюваних джерел енергії і володіє практично безмежним потенціалом для використання з точки зору витрачених ресурсів. Також це один з екологічно безпечних джерел енергії, який не забруднює навколишнє середовище. Сьогодні галузь сонячної енергетики переживає стрімке зростання, по всьому світу активно досліджуються можливості збільшення ККД сонячних батарей, потужності фотоелектростанцій ростуть, розвиваються суміжні галузі (наприклад, системи зберігання енергії).

Важливим питанням в рамках будь-якої енергетичної галузі є питання ККД. Технічний ККД сонячних батарей безпосередньо залежить від матеріалу, який використовувався при їх створенні. Більше 90% сонячних панелей, які пропонуються сьогодні на ринку, працюють на кремнієвих напівпровідниках, які забезпечують ККД на рівні 15 - 25% [1]. Для порівняння, ККД сонячних панелей на основі перовскита становить 12% [2], а для тонких плівок на основі телуриду кадмію ККД досягає 22% [3]. Втім на практиці істотно впливає правильне позиціонування батарей, засноване на задах, які ви намагаєтесь досягти. Важливими чинниками є рівень інсоляції в регіоні установки, азимут і кут нахилу сонячних батарей, що обумовлює також відстань між панелями з урахуванням взаємного затінення [4].

Розвиток сонячної енергетики на території України додатково стимулюється державою за допомогою «зеленого тарифу», який ставить за обов'язок державі купувати у комерційних і приватних організацій електричну енергію, генеровану із застосуванням відновлювальних джерел (сонячні панелі, вітряки, біопаливо). «Зелений тариф» прописаний в законодавстві до 2030 року, тарифна ставка прив'язана до європейської валюти і буде послідовно знижуватися з 0.18 євро за 1 кВт · год у 2018 році до 0.14 євро за 1 кВт · год у 2030 році.

Таким чином, є необхідність в дослідженні і визначенні оптимальних параметрів для встановлення сонячних електростанцій. Цим і обумовлено тема і напрямок досліджень даної статті. Основним завданням буде визначення оптимального кута нахилу сонячних панелей для області України (м. Дніпра) в різні сезони року, а також розрахунок кількості виробленої енергії на фотоелектростанції і терміну окупності.

Установка фотоелектричних модулів відбувається на спеціальних конструкціях, які забезпечують їх оптимальну орієнтацію на сонці і надійне кріплення до різних типів поверхонь на місцях установки: наземні фундаменти, дахи, а також вертикальні поверхні.

Для максимальної продуктивності енергії фотоелектричні модулі повинні бути змонтовані таким чином, щоб сонячні промені падали на робочу поверхню модуля під кутом  $90^\circ$ . Домогтися цієї вимоги для сонячних установок можливо тільки при використанні спеціальних поворотних конструкцій з двовісний системою стеження за сонцем - трекерна система (див. Нижче). Такі сонячні установки, крім явних переваг у максимальному використанні сонячної енергії, є досить дорогими пристроями, споживають, хоч і незначно, але постійно енергію, вимагають велику за площею майданчик для установки в порівнянні з фіксованими конструкціями. Тому зазвичай йдуть на компроміс в продуктивності системи і вартості конструкції, і в основному в фотоелектричних системах використовують стаціонарні конструкції.

Такі конструкції орієнтують на південь, з незначними відхиленнями по азимуту, а також встановлюють з фіксованим, або змінним кутом нахилу. Вироблення енергії завдяки застосуванню сонячного трекера зростає, так як збільшує чисельність сонячної енергії, потрапляє на модуль. Дивитися за положенням Сонця дозволяють сонячні трекери, про яких і стане йти мова в запропонованій роботі.



## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТИПІВ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 1.1 Розподілу сонячної радіації на поверхні Землі.

Кількість сонячної енергії, що досягає на поверхню Землі, змінюється через рух землі навколо своєї осі і Сонця. Ці зміни залежать від часу доби і пори року. Зазвичай в полудень на Землю потрапляє найбільша кількість сонячної радіації, ніж рано вранці або пізно ввечері. Опівдні Сонце знаходиться в зеніті, і довжина шляху проходження променів Сонця через атмосферу Землі скорочується. Внаслідок цього, менша кількість сонячних променів заломлюється і відбивається, отже, більший обсяг сонячної радіації досягає поверхні землі.

Кількість енергії, що падає на одиницю площі в одиницю часу, залежить від ряду факторів: широти, місцевого клімату, сезону року, кута нахилу поверхні по відношенню до Сонця. Кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, відрізняється від середньорічного значення: в зимовий час - менше ніж на  $0,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  в день на Півночі Європи і більш ніж на  $4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  в день в літній час в цьому ж регіоні. Різниця зменшується в міру наближення до екватора [5].

Кількість сонячної енергії залежить і від географічного місця розташування об'єкта: чим ближче до екватора, тим воно більше. Наприклад, середньорічна сумарне сонячне випромінювання, падаюче на горизонтальну поверхню, становить: в Центральній Європі, Середній Азії і Центральному регіоні Росії - приблизно  $1000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ; в Середземномор'ї приблизно  $1500 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ; в більшості пустельних регіонів Африки, Близького Сходу та Австралії - приблизно потужність  $2200 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ . Таким чином, кількість сонячної радіації істотно розрізняється залежно від пори року і географічного положення [6].

Цей фактор відіграє найважливішу роль при розрахунку ефективності використання електростанцій, в яких використовуються сонячні батареї.

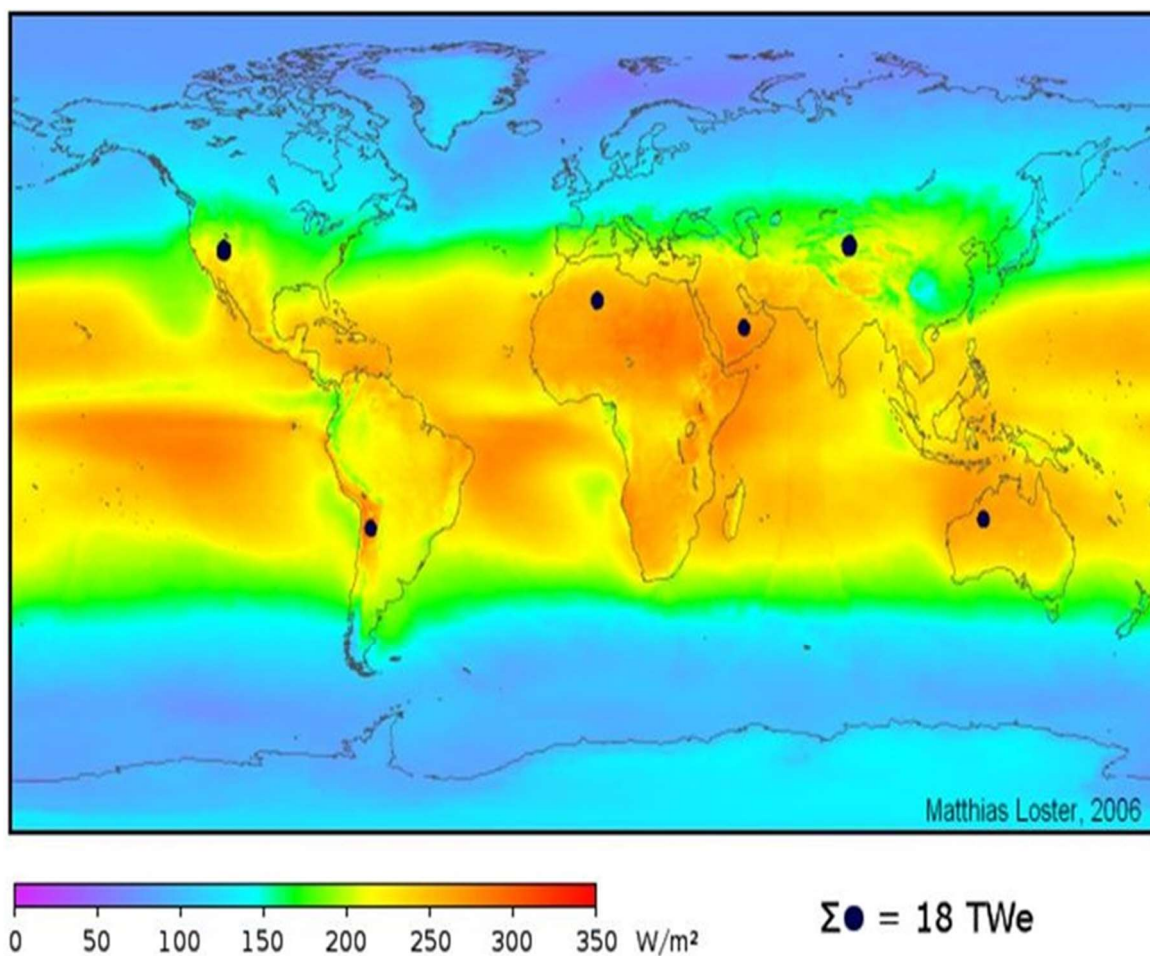


Рис. 1.1 - Розподіл сонячної радіації на поверхні Землі

Щільність сонячного випромінювання в середній смузі України вище, ніж в ряді європейських країн. України має величезну площу і не завжди є можливість підвести електрику до окремих об'єктів. Тому все більше зростає інтерес до використання автономних електростанцій і джерел аварійного безперебійного енергопостачання з підживленням від сонячної енергії. Зацікавленість у використанні сонячних електростанцій все більше збільшується, враховуючи постійне зниження цін на сонячні елементи, виробництво деяких з яких вже розпочато на території України. Постійно знижується вартість обладнання, екологічність і низькі

експлуатаційні витрати роблять автономні сонячні електростанції оптимальним вибором для окремих об'єктів на території України.

## 1.2 Тип панелей для сонячної електростанції.

Фотоелектричний модуль (також відомі як сонячна панель) є основним компонентом будь-якої фотоелектричної системи, призначеної для виробництва електроенергії. Сонячна панель складається з декількох фотоелектричних елементів, з'єднаних між собою. Найбільш поширені технології виробництва фотоелементів:

### 1. Кристалічні фотоелементи:

- Монокристалічні кремнієві фотоелементи;
- Полікристалічні фотоелементи;

### 2. Тонкоплівкові фотоелементи:

- Фотоелементи з використанням діселеніда індію і міді (CIS технологія);
- Фотоелементи з використанням телуриду кадмію (CdTe технологія);
- Фотоелементи з використанням аморфного кремнію;



Рис. 1.2 - Монокристалічний фотоелемент.

Виробництво **монокристалічних фотоелементів** відбувається із застосуванням методу Чхоральського. Для того щоб отримати кремнієвий монокристал, в розплав кремнію з бором занурюють початковий кристал і поступово піднімають на кілька метрів над поверхнею розчину, при цьому за затравочним кристалом витягується

кристалізується розчин. З отриманої монокристалічної заготовки зрізають кромки для того щоб отримати квадратні елементи і розрізають його на елементи товщиною приблизно 0,3 мм. Після цього елементи

легирують фосфором для додавання n-провідності і створення p-n переходу, полірують, наносять антиотражаюче покриття і токопродящі доріжки і ми отримуємо готовий до використання монокристаллический фотоелемент. ККД від 15 до 18 відсотків;

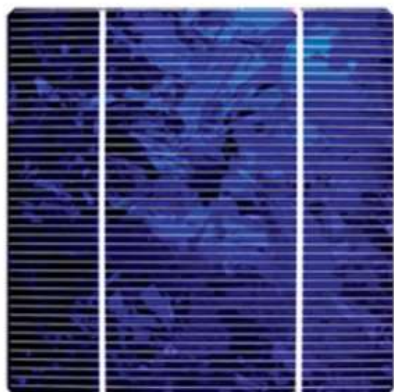


Рис. 1.3 - Полікристалічний фотоелемент.

**Полікристалічні фотоелементи** виробляються за допомогою рівномірного спрямованого охолодження ємності з розплавом кремнію і бору. При цьому в ємності формуються односпрямовані гомогенні кристали розміром від кількох міліметрів до кількох сантиметрів. Отриманий блок полікристалів обробляється

так само, як і монокристалічна заготовка. ККД від 13 до 16 відсотків;



Рис. 1.4 - CIS фотоелемент.

Активним напівпровідникових матеріалом в **CIS фотоелементах** є діселеніда індію і міді. CIS компаунд часто легується галієм і (або) сіркою. При виробництві елемента скло покривається шаром молібдену проводять електричний струм, для фотоелемента цей шар буде катодом. Шар CIS компаунда в фотоелементі володіє p-провідністю і наноситься на шар

молібдену. Оксид цинку з домішкою алюмінію  $ZnO: Al$  використовується в якості прозорого проводить електрику анода. Цей шар має n-тип провідності і в ньому розпорошено допоміжний шар оксиду цинку і-ZnO. Проміжний шар сульфиду кадмію CdS використовується для зменшення втрат, пов'язаних з невідповідністю кристалічних решіток CIS і ZnO шарів. ККД від 9 до 11 відсотків [7];



Рис. 1.5 - телуриду кадмію CdTe

Фотоелементи з використання телуриду кадмію **CdTe** виробляються на підкладці з прозорим TCO провідником, який виготовляється з оксиду індію та олова ITO і використовується як передній контакт. Ця підкладка покривається шаром селеніду кадмію CdS з n-типом провідності. Після цього наноситься абсорбуючий шар телуриду кадмію CdTe з р-типом провідності. Після цього модуль закривається

металевою токопроводящою пластиною. ККД 8,5 відсотків;



Рис. 1.6 – фотоелемент из аморфний кремній.

**Аморфний кремній** в фотоелементах не утворює однорідну структуру, але утворюють безладне мережу. Як результат, через відкриті кордони кристалів відбувається поглинання водню. Цей гідрогенізований аморфний кремній a-Si: H створюється в реакторі плазми з газової фази гідриду кремнію SiH<sub>4</sub>. Легування

кремнію виробляється змішуванням газів, що містять легуючий елемент - гідрид бору B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> для р-провідності і гідрид фосфору PH<sub>3</sub> для n-провідності. У зв'язку з невеликою відстанню проникнення легуючих добавок в аморфний кремній, термін життя носіїв заряду не дуже довгий, тому на шар кремнію наносяться додаткові шари з n- і р-провідності. Як переднього контакту використовується прозорий TCO провідник з оксидом олова SnO<sub>2</sub>, оксидом індію та олова ITO або оксидом цинку ZnO. Як заднього контакту використовується металева токопроводяща пластина. ККД від 5 до 7 відсотків [8];

### 1.3 Висновки по розділу.

Спростуємо поширену помилку про те, що полікристалічні фотомодулі більш ефективно перетворюють сонячне випромінювання в порівнянні з монокристалічними. А тонкоплівкові в порівнянні з кристалічними. Перетворення енергії прямого сонячного випромінювання монокристалічних елементів відбувається з найбільшою ефективністю, у полікристалічних модуль це перетворення відбувається з меншою ефективністю в зв'язку з різною орієнтацією кристалів в елементі. Розсіяне випромінювання кристалічні фотоелементи перетворюють з однаковою ефективністю. Тому частка вироблення від розсіяного випромінювання в полікристалічних панелях вище ніж в монокристалічних, а, отже, і вплив орієнтації на вироблення нижче. У тонкоплівкових елементів в зв'язку з більшим ступенем безладності орієнтації світлочувливих елементів вироблення з розсіяною частини випромінювання становить основну частку вироблення. Тому і прийнято говорити, що на вироблення тонкоплівкових модуль не впливає орієнтація. Але енергію сонячного випромінювання, не залежно від його форми, ефективніше за все перетворюють монокристалічні модулі бо у них ККД вище.

Фотопанелі з кристалічних фотоелементів найчастіше використовуються в будівництві сонячних електростанцій. Зазвичай, термін служби фотомодуль з кристалічних елементів становить 25 років. Через 25 років потужність фотоелементів складе 80% від поточної потужності. Зазвичай кристалічні фотопанелі виробляються з непрозорою підкладкою з PVВ-пластика або тефлону, покриттям зі скла або прозорого EVA-пластика, або скла і алюмінієвою рамою [9].

CIS - фотомодулі мають найбільший ККД як для тонкоплівкових модуль. Але ці модулі схильні до корозії від струмів витоку в зв'язку з застосуванням електролізу в їх виробництві, тому, коли ми встановлюємо

станцію на CIS фотомодуля нам необхідно забезпечити повну потенційну розв'язку з АС мережею за допомогою установки трансформаторного інвертора або спеціального розділового трансформатора і встановити по диференціальному автомату на кожну з ліній, підключених до інвертору. CdTe - фотомодулі не схильні до корозії. Але кадмій є токсичним елементом, що викликає гострі і хронічні отруєння. Тому використані або зіпсовані CdTe - фотопанелі підлягають обов'язковій утилізації, що здорожує експлуатацію станції. Фотопанелі з аморфного кремнію не схильні до корозії і не токсичні, але мають дуже низький ККД і їх активні елементи вигорять на сонці. Зазвичай протягом 6 - 12 місяців після установки відбувається зниження потужності, потім ці модулі виходять на сталу потужність. Термін служби таких модулів становить близько 10 років. Термін служби CIS і CdTe модулів такої ж, як і у кристалічних.

Тому ми не будемо використовувати в подальшому панелі на тонкоплівкових фотоелементах, так як у них низький ККД і елементи схильні до деградації.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КОНФІГУРАЦІЇ ТРЕКЕРНИХ УСТАНОВОК І ЇХ ТИПИ

### 2.1 Актуальність досліджуваної проблеми.

Продуктивність роботи сонячних панелей безпосередньо залежить від кількості одержуваної сонячної енергії. Максимального значення генерація електрики досягає в момент, коли робоча поверхня сонячних модулів (пластин) розташовується перпендикулярно потоку сонячного випромінювання [10].

З урахуванням особливості траєкторії щоденного руху сонця, оптимальним розташуванням нерухомої (стаціонарної) сонячної батареї по азимуту є кут близько  $150^\circ$ . Практичні досліди показують, що зафіксований в такому положенні (в напрямку, що проходить по середині між точками сходу і заходу) сонячний модуль у вечірній і ранковий час втрачає близько 75% генерації від максимально можливого обсягу. Крім денного переміщення по напрямку із заходу на схід, Сонце додатково здійснює сезонне рух між північчю і півднем - за рік воно становить близько  $46^\circ$ . При орієнтуванні панелі в середню точку середньорічний траєкторії руху Сонця в напрямі північ-південь, втрати генерації від максимально можливої кількості складуть близько 8,3...9%.

Динамічні системи кріплення PV панелей (рухливі трекери) служать для забезпечення автоматичного стеження за положенням сонця протягом усього світлового дня і орієнтації закріплених на них сонячних батарей, а так само забезпечують корекцію кута нахилу панелі в залежності від пори року. Установка трекерної системи дозволяє домогтися збільшення вироблення електроенергії на 30...50% в порівнянні з сонячними електростанціями, що використовують нерухомо закріплені сонячні батареї [11].



Рисунок нижче наочно ілюструє як змінюється типовий денний графік генерації електроенергії при переході зі стаціонарних опорних металоконструкцій для сонячних батарей на рухливі двовісний трекерні системи:

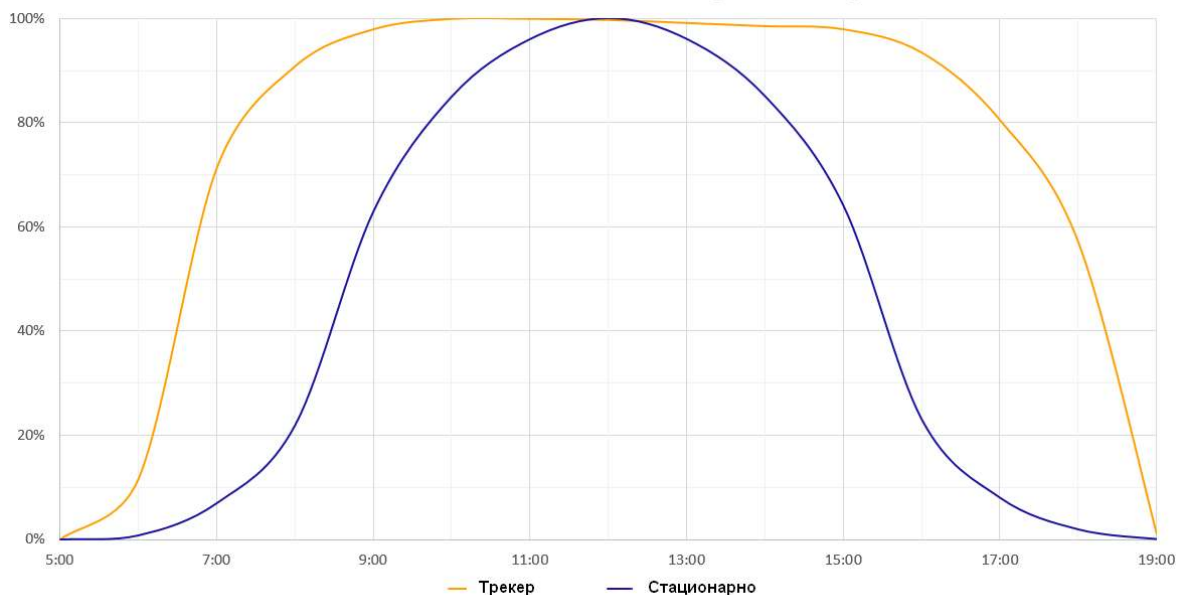


Рис. 2.1 - Графік зміни генерації.

## 2.2 Принцип роботи трекера.

Рухома частина трекера може змінювати своє положення за допомогою ручного приводу, або за допомогою 1-2-х актуаторів – виконавчих пристроїв, виконаних на електродвигунах.

Завдання трекера - встановити кути нахилу робочої поверхні навантаження, зорієнтувавши, її строго на сонці. Простіше кажучи, сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної батареї.

Такий орієнтації можна домогтися декількома способами:

У першому випадку пристрій управління актуаторами за допомогою декількох фотоприймачів аналізує освітленість при різних положеннях трекера і передає сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на

всіх фотоелементах буде однаковий. Розбалансування системи через рух сонця дасть імпульс для активації нового переміщення, в напрямку до сонця. Принципові схеми таких пристроїв нескладні і недорогі. Але у них є один істотний недолік. У похмуру погоду, при опадах і забрудненні фотоприймачів система непрацездатна.

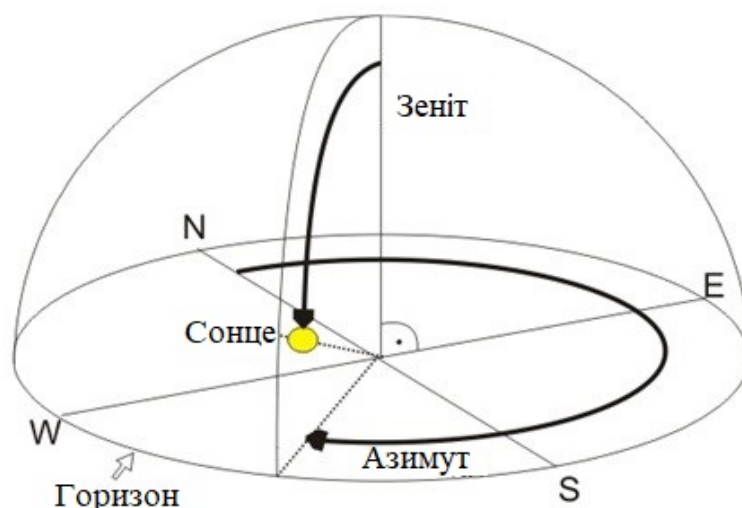


Рис. 2.2 - Зеніт і азимут

Переорієнтувати систему можна вручну, або, керуючи актуаторами, подаючи сигнали за допомогою перемикачів. Але такий спосіб прийнятний в основному для сезонної орієнтації трекерів, коли на якийсь період часу виставляється відповідний кут нахилу (на зображенні даний кут позначений як Zenith (зенітний кут нахилу сонця (Рисунок 2.2.)). Точність орієнтації при цьому невелика, постійно оператор не може перебувати у трекера, тому даний спосіб поширений мало, але для сезонної орієнтації малобюджетних систем він цілком підходить.

Управління рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах можливо пристроєм управління, до складу якого входить таймер. При цьому актуатори починають свою роботу по добовій програмі таймера (При необхідності, і за річною програмою). Точність орієнтації при це не велика, так як сонце протягом року постійно змінює час, місце сходу і заходу, зенітний кут.

Наприклад, влітку в наших широтах зенітний кут малий, а взимку сонце йде по горизонту і зенітний кут великий. Даний спосіб прийнятний для недорогих систем.

Найбільш ефективним став спосіб управління актуаторами за програмою, яка в певні інтервали часу розраховує місце розташування сонця. За внутрішнім годинником пристрою програма на блок управління видаватиме інформацію про значення Азимутального (Azimuth) і Зенітного (Zenith) кутів (Рисунок 2.2), з урахуванням місця розташування трекера (широта, довгота, висота над рівнем моря), після чого виконавчим пристроєм проводиться відповідна переорієнтація трекера в розрахункове положення. Дана програма для розрахунку місця розташування сонця, називається - SPA (Алгоритм сонячної позиції).

Пристрої управління трекера можуть бути виконані на захищених комп'ютерах, PLC - Програмованих логічних контролерах, або у вигляді окремих закінчених пристроїв, що програмуються постачальником при поставці трекера, з прив'язкою до місцевості свого виробу. Група трекерів може управлятися одним комп'ютером, що знижує собівартість електростанції. [12]

### **2.3 Трекерна система стеження за сонцем.**

Крім стаціонарних конструкцій для установки фотоелектричних модулів на землі, існують також поворотні в одній, або двох площинах конструкції для систем стеження за сонцем - трекерні системи. Використання трекерів дозволяє максимально ефективно зорієнтувати активну поверхню сонечних панелей і значно збільшити продуктивність енергії в порівнянні з фіксованим розміщенням на нерухомих металоконструкціях - до 30 - 50%.

Одноосьові сонячні трекери стежать за сонцем від сходу до заходу, при його русі в перебігу дня зі сходу на захід.

Ось може бути орієнтована таким чином, що панель стоїть під постійним до горизонту кутом (трекер з полярною віссю обертання) або кут щодо горизонту змінюється (називається трекером з горизонтальною віссю обертання). Горизонтальна вісь обертання більш підходить для місцевості в невеликих широтах (місцях, що знаходяться ближче до екватора), в той час треkerи полярною віссю більше підходять для високих широт.



Рис. 2.3 - Одноосьовий трекер з полярною віссю обертання.

Перевага одноосьових трекерів в тому, що вони є менш складними і, таким чином, більш дешевими. У місцях, розташованих ближче до екватора, де траєкторія руху Сонця по небу змінюється не сильно протягом дня, одновісні треkerи є особливо ефективними.

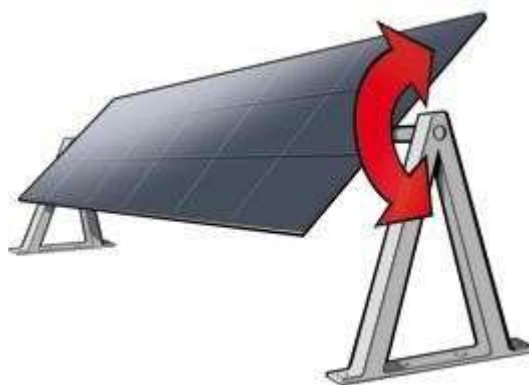


Рис. 2.4 - Одновісним трекер з горизонтальною віссю обертання.

Одновісним горизонтальні трекери також структурно більш міцні, і, отже, менш імовірно, що вони будуть пошкоджені під час ураганів і штормів.

#### 2.4 Двовісний сонячні трекери.

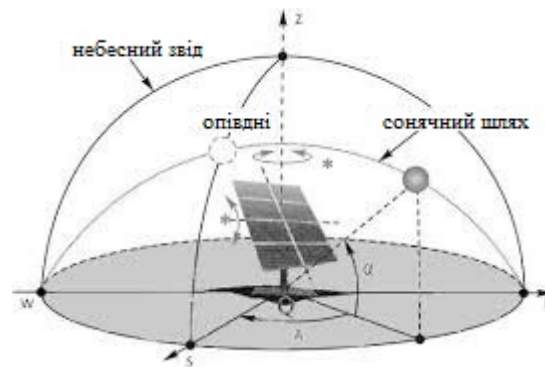


Рис. 2.5 - Двовісний сонячні трекери.

Розглянемо будову сонячного трекера. Типова система складається з:

- базової конструкції (нерухома наземна частина трекера);
- рухомої частини (має одну або дві осі обертання, електричний привід, редукційний блок);
- системи управління трекером, інтерфейсу для з'єднання з ПК;
- інвертора для перетворення низьковольтного струму від сонячних панелей в ток, який використовується двигуном;
- системи кріплення фотоелектричних модулів.

Опціонально трекери можуть включати:

- систему захисту (громовідвід, захист від перевантажень, прилад для вимірювання швидкості вітру, система захисту від ураганів і т. Д.);
- систему віддаленого доступу;
- систему навігації (визначення географічних координат, висоти над рівнем моря для досконалого стеження за сонцем) [13].

## 2.5 Способи орієнтації сонячних панелей.

Трекер може орієнтуватися по сонцю трьома способами [14]:

**Спосіб 1 - вручну.** Примітивний, найнадійніший - оператор виконує сезонну орієнтацію трекера вручну. Цей спосіб найменш ефективний, але відсутність вимірювальної апаратури і мінімум рухомих частин роблять його максимально надійним. Неполадки в механічних частинах виникають рідко.

**Спосіб 2 - фотодатчики.** Спосіб поширений, ненадійний. Полягає в поєднанні двох-трьох фотоелектричних датчиків, розташованих під кутом  $45^\circ$  відносно площини панелі, тобто під кутом  $90^\circ$  відносно один одного. Розміщення датчиків показано на рисунк нижче. Датчики розміщені в оболонках таким чином, щоб сприймався лише вузький промінь світла. Коли площину сонячної панелі перпендикулярна сонячного світла, то на кожен датчик потрапляє однаковий промінь, отже, напруга на всіх датчиках однаково. Коли сонце зміщується, то напруга на датчиках починає відрізнятися, і система управління включає привід, поки той не відкоригує положення панелі так, щоб напруга датчиків знову було однаковим. Принцип роботи системи нескладний, але зовсім не надійний.

Система управління з фотодатчиками має два суттєвих недоліки: по-перше, датчики часто забруднюються, в результаті чого перестають працювати, вимагають калібрування. Другим недоліком є те, що система не працює в похмуру погоду. Механічні неполадки - досить часте явище для даного типу приводу.

**Спосіб 3 - програмний.** Автономна система управління сонячними панелями програмується згідно циклам руху сонця. Система найбільш надійна серед використовують електричні приводи, майже не вимагає втручання операторів. Зміни програми виконуються швидко, при

необхідності віддалено. Саме такі системи зазвичай використовуються в промислових сонячних електростанціях.

## **2.6 Трекерна система для великих станцій.**

Для збільшення ККД фотоелектричних перетворювачів трекери використовуються досить рідко, в основному тоді, коли площа розташування сонячних панелей дуже обмежена, потрібна максимальна генерація струму. Можуть використовуватися одно- і двовісний трекери. Співвідношення вартості та ефективності трекерів визначає оптимальну потужність розміщуються на них фотомодулів, яка може становити від одиниць до десятка кіловат.

Конструктив трекера повинен забезпечувати здатність витримувати сильні вітрові навантаження при його роботі в складі енергосистеми. Зі збільшенням розмірів робочої поверхні корисного навантаження збільшується парусність комплексу. Вага корисного навантаження теж має значення. Тому проектувальникам часто доводиться в своїх рішеннях перерозподіляти навантаження на трекер, збільшуючи габарити системи. Надійність при цьому є визначальним фактором.

## **2.7 Висновки по розділу.**

1. Обґрунтовано використання системи орієнтування сонячних панелей для більш ефективного використання сонячної енергії.
2. Досліджено різних типів трекерних установок для більше ефективного споживання сонячної енергії.
3. Наведено способи орієнтації сонячного трекера, склад установки орієнтування, а також принципи його роботи.

## РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОРИЕНТИРОВАНИЯ

### 3.1 Раціональне використання енергії сонця.

Для найбільшої ефективності роботи сонячних панелей, тобто перетворення сонячної енергії в електричну, необхідно, щоб сонячні промені були направлені перпендикулярно поверхні модуля. В такому випадку освітленість поверхні сонячних панелей буде максимальною. Для цього необхідно, щоб система контролю максимуму освітленості протягом дня періодично змінювала положення сонячних панелей для збереження прямого кута між напрямом променів і його площиною. Система, що забезпечує поворот сонячних панелей протягом дня на максимальний потік сонячного випромінювання, називається системою контролю максимуму освітленості сонячних панелей.

Переміщення Сонця по небу протягом року і дня є вхідною характеристикою для системи контролю. Система контролю відповідає за орієнтування сонячних панелей на Сонце протягом дня і року.

За одну добу земля повертається навколо своєї осі на  $360^\circ$ , проте сонячні панелі буде генерувати енергію тільки протягом світлового дня. Тривалість дня змінюється в залежності від широти і місця установки сонячних панелей. Необхідно простежити за двома умовами зміни висоти Сонця: протягом дня і умови зміни висоти Сонця за порами року.

Положення Сонця на небосхилі може бути описано двома кутами: азимут і зеніт. Азимут - кут між істинним напрямом півночі і проекцією Сонця на горизонтальну площину Землі.

Зенітний кут характеризує висоту сонцестояння. Азимут змінює значення протягом дня через обертання Землі навколо своєї осі (Його також називають часовий кут), а зенітний кут змінюється через прецесії земної осі. Отже, при проектуванні системи контролю необхідно брати до



уваги два обертальні рухи Сонця: щоденне рух (переміщення по осі азимута) і щорічної прецесії земної осі (переміщення по осі екліптики).

Існує два способи контролю положення Сонця: по одній осі і за двома. Кількість осей визначає механізм системи контролю: одноосьова і двовісна

Одноосьові системи обертають сонячні панелі тільки в одній площині, здійснюють контроль під час переміщення Сонця по азимуту або екліптиці. На практиці системи контролю по осі екліптики НЕ застосовуються, тому що переміщення Сонця протягом дня по осі азимута значніше.

Двовісні системи контролюють положення Сонця в двох площинах (азимуту і екліптики Сонця), що забезпечує точне відстеження сонячного переміщення протягом дня.

### 3.2 Математична модель роботи ФМ.

Проведемо розрахунок потужності, що виробляється сонячних панелей. Для цього спочатку визначимо кількість сонячної радіації, що надходить за протягом дня. Потік прямої сонячної радіації  $Sr_{пр}$  на поверхню, розташовану під кутом  $\beta$  до цього потоку дорівнює:

$$Sr_{пр} = Sr_{max} \cdot K_{ат} \cdot \cos\beta \quad (3.1)$$

де  $Sr_{max}$  - кількість радіації, що надходить від Сонця на землю.

Ця величина є сонячною константою, що дорівнює  $1325 \text{ Вт/м}^2$ . При розрахунку потрібно враховувати, що 30...35% цієї енергії отржається назад в космос, тому візьмемо  $Sr_{max} = 925 \text{ Вт/м}^2$ .

$\beta$  - приведений кут падіння сонячних променів на поверхню інсоляції.

$K_{ат}$  - коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти променю.

$$K_{\text{ат}} = 1.1254 - \frac{0.1366}{\sin h_c} \quad (3.2)$$

$$\cos \beta = \sin(h + \alpha) \quad (3.3)$$

$$h = 90 - \theta + \delta \quad (3.4)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу площини ФМ до горизонту;  $h_c$  - кут, який визначає висоту Сонця над горизонтом в даний момент часу.

Визначимо вираз для висоти сонцестояння  $h_c$ . Сонячний зенітний кут - кут між напрямком вектора сонячних променів  $S$  і зенітної віссю щодо спостерігача (рисунок 3.1). Зенітний кут  $V_z$  характеризує висоту сонцестояння  $h_c$ .

$$V_z = 90^\circ - h_c \quad (3.5)$$

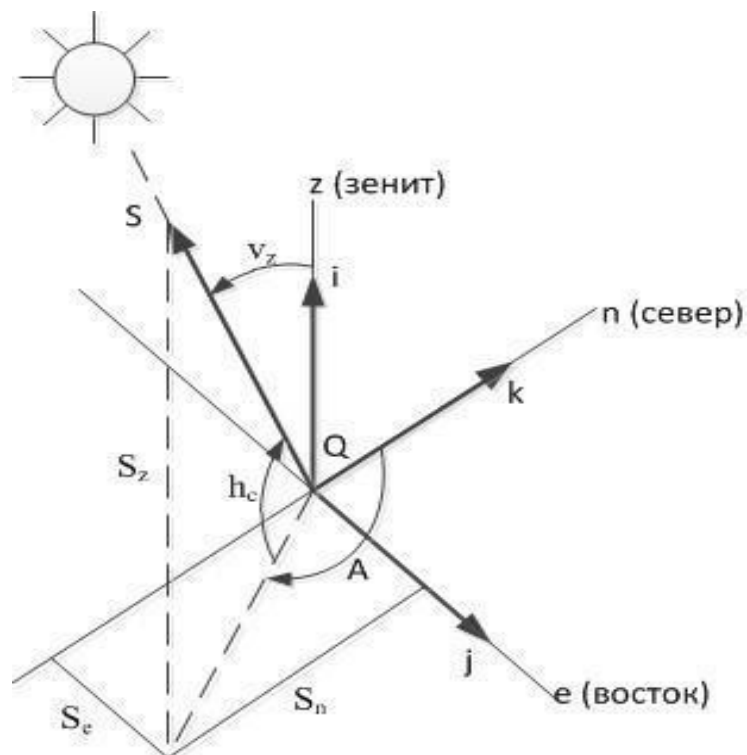


Рис 3.1 - Сонячний кут для спостерігача.

У векторних позначеннях  $S$  можна записати у вигляді:

$$S = S_z i + S_e j + S_n k \quad (3.6)$$

де  $i, j$  і  $k$  - одиничні вектори вздовж осей Зеніт ( $z$ ), Схід ( $e$ ) і Північної ( $n$ ).

З точки зору сонячного азимута і висоти,  $S$  можна записати у вигляді.

$$S_z = \sin(h_c)$$

$$S_e = \cos(h_c) \sin(A) \quad (3.7)$$

$$S_n = \cos(h_c) \cos(A)$$

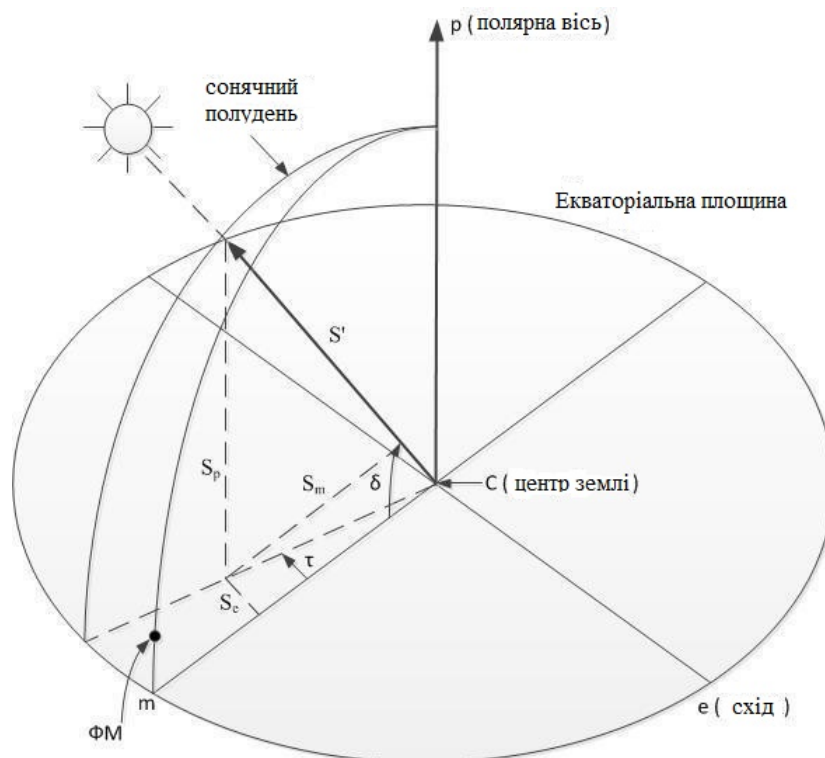


Рис. 3.2 - Геометрія сонячного кута.

У геоцентричній системі координат, показаної на рисунку 3.2, вісь  $m$  перетинає центр Землі і точку перетину між місцевим меридіаном і екваторіальною площиною.

Ось  $e$  перпендикулярна осі  $m$  і лежить в екваторіальній площині. Ось  $p$  - нормаль екваторіальній площині, яка перетинає Північний полюс. Новий сонячний вектор  $S'$  може бути описаний за допомогою кута сонячного відмінювання і годинного кута.

$$\begin{aligned}
 S &= S_m i + S_e j + S_n k \\
 S_e &= \cos(\delta) \cos(\tau) \\
 S_e &= \cos(\delta) \sin(\tau) \\
 S_n &= \sin(\delta)
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

Топоцентрические і геоцентрична координати пов'язані між собою обертанням навколо осі  $e$  через кут широти ( $\varphi$ ).

$$\begin{aligned}
 S_z &= \cos(\theta) & S_m &= \sin(\theta) \\
 S_e &= 0 & S_e &= 1 \\
 S_n &= -\sin(\theta) & S_y &= \cos(\theta)
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

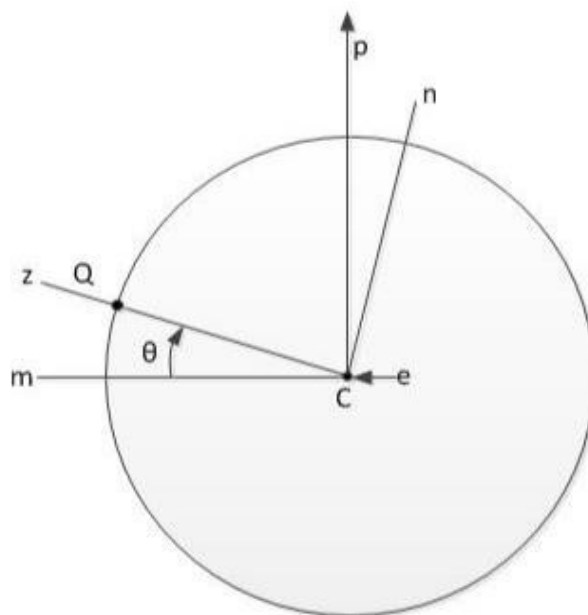


Рис. 3.3 - Перетворення геоцентричних координат в топологічні.

Вирішивши рівняння (3.9) і підставивши в вирази (3.6) і (3.8), отримаємо.

$$\begin{cases} \sin(h_c) = \sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\sigma) \cos(\omega) \cos(\theta) \\ \cos(h_c) \sin(A) = -\cos(\sigma) \sin(\tau) \\ \cos(h_c) \cos(A) = \sin(\sigma) \cos(\theta) - \cos(\theta) \cos(\tau) \sin(\theta) \end{cases} \quad (3.10)$$

Із системи рівнянь 3.10 висловимо  $h_c$ .

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta)) \quad (3.11)$$

Таким чином, висота сонцестояння  $h_c$  залежить від величини відміни Сонця  $\delta$ , часового кута  $\tau$  і широти місцевості  $\theta$ . Широта місцевості відповідає географічному розташуванню сонячних панелей. Визначимо залишилися дві величини.

### 3.2.1 Кут відміни сонця.

Кут відміни Сонця ( $\delta$ ) залежить від обертання Землі навколо Сонця, оскільки орбіта обертання має еліптичну форму і сама вісь обертання теж нахилена, то кут змінюється протягом року від значення  $23.45^\circ$  до  $-23.45^\circ$ . Кут відміни стає рівним нулю два рази в рік в дні весняного і осіннього рівнодення.

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[ 360 \frac{284 + d}{365} \right] \quad (3.12)$$

де  $d$  – порядковий номер дня в році.

Побудуємо графік зміни кута відмінювання Сонця опівдні протягом року.

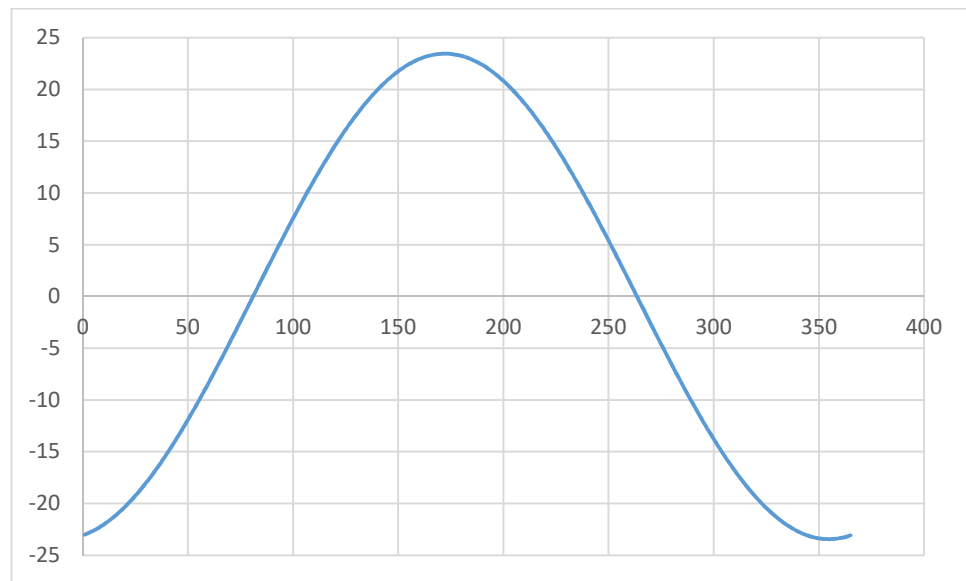


Рис. 3.4 - Графік кута нахилу сонця.

Як видно з графіка вище, кут відміни Сонця змінюється протягом року від  $-23,5^\circ$  до  $23,5^\circ$ .

### 3.2.2 Часовий кут.

Місцевий годинний кут знаходиться в лінійній залежності від місцевого сонячного часу.

$$\tau = 15 (T_s - 12) \quad (3.13)$$

де  $\tau$  - годинний кут,  $^\circ$ ;  $T_s$  - місцевий час, ч.

Різниця між середнім і істинним сонячним часом називається рівнянням часу. Вираз для визначення рівняння часу EOT буде мати вигляд:

$$EOT = 7.8 \cdot \sin(D - 2) + 10 \cdot \sin(2D + 10) \quad (3.14)$$

де  $D$  - приріст довготи середнього Сонця від початку року

$$D = (d \cdot 360/365)$$

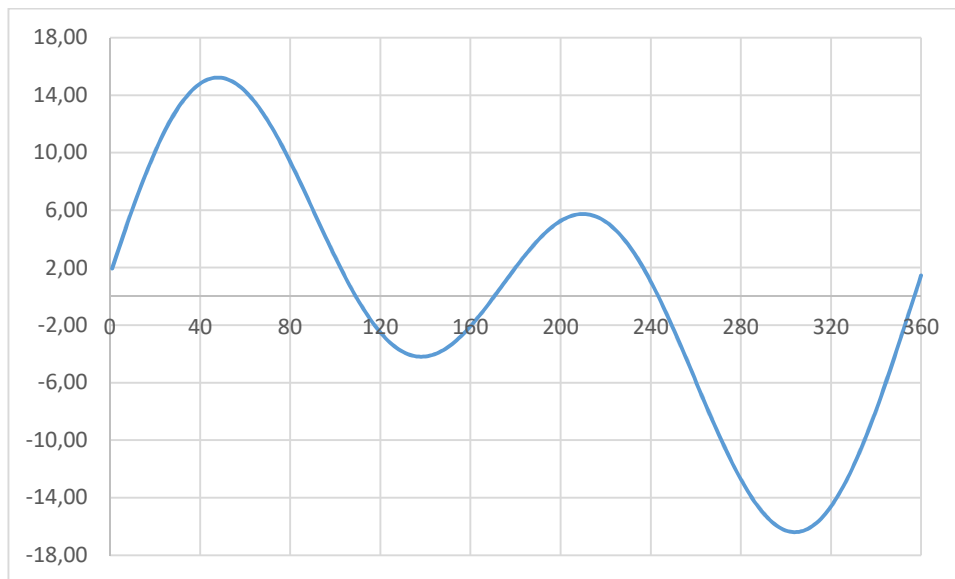


Рис. 3.5 - Графіки рівняння часу

Як видно з рисунок 1.9, справжнє сонячне час може зміщуватися на 17 хвилин від середнього сонячного часу.

Залежність істинного значення сонячного часу і місцевого часу має вигляд:

$$T_s = T_l - \frac{EOT}{60} - P - LC \quad (3.15)$$

де  $T_l$  - місцевий час;  $P$  - поправка на перехід на літній час ( $P = 1$  після переходу на літній час;  $P = 0$  після переходу на зимовий). Таким чином, для України з листопада по березень - зимовий час, з квітня по жовтень - літній.

$LC$  можна визначити за формулою:

$$LC = (M.d - D.st.m) / 15 \quad (3.16)$$

де  $M.d$  - місцева довгота;  $D.st.m$  - довгота стандартного меридіана.

Таким чином, визначені вирази для всіх величин, що впливають на потік прямої сонячної радіації приходить на поверхню, розташовану під деяким кутом до цього потоку.

Визначимо формули для потоку прямої сонячної радіації приходить на поверхню ФМ із застосуванням одно- і двухосной систем контролю.  $\delta$ , часового кута  $\tau$  і широти місцевості  $\theta$ .

При використанні двухосной системи контролю поверхню сонячних панелей спрямована на Сонце, отже, кут  $\beta$  між нормаллю поверхні і сонячними променями дорівнює 0, тоді:

$$S_r = S_{r_{\max}} \cdot K_{\text{ат}} \quad (3.17)$$

Вираз приходить потужності сонячного випромінювання для ФМ з одноосной системою контролю матиме вигляд:

$$S_r = S_{r_{\max}} \cdot K_{\text{ат}} \cdot \cos(\theta - h_c) \quad (3.18)$$

В даному випадку враховано кут нахилу поверхні до горизонту по другій осі (зазвичай кут дорівнює широті місця розташування сонячних панелей).

Розрахувати приходить потужність сонячного випромінювання на нерухому поверхню, встановлену під кутом до горизонту, можна за формулою:

$$S_r = S_{r_{\max}} \cdot K_{\text{ат}} \cdot \cos(\theta - h_c) \cdot \cos(90 - \tau) \quad (3.19)$$

Формули (3.17)...(3.19) відображають залежність приходить потужності сонячного випромінювання на поверхню ФМ із застосуванням двухосной і одноосной системи контролю, а також на поверхню стаціонарно встановленого ФМ під кутом до горизонту.



Для оцінки ефективності систем контролю необхідно порівняти потужності сонячних панелей, вироблена із застосуванням систем контролю, з потужністю стаціонарно встановлених сонячних панелей. Для цього необхідно визначити залежність вихідної потужності сонячних панелей від потужності сонячного випромінювання, що приходить на його поверхню.

### 3.2.3 Потужність сонячних панелей.

Найбільш проста модель розрахунку потужності сонячних панелей - це спосіб, при якому виробляється потужність вважається шляхом множення ККД сонячних панелей на сонячне випромінювання, яке прийшло на поверхню сонячних панелей.

$$P_{\text{ФМ}} = S_{\text{пр}} \cdot \text{ККД} \cdot S_{\text{сп}} \quad (3.20)$$

де  $P_{\text{ФМ}}$  - вироблена потужність сонячних панелей.

ККД - коефіцієнт корисної дії ФМ.

$S_{\text{сп}}$  - площа сонячних панелей.

Сукупність формул (3.1)...(3.20) становить математичну модель роботи сонячних панелей протягом дня. Описана модель може бути використана при моделюванні роботи СЕС з метою попередньої оцінки вироблюваної потужності.

## 3.3 Визначаємо оптимальний кут нахилу сонячних батарей.

Для отримання максимального ККД сонячних батарей необхідно підійти до розрахунку тих параметрів, на які людина може вплинути. Одним з таких є кут нахилу сонячних батарей, щоб зробити вироблення нашої сонячної електростанції максимальною.

Генерацію електроенергії сонячними фотоелементами, перш за все, впливають не залежні від людини фактори, такі як погодні умови і кількість сонячних днів в році. Найкращі умови для генерації електроенергії будуть при яскравому сонці і при орієнтації панелей перпендикулярно сонячному світлу (хоча, навіть при похмурій погоді сонячні батареї будуть виробляти електроенергію).

### 3.3.1 Визначаємо кут нахилу модулів в різні пори року.

$$\alpha_{\text{влітку}} = \frac{\theta + (\theta - 22,5)}{2} = \frac{48 + (48 - 22,5)}{2} = 36,75^\circ$$

$$\alpha_{\text{взимку}} = \frac{\theta + (\theta + 22,5)}{2} = \frac{48 + (48 + 22,5)}{2} = 59,25^\circ$$

$$\alpha_{\text{рівномірно}} = \frac{\alpha_{\text{влітку}} + \alpha_{\text{взимку}}}{2} = \frac{36,75 + 59,25}{2} = 48^\circ$$

де  $\theta$  – широта місцевості (для Дніпра  $\theta = 48^\circ$ ).

### 3.3.2 Щільність потоку енергії, що падає на фотоелектричний модуль на горизонтальній поверхні.

Відповідно до формули (3.3). для похилій поверхні при  $a_n = 0^\circ$ , тобто постійно орієнтованої на південь.

$$\cos\beta = \sin(h + \alpha)$$

де  $h$  – кут піднесення сонця.

$$h = 90 - \theta + \delta$$

Таблиця 3.1 - Розподіл генерація від пори року.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$\alpha$	24,22	33,33	45,62	56,59	63,9	65,18	60,17	50,10	38,18	26,94	20,03	18,91
$\cos\beta_{48}$	0,92	0,95	0,99	1,00	0,97	0,93	0,92	0,95	0,99	1,00	0,96	0,93
$\cos\beta_{36,75}$	0,83	0,88	0,94	0,99	1,00	0,98	0,98	0,99	1,00	0,96	0,89	0,84
$\cos\beta_{59,25}$	0,98	0,99	1,00	0,96	0,90	0,84	0,83	0,87	0,95	0,99	1,00	0,98

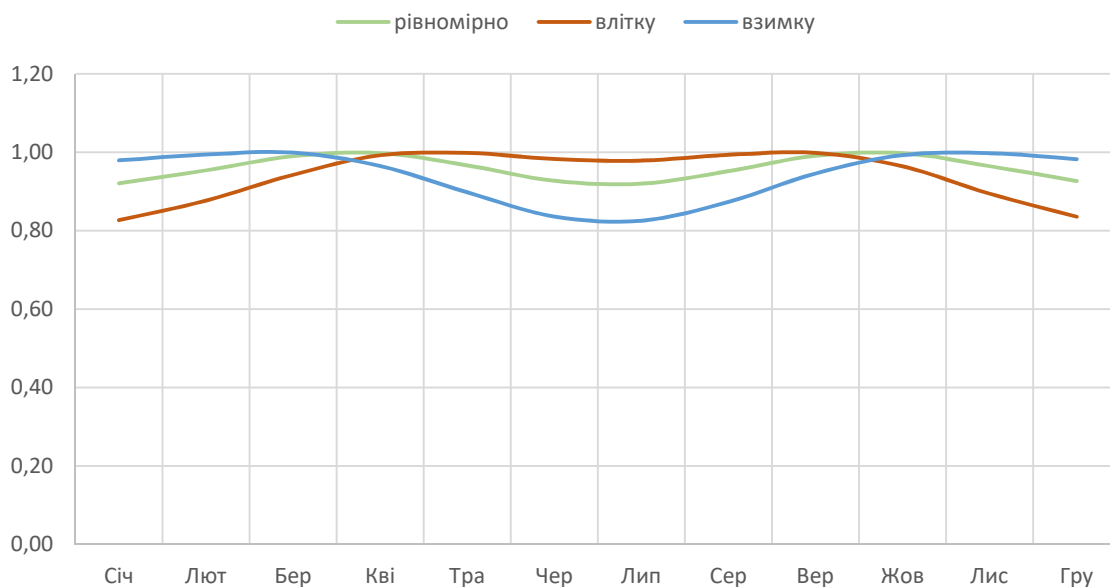


Рис. 3.6 - Річний розподіл генерації.

Кут нахилу сонячної батареї є важливими параметрами, від яких може залежати ефективність всієї системи. Проте, як видно з таблиці 3.5 та рисунок зміни кута нахилу, в межах  $5...15^\circ$  фактично не роблять істотного впливу на продуктивність системи.

Але як видно з таблиці літній та рівномірний кут показав найбільшу генерацію, а зимовий найменший на 9,54%.

### 3.4 Докладний розрахунок сонячної радіації.

#### 3.4.1 Обчислимо справжнє сонячне час для Дніпра.

Розглянемо ЕОТ для кожного місяця з січня по грудень, для розрахунків візьмемо перше число кожного місяця. Ми можемо скористатися формулою (3.13), однак розрахунки ЕОТ не залежить від місця застосування і для спрощення розрахунку можна скористатися таблицями, які знаходяться у вільному доступі.

Таблиця 3.2 - Значення EOT в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
EOT	1,9	13,4	14,4	6,1	-2,4	-3,5	1,9	5,7	0,8	-9,6	-16,3	-11,7

Відповідно до формули (3.14), Залежність істинного значення сонячного часу і місцевого часу:

$$T_s = T_l - \frac{EOT}{60} - P - LC$$

де  $T_L$  - місцевий час;  $P = 0$  для місяців з листопада по березень; і  $P = 1$  з квітня по жовтень (по скільки ми вважаємо на перше число).

Відповідно до формули (3.15)

$$LC = (M. д - Д. ст. М) / 15$$

де М.Д. - місцева довгота,

Д.ст.м. - довгота стандартного меридіана.

Для міста Дніпро місцева довгота дорівнює 35,1 східної довготи.

$$LC = 35,1 / 15 = 2,33^\circ$$

Коли все величини відомі, розрахуємо  $T_s$  для кожного місяця.

Таблиця 3.3 - Значення  $T_s$  в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$T_s, ч$	9,64	9,45	9,43	9,57	8,71	8,73	8,64	8,57	8,66	8,83	9,94	9,86

Тепер нам необхідно розрахувати місцевий годинний кут. Згідно формулою (3.12) він знаходиться в лінійній залежності від місцевого  $T_s$  - місцевого часу, ч.

Таблиця 3.4 - Значення місцевого годинного кута в залежності від місяця

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$\tau$	35,43	38,3	38,55	36,49	49,35	49,07	50,43	51,38	50,16	47,55	30,87	32,04

3.4.2 Визначимо кут нахилу сонця.

Його можна визначити, використовуючи формулу (3.11):

Таблиця 3.5 - Значення угла склонения сонця в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$\delta$	-23,01	-17,52	-8,29	4,02	14,90	22,04	23,12	17,91	7,72	-4,22	-15,36	-22,11

3.4.3 Визначимо висоту сонцестояння.

Відповідно до формули (3.10), висота сонцестояння  $h_c$  залежить від величини відміни Сонця  $\delta$ , часового кута  $\tau$  і широти місцевості  $\theta$ . Широта місцевості відповідає географічному розташуванню ФМ.

Таблиця 3.6 - Значення висоти сонцестояння в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$h_c$	12,20	16,09	24,25	36,07	37,76	43,25	43,15	38,75	31,64	23,32	20,91	14,23

3.4.4 Визначимо коефіцієнт поправки на повітряну масу.

Розрахуємо  $K_{ат}$  - коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти променю. Відповідно до формули (3.2).

Таблиця 3.7 - Значення коефіцієнта поправки на повітряну масу в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$K_{ат}$	0,48	0,63	0,79	0,89	0,90	0,93	0,93	0,91	0,87	0,78	0,74	0,57

### 3.4.5 Визначимо кількість сонячної радіації.

При використанні двухосной системи контролю поверхню сонячної панелі спрямована на Сонце, отже, кут  $\beta$  між нормаллю поверхні і сонячними променями дорівнює 0, тоді, відповідно до формули (3.16):

Таблиця 3.8 - Значення потужності при використанні двухосной системи орієнтування в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$Sr_d$	452,6	597,6	749,1	844,2	852,7	875,1	874,7	857,3	817,5	737,4	701,8	538,4

Відповідно до формули (3.17) для одноосной системи орієнтування:

Таблиця 3.9 - Значення потужності при використанні одноосной системи орієнтування в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$Sr_o$	367,1	507,3	685,7	826,0	839,1	872,1	871,6	846,1	784,4	670,0	624,9	447,6

Для постійно встановленої панелі, згідно з формулою (3.18):

Таблиця 3.10 - Значення потужності без системи орієнтування в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$Sr_6$	212,8	314,4	427,3	491,2	636,7	658,9	671,8	661,1	602,3	494,3	320,6	237,4

Для порівняння ефективності всіх видів систем орієнтування створимо візуалізацію розрахунків.

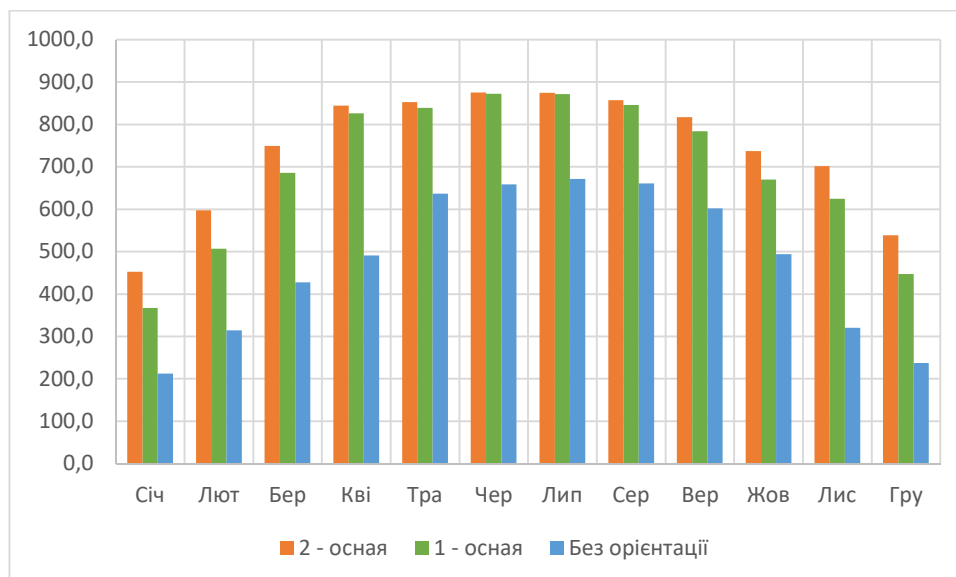


Рис. 3.7 - Гістограма максимальної потужності на 1 м<sup>2</sup> в залежності від місяця.

За графіками ми можемо побачити, що системи орієнтування максимально себе реалізують в холодну пору року. Різниця між одноосною і двохосною системами в літню пору практично немає, проте з жовтня по березень двохосна система орієнтування дає виграв до 30 відсотків у порівнянні з одноосною.

Сумарно за рік одноосьова система орієнтування дає приріст приблизно 51 відсоток у порівнянні з панелями без орієнтування, двохосна - 63 відсотки.

#### 3.4.6 Середній місячний рівень сонячної радіації.

Розглянемо середній місячний рівень сонячної радіації (сонячна постійна) в Дніпрі (кВт·г / м<sup>2</sup> / день). Це середній показник за останні 22 роки (За даними NASA) [15]

Таблиця 3.11 - Значення сонячної інсоляції в залежності від місяця.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	рік
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96	<b>3,36</b>

Порівняти розрахункові показники з показниками NASA безпосередньо неможливо, так як розрахункові дані для конкретного часу в конкретний день, в той час як інформація NASA в середньому за місяць, але ми можемо побачити чітка відповідність і там, і там, рівень радіації постійно зростає, досягає максимального в липні і далі падає до кінця року.

### **3.5 Розрахунок вироблення умовної СЕС на 10 кВт.**

Надалі ми будемо розглядати електростанцію на 10 кВт, оскільки така фотоелектростанція не вимагає великих витрат, генерує достатню кількість енергії і займає незначну площу.

Площа, яку займає фотоелектростанцією, залежить від способу розташування сонячних панелей. Найбільш компактним буде позиціонування сонячних батарей на похилому даху. Це змушує нас використовувати кут нахилу даху в якості кута нахилу сонячних модулів, проте площа, яку займає електростанцією при такому способі розташування - всього 75 м<sup>2</sup>, це з урахуванням місця необхідного для кабелів і в цілому монтажу. При розміщенні сонячних панелей на нерухомих конструкціях площа виростає до 130 м<sup>2</sup>, що пов'язано з необхідністю залишати відстань між столами для панелей, щоб уникнути взаємного затінення. З цієї ж причини площа фотоелектростанції на одноосьових і двuosного трекарах ще більше - близько 170 м<sup>2</sup> і 200 м<sup>2</sup>. При проведенні розрахунків важливим показником є середньомісячний прихід сонячної радіації на горизонтальну площадку, що залежить від географічного положення розміщеної фотоелектростанції, і азимут фотоелектростанції. Для всіх випадків ми будемо розраховувати азимут (сонячні панелі дивляться прямо на південь і стежать прямо за сонцем), що дозволить оцінити максимальну генерацію енергії.



### 3.5.1 Вибір фотомодулів.

В розрахунках будимо проводити аналіз двох сонячних фотомодулів на полікрісталлах і монокристаллах з такими характеристиками.

- Тип кристала – монокристал: Altek ALM-250M;

Номінальна потужність: 250 Вт;

Габарити: 1640x992x40 мм;

ККД фотомодуля: 16%

$S_{\text{сп}}$  - площа сонячних панелей: 1,627 м<sup>2</sup>;

Кількість панелей: 40 шт.

- Тип кристала – полікрістала: Altek ALM-250P;

Номінальна потужність: 250 Вт;

Габарити: 1642x994x40 мм;

ККД фотомодуля: 15,32%;

$S_{\text{сп}}$  - площа сонячних панелей: 1,632 м<sup>2</sup>;

Кількість панелей: 40 шт.

### 3.5.2 Визначимо потужність сонячних панелей типу монокристал.

Відповідно до формули (3.20) і таблицею 3.8 – 3.10, расчитаем місячну генерацію сонячної станції з використання панелей на монокристалічних кристалах на двох, одне осьових трекерех і без.

Таблиця 3.12 - Кількість виробленої електроенергії стаціонарної сонячної станцією по місяцях на монокристалі. МВт·ч.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	за рік
$P_{\text{фм-д}}$	1,151	1,372	1,905	2,077	2,168	2,153	2,224	2,180	2,012	1,875	1,727	1,369	<b>22,2</b>
$P_{\text{фм-о}}$	0,933	1,165	1,743	2,032	2,134	2,146	2,216	2,151	1,930	1,704	1,538	1,138	<b>20,8</b>
$P_{\text{фм-б}}$	0,541	0,722	1,087	1,209	1,619	1,621	1,708	1,681	1,482	1,257	0,789	0,604	<b>14,3</b>

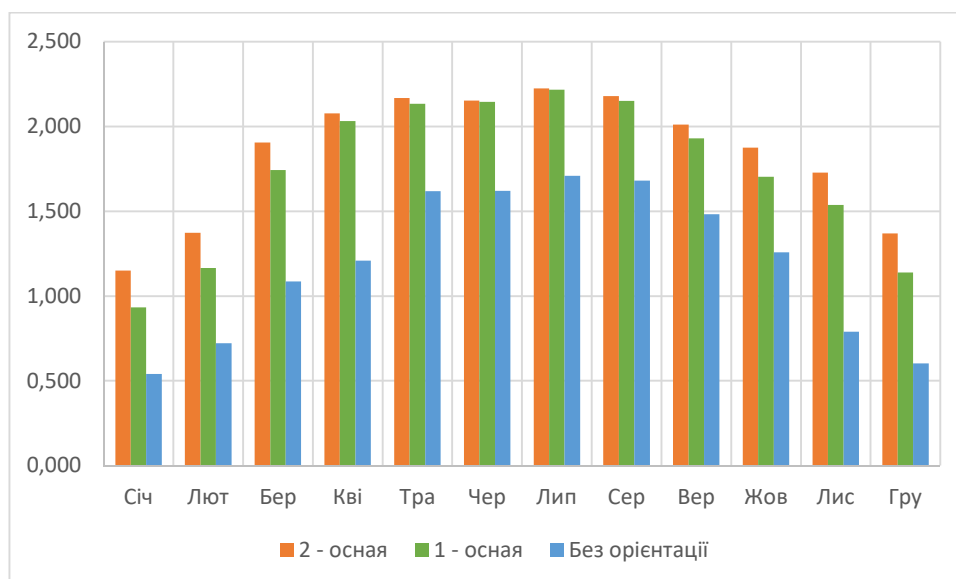


Рис. 3.8 - Гістограма максимальної генерації на сонячних панелях типу монокристал залежності від місяця.

### 3.5.3 Визначимо потужність сонячних панелей типу полікристал.

Відповідно до формули (3.20) і таблицею 3.8 ... 3.10, расчитаем місячну генерацію сонячної станції з використання панелей на полікристалічних кристалах на двох, одне осьових трекерех і без.

Таблиця 3.13 - Кількість виробленої електроенергії стаціонарної сонячної станцією по місяцях на полікристалі. МВт·ч.

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	за рік
$P_{фм-д}$	1,123	1,339	1,858	2,026	2,115	2,100	2,170	2,126	1,962	1,829	1,685	1,335	<b>21,7</b>
$P_{фм-о}$	0,910	1,136	1,701	1,983	2,081	2,093	2,162	2,099	1,883	1,662	1,500	1,110	<b>20,3</b>
$P_{фм-б}$	0,528	0,704	1,060	1,179	1,579	1,581	1,666	1,640	1,446	1,226	0,770	0,589	<b>14,0</b>

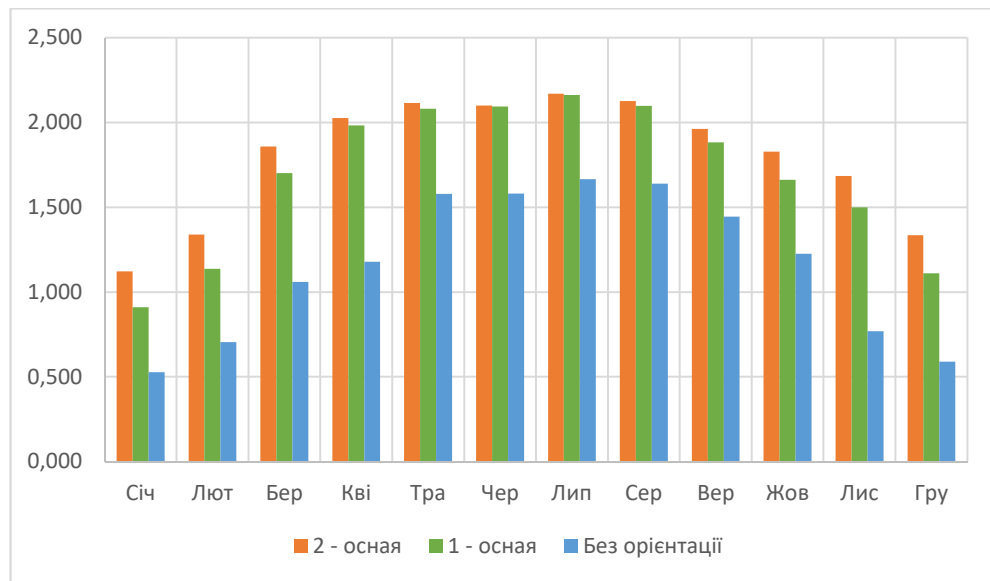


Рис. 3.9 - Гістограма максимальної генерації на сонячних панелях типу полікристал залежності від місяця.

### 3.6 Висновки по розділу.

Для міста Дніпро проведено розрахунок ефективності різних систем орієнтування сонячних панелей та на різних типах кристалах. Для цього була розрахована максимальна потужність, яку може отримати панель площею 1 м<sup>2</sup>, для розрахунку були обчислені висота сонцестояння, сонячний кут, годинний кут, справжнє сонячне час і інші величини для даної місцевості. За рік одноосьова система орієнтування дає приріст приблизно 45 відсоток у порівнянні з панелями без орієнтування, двовісна - 55 відсотки.

Як видно з наведених у таблиці отриманих результатів, однозначне твердження, що монокристалічні модулі значно продуктивніше і ефективніше полікристалічних не зовсім вірно. Наприклад, показник ефективності у монокристал панелей на 2,52 відсотки вище, ніж у полікристалічних. Що дає можливість говорити про те, що ефективність монокристалічних сонячних панелей значно завищена, це зроблено, можливо, щоб виправдати з більш високу вартість. Спираючись на отримані дані, можна зробити певні висновки і про економію площі при установці панелей різного типу.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

### Вступ

Продуктивність роботи сонячних панелей безпосередньо залежить від кількості одержуваної сонячної енергії. максимального значення генерація електрики досягає в момент, коли робоча поверхня сонячних модулів розташовується перпендикулярно потоку сонячного випромінювання. Домогтися цієї вимоги для сонячних установок можливо тільки при використанні спеціальних поворотних конструкцій з двовісний та одновісний системою стеження за сонцем.

Динамічні системи кріплення сонячних панелей (рухливі трекари) служать для забезпечення автоматичного стеження за положенням Сонця протягом усього світлового дня і орієнтації закріплених на них сонячних батарей, а так само забезпечують корекцію кута нахилу панелі в залежності від пори року. Установка трекерної системи дозволяє домогтися збільшення вироблення електроенергії в порівнянні з сонячними електростанціями, що використовують нерухомо закріплені сонячні батареї.

Такі сонячні установки, крім явних переваг в максимальному використанні сонячної енергії, є досить дорогими пристроями, споживають, хоч і незначно, але постійно енергію, вимагають велику за площею майданчик для установки по порівняно з фіксованими конструкціями.

Для того щоб з'ясувати найбільш ефективний принцип управління трекерної системою необхідно порівняти економічний ефект від кожного з розглянутих варіантів.

#### 4.1 Розрахунок капітальних витрат.

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ( $K_{пр}$ ) скористаємося формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left( \sum_{i=1}^K \Pi_i \right) Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{ін}$$

де  $K_{об} \left( \sum_{i=1}^K \Pi_i \right)$  – вартість придбання електрообладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$ -го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення приведено в таблиці 4.1 ... 4.6;

$k$  – кількість необхідних комплектуючих елементів;

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

$Z_{м}$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{ін}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів;

Розрахунок капітальних витрат зводимо до таблиці 4.1 ... 4.6.

Для того щоб з'ясувати найбільш ефективний принцип управління трекерної системою необхідно порівняти економічний ефект від кожного з розглянутих варіантів.

Таблиця 4.1 - Капітальні витрати для двовісної системи орієнтування сонячних панелей на монокристалах.

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250M. [17]	40	3 969	158 760
2	Сонячний трекер двовісний: AS Sunflower 40. [18]	1	219 960	219 960
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
4	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
5	Датчик сонячної іррадіації.[21]	1	10 852	10 852
6	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>451 232</b>

Дороге обладнання пропонується доставити безкоштовно (сонячні панелі), для решти врахуємо найм автомобіля для перевезення вантажів для доставки від відділення пошти - 500 грн. [16].

Розраховуємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн.:

$$K_{\text{мн}} = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}}$$

де Ч – чисельність інженерів, необхідних для виконання даних робіт, Ч = 3 чол.;

а – годинна тарифна ставка інженерів, а=30 грн.;

t - час на виконання монтажних-налагоджувальних робіт, t = 125 год.;

$K_{\text{д}}$  - коефіцієнт враховуючий розмір доплат,  $K_{\text{д}} = 1,1$ ;

$K_{\text{см}}$  - коефіцієнт враховуючий відрахування на соц. заходи,  $K_{\text{см}} = 1,22$ ;

$K_{\text{пр}}$  - коефіцієнт, що враховує інші затрати,  $K_{\text{пр}} = 1,05$ ;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\ 853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{пр1}} = 451\ 232 + 15\ 853 + 500 = 467\ 585 \text{ грн}$$

Таблиця 4.2 - Капітальні витрати для одноосьової системи орієнтування сонячних панелей на монокристалах.

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250M. [17]	40	3 969	158 760
2	Сонячний трекер одноосний: ST-200Z-1-D. [25]	10	2 456	24 560
3	Наземна система кріплень на 4 модулів. [18]	10	7 509	75 090
4	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
5	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
6	Датчик сонячної іррадіації.[21]	1	4 266	4 266
7	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>324 336</b>

Розраховуємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\ 853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{пр2}} = 324\ 336 + 15\ 853 + 500 = 340\ 689 \text{ грн}$$

Таблиця 4.3 - Капітальні витрати без системи орієнтування сонячних панелей на монокристалах.

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250M. [17]	40	3 969	158 760
2	Наземна система кріплень на 20 модулів. [23]	2	27 548	55 096
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
4	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
5	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>275 516</b>

Розраховуємо вартість монтажних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\,853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{прз}} = 275\,516 + 15\,853 + 500 = 291\,869 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4 - Капітальні витрати для двовісної системи орієнтування сонячних панелей на полікристалах.

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250P. [24]	40	3 119	124 760
2	Сонячний трекер двовісний: AS Sunflower 40. [18]	1	219 960	219 960
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
4	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
5	Датчик сонячної іррадіації. [21]	1	10 852	10 852
6	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>417 232</b>



Розраховуємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\,853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{пр4}} = 417\,232 + 15\,853 + 500 = 433\,585 \text{ грн}$$

Таблиця 4.5 - Капітальні витрати для одноосьової системи орієнтування сонячних панелей на полікристалах.

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250P. [24]	40	3 119	124 760
2	Сонячний трекер одноосний: ST-200Z-1-D. [25]	10	2 456	24 560
3	Наземна система кріплень на 4 модулів. [18]	10	7 509	75 090
4	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
5	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
6	Датчик сонячної іррадіації. [21]	1	4 266	4 266
7	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>290 336</b>

Розраховуємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\,853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{пр5}} = 290\,336 + 15\,853 + 500 = 306\,689 \text{ грн}$$

Таблиця 4.6 - Капітальні витрати без системи орієнтування сонячних панелей на полікристалах..

№ п/п	Найменування технічних засобів	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Солнечная панель: Altek ALM-250P. [24]	40	3 119	124 760
2	Наземна система кріплень на 20 модулів. [23]	2	27 548	55 096
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-10K. [19]	1	53 960	53 960
4	Кабельно-провідникові витратні матеріали. [20]	100	35	3 500
5	Блок захисту станції. [22]	1	4 200	4 200
<b>Всього:</b>				<b>241 516</b>

Розраховуємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт,  $K_{\text{мн}}$ , грн;

$$K_{\text{мн}} = (3 \cdot 30 \cdot 125) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 15\,853 \text{ грн}$$

Визначаємо величину проектних капіталовкладень:

$$K_{\text{прб}} = 241\,516 + 15\,853 + 500 = 257\,869 \text{ грн}$$

#### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.

Визначаємо річні експлуатаційні витрати:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{\text{ін}}, \text{ грн.}$$

де  $C_a$  – амортизаційні відрахування, грн;

$C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн;

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати, грн;

$C_t$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування та мереж, грн;

$C_e$  – вартість втрат електроенергії;

$C_{\text{ін}}$  – інші витрати, грн.

### 4.3 Розрахунок амортизаційних витрат.

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

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.

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л$$

де  $\Phi_{\Pi}$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_A = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\%$$

де  $T_{\Pi}$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

$$H_A = \frac{467\,585}{467\,585 \cdot 12} \cdot 100\% = 8$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АВ за прямолінійним методом для проектних варіантів:

$$AB = \frac{\Phi_a \cdot H_a}{100}$$

$$AB_1 = \frac{467\,585 \cdot 8}{100} = 37\,487 \text{ грн}$$

$$AB_2 = \frac{340\,689 \cdot 8}{100} = 27\,255 \text{ грн}$$

$$AB_3 = \frac{291\,869 \cdot 8}{100} = 23\,350 \text{ грн}$$

$$AB_4 = \frac{433\,585 \cdot 8}{100} = 34\,687 \text{ грн}$$

$$AB_5 = \frac{306\,689 \cdot 8}{100} = 24\,535 \text{ грн}$$

$$AB_6 = \frac{257\,869 \cdot 8}{100} = 20\,630 \text{ грн}$$

Таблиця 4.7 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.

№ п/п	Найменування	Капітальні інвестиції, грн.	Норма амортизації, %.	Сума амортизації, грн.
1	Проектний 1	467 585	8	37 487
2	Проектний 2	340 689	8	27 255
3	Проектний 3	291 869	8	23 350
4	Проектний 4	433 585	8	34 687
5	Проектний 5	306 689	8	24 535
6	Проектний 6	257 869	8	20 630

Розраховуємо річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання,  $V_{\text{рем}}$ , грн:

$$C_T = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi})$$

де  $n$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт,  $R_i = 33$  грн;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії тяжкості ремонту в одну ремонтну одиницю, в залежності від виду ремонту, год / од., при середньому ремонті 9 год / од.;

$m_i$  – число ремонтів за рік, од.,  $m_i = 1$ ;

$R_{\Sigma i}$  – сумарна категорія тяжкості ремонту в залежності від виду електрообладнання, так як потужність від 5 до 10 кВт, то приймається 2,1;

$S_i$  – вартість однотипних замінних елементів, грн; складають 220 грн.;

$\Pi_i$  – кількість однотипних замінних елементів, од., 12 од.;

$T_i$  – середній термін служби деталей даного типу, ч.,  $T_i = 19020$  год;

$T_{\Phi}$  – число годин роботи обладнання в рік, год; 5000 год.

$$C_T = 33 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 2,1 + \frac{220 \cdot 12}{19020} \cdot 5000 = 1\,318 \text{ грн}$$

Таблиця 4.8 - затрати на технічне обслуговування

Найменування	Тех. обслуговування, грн.
Проектний 1	1 318
Проектний 2	1 318
Проектний 3	1 318
Проектний 4	1 318
Проектний 5	1 318
Проектний 6	1 318

$$C_1 = 37\,487 + 1\,318 = 38\,805 \text{ грн}$$

$$C_2 = 27\,255 + 1\,318 = 28\,573 \text{ грн}$$

$$C_3 = 23\,350 + 1\,318 = 24\,668 \text{ грн}$$

$$C_4 = 34\,687 + 1\,318 = 36\,005 \text{ грн}$$

$$C_5 = 24\,535 + 1\,318 = 25\,853 \text{ грн}$$

$$C_6 = 20\,630 + 1\,318 = 21\,949 \text{ грн}$$

#### 4.4 Розрахунок вартості вироблення електрики.

Для того, щоб розрахувати економічний ефект від застосування трекерних систем необхідно порівняти прибуток, одержуваний від продажу електричної енергії в мережу за «зеленим» тарифом. «Зелений» тариф - це спеціальний тариф, за яким закупається електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії. В даному випадку, виробленої стаціонарної сонячної станцією і станціями, з застосуванням трекерних систем з розглянутими алгоритмами управління.

Коефіцієнт «зеленого» тарифу для об'єктів, введених в експлуатацію з 01.01.2017 по 31.12.2019 для електроенергії, виробленої з енергії сонячного випромінювання наземними об'єктами електроенергетики,

згідно з постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання в сферах енергетики і комунальних послуг 26.02.2015 № 220 тариф за 1 кВт \* год по «зеленому» тарифу складе 5,09 грн.

Знайдемо кількість електроенергії, яке моделюються системи продають в мережу за «зеленим» тарифом. Для цього необхідно знайти різницю між генерується і споживаної енергією для кожної системи:

Вартість проданої електроенергії визначається за формулою:

$$E_{\text{год}} = W_{\text{пр}} \cdot C_{\text{Е}} \text{ грн.}$$

де  $W_{\text{пр}}$  - кількість проданої в мережу за рік електроенергії, кВт·год;

$C_{\text{е}}$  - ціна проданої електроенергії, грн.

$$W_{\text{пр}} = W_{\text{Г}} - W_{\text{зат}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

де  $W_{\text{Г}}$  - кількість генерованої за рік електроенергії, кВт · ч;

$W_{\text{зат}}$  - кількість витраченої за рік електроенергії, кВт · ч;

4.4.1 Двовісна монокристалічна система генерує 22 213,44 кВт · год за рік і споживає 26 кВт енергії.

$$W_{\text{пр-д}} = 22\,213,44 - 26 = 22\,187,44 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$E_{\text{год-д}} = 22\,187,44 \cdot 5,09 = 112\,934,09 \text{ грн.}$$

4.4.2 Одновісна монокристалічна система генерує 20 830,87 кВт · год за рік і споживає 20 кВт енергії.

$$W_{\text{пр-о}} = 20\,830,87 - 20 = 20\,810,87 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$E_{\text{год-о}} = 20\,810,87 \cdot 5,09 = 105\,927,35 \text{ грн.}$$

4.4.3 Стационарна монокристалічна система генерує 14 319,22 кВт · год за рік і не споживає енергію.

$$E_{\text{год-б}} = 14\,319,22 \cdot 5,09 = 72\,884,84 \text{ грн.}$$

4.4.4 Двовісна полікристалічна система генерує 21 667,68 кВт · год за рік і споживає 26 кВт енергії.

$$W_{\text{пр-д}} = 21\,667,68 - 26 = 21\,641,68 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$E_{\text{год-д}} = 21\,641,68 \cdot 5,09 = 110\,156,13 \text{ грн.}$$

4.4.5 Одновісна полікристалічна система генерує 20 319,07 кВт · год за рік і споживає 20 кВт енергії.

$$W_{\text{пр-о}} = 20\,319,07 - 20 = 20\,299,07 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$E_{\text{год-о}} = 20\,299,07 \cdot 5,09 = 103\,322,30 \text{ грн.}$$

4.4.6 Стационарна полікристалічна система генерує 13 967,41 кВт · год за рік і не споживає енергію.

$$E_{\text{год-б}} = 13\,967,41 \cdot 5,09 = 71\,094,11 \text{ грн.}$$

## 4.5 Розрахунок терміну окупності.

4.5.1 Розрахунок повного річного доходу:

На монокристалах:

$$E_{\text{рік-повн-д}} = E_{\text{рік-д}} - C_1 = 112\,934,09 - 38\,805 = 74\,129,09 \text{ грн / рік}$$

$$E_{\text{рік-повн-о}} = E_{\text{рік-о}} - C_2 = 105\,927,35 - 28\,573 = 77\,354,35 \text{ грн / рік}$$

$$E_{\text{рік-повн-б}} = E_{\text{рік-б}} - C_3 = 72\,884,84 - 24\,668 = 48\,216,84 \text{ грн / рік}$$



На полікрystalах:

$$E_{\text{рік-повн-д}} = E_{\text{рік-д}} - C_4 = 110\,156,13 - 36\,005 = 74\,151,13 \text{ грн / рік}$$

$$E_{\text{рік-повн-о}} = E_{\text{рік-о}} - C_5 = 103\,322,29 - 25\,853 = 77\,469,29 \text{ грн / рік}$$

$$E_{\text{рік-повн-б}} = E_{\text{рік-б}} - C_6 = 710\,94,11 - 21\,949 = 491\,46,11 \text{ грн / рік}$$

4.5.2 Термін окупності проекту:

На монокристалах:

$$T_{\text{оп-д}} = \frac{K_{\text{пр-д}}}{E_{\text{рік-повн-д}}} = \frac{467\,585}{74\,129,09} = 6,31$$

$$T_{\text{оп-о}} = \frac{K_{\text{пр-о}}}{E_{\text{рік-повн-о}}} = \frac{340\,689}{77\,354,35} = 4,4$$

$$T_{\text{оп-б}} = \frac{K_{\text{пр-б}}}{E_{\text{рік-повн-б}}} = \frac{291\,869}{48\,216,84} = 6,05$$

На полікрystalах:

$$T_{\text{оп-д}} = \frac{K_{\text{пр-д}}}{E_{\text{рік-повн-д}}} = \frac{433\,585}{74\,151,13} = 5,85$$

$$T_{\text{оп-о}} = \frac{K_{\text{пр-о}}}{E_{\text{рік-повн-о}}} = \frac{306\,689}{77\,469,29} = 4$$

$$T_{\text{оп-б}} = \frac{K_{\text{пр-б}}}{E_{\text{рік-повн-б}}} = \frac{257\,869}{49\,146,11} = 5,25$$

### **Висновки по розділу.**

У розділі була розрахована вартість конструювання та установки двухосной системи, одноосной системи і без використання трекерних установок сонячних панелей. Крім цього були розраховані річні доходи в разі продажу зеленої енергії, витрати на обслуговуючий персонал, а також на ремонт обладнання.

Це нам дало можливість порівняти і зробити аналіз цих установок. З розрахунків видно що двоосевая система і без використання трекерних установок термін окупності майже дорівнює але після окупності двоосевая система буде приносити більший дохід ніж без використання трекерних установок. Найкращій показник дала система з використанням одновісним трекерних установок. Так само з розрахунків видно що на полікрісталах окупність менше ніж на монокрісталах.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто використання найбільш ефективних і економічно обґрунтованих способів підвищення продуктивності сонячних панелей, кращим з яких визначено спосіб орієнтування батарей за допомогою сонячних трекерів.

Наявність сонячного трекера не є необхідним для роботи сонячних батарей, але з його допомогою можна збільшити продуктивність системи. Були розглянуті кілька методів спостереження за Сонцем, які дозволяють утримувати сонячні батареї перпендикулярно сонячним променям. Ідеальний трекер дозволив би фотоелементів точно вказувати на Сонце, компенсуючи обидва зміни: азимутальне зміщення Сонця і широтне зміщення Сонця. Були розглянуті пасивні і активні трекери, їх переваги та недоліки.

Крім того, існують гібридні системи управління трекерної установкою, що використовують два способу відстеження положення Сонця, які дозволяють оптимізувати роботу трекера.

Один із способів оцінити ефективність трекерної системи – порівняти кількість енергії, витраченої на орієнтацію стежить майданчики і різницю кількості енергії, що генерується за допомогою системи стеження за Сонцем і стаціонарної сонячної станції.

Для оцінки економічного ефект від застосування трекерних систем проведено порівняння прибутку, одержуваної від продажу електричної енергії в мережу за «зеленим» тарифом. Техніко-економічний розрахунок показав, що більш високий економічний ефект справляє система одноосной позиціонування на полікристалічних кристалах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Китаєв Н. Сонячні панелі з високим ККД. - 2016. [Электронный ресурс] - Режим доступу: <http://savenergy.info/page/solnechnye-paneli-s-vysokim-kpd>
2. Da Silva Wilson. Trendy solar cells hit new world . - 2016. [Электронный ресурс] - Режим доступу: <http://newsroom.unsw.edu.au/news/science-tech/trendy-solar-cells-hit-new-world-efficiency-record>
3. Wesoff E. First Solar Hits Record 22.1CdTeSolar Cell. - 2016. - [Электронный ресурс] - Режим доступу: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/First-Solar-Hits-Record22.1-Conversion-Efficiency-For-CdTe-Solar-Cell>
4. Wittmer B., Mermoud A. A tool to optimize the layout of ground-based PV installations taking into account the economic boundary conditions // 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. — 2014. — P. 6.
5. Андреев С.В. Сонячні електростанції. М.: // науки 2002. – С. 28.
6. Поновлювані джерела енергії. [Електронний ресурс] - Режим доступу. - URL.: <http://www.minenergo.gov.ru>
7. Наумов А.В., Плеханов С.І. Розвиток сонячної енергетики на основі тонкоплівкових CIGS-елементів // Енергія: економіка, техніка, екологія. - М., 2013. -№ 7. - С. 14.
8. Кузнецов Ф.А., Резниченко М.Ф. Кремний для солнечной энергетики// Материалы электронной техники. – 2008. – №4. – С.4
9. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
10. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аркатова О.Е. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок // Электроника, Измерительная Техника,

Радиотехника и Связь. Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 2, декабрь 2010 – С. 102.

11. Капля Е. В. Автоматическая система ориентации солнечной батареи в условиях переменной освещенности // Известия ВолгГТУ. – Волгоград – 2009.– №8(56)–. С.88.
12. Солар [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://solarb.ru/solnechnye-batarei-na-povorotnykh-modulyakh>
13. Solarsoul [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://solarsoul.net/treker-dlya-fotoelektricheskix-ustanovok>
14. Damm, J. An active solar tracking system // HomeBrew Magazine – 1990
15. Атмосфера [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/>
16. Vitok [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.vitok-energo.ru/index\\_page\\_238.html](http://www.vitok-energo.ru/index_page_238.html)
17. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-altek-alm-250m-250-24d.html>
18. ЕНЕРГІЯ ПРИРОДИ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://npower.com.ua/ua/features/item/dvuhosnaya-sistema-krepleniya-fem-as-sunflower-40-4-dlya-40-fotomodulej>
19. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/uninterruptible-power-systems/inverters/setevoi-trjehfaznyi-invertor-ginlong-solis-10k.html>
20. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/%D1%81ables-connectors/kabel-dlya-solnechnyh-batarei-tuv-solar-cable-6.html>
21. ENERTIME [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://enertime.kiev.ua/p630894361-datchik-solnechnoj-irradiatsii.html>
22. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/electrical-equipment/iatschitnaya-avtomatika1/>

23. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/fastening-system-of-solar-panels/nazemnye-sistemy-krepleni1/nazemnaya-sistema-krepleni-na-20-modulei-pod-betonirovanie-svai.html>
24. SOLAR-TECH [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/solar-panels/batareya-solnechnaya-ldk-250p-20-ldk250.html>
25. ST-200Z-1-D [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://ru.aliexpress.com/item/1000W-1KW-Sunlight-Track-Solar-Tracker-8-12V-Linear-Actuator-Electric-Controller-DIY-Single-Axis-Solar/32722763860.html?af=137322&aff\\_platform=aaf&cpt=1544918670804&afref=&subid1=DPlnKr2ATnM&dp=dd4a46f3060f277196622a2e056e5f9e&cv=47843&mall\\_affr=pr3&sk=VnYZvQVf&aff\\_trace\\_key=490210e4aa5c4ff79e3944bb1ea8efdf-1544918670804-08006-VnYZvQVf&terminal\\_id=03a8dd9b1bb3496f9112b1c71e49095b](https://ru.aliexpress.com/item/1000W-1KW-Sunlight-Track-Solar-Tracker-8-12V-Linear-Actuator-Electric-Controller-DIY-Single-Axis-Solar/32722763860.html?af=137322&aff_platform=aaf&cpt=1544918670804&afref=&subid1=DPlnKr2ATnM&dp=dd4a46f3060f277196622a2e056e5f9e&cv=47843&mall_affr=pr3&sk=VnYZvQVf&aff_trace_key=490210e4aa5c4ff79e3944bb1ea8efdf-1544918670804-08006-VnYZvQVf&terminal_id=03a8dd9b1bb3496f9112b1c71e49095b)

**ДОДАТКИ**