

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Лежнюк П. Д.

---

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019р.

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття ступеня «магістр»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ  
ФОТОВОЛЬТАЇЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ РІЗНИХ  
ТИПІВ**

08-13.МКР.004.00.94 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу ОПП магістра,  
групи ЕС-18м  
спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Електричні станції»  
Гриник В.А.

---

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС

Малогулко Ю. В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент:

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця – 2019 рік

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня магістра зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Освітня програма – Електричні станції

(шифр – назва спеціальності)

Магістрант групи      ЕС-18м      Гриник Владислав Анатолійович

(назва групи)

(прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Дослідження ефективності застосування трекерних систем фотовольтаїчної електростанції з сонячними панелями різних типів».

---

Вихідні дані: у якості вхідних даних визначено район експлуатації фотовольтаїчної електричної станції.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи

1. Текстова (пояснювальна записка): Вступ. Аналіз літературних джерел з питання оптимальної орієнтації фотоелектричних модулів відносно сонячних променів. Розрахунок прямої сонячної енергії що потрапляє на поверхню фотоелектричних модулів. Розрахунок виробітку електроенергії фотовольтаїчною електростанцією потужністю 5 кВт. Техніко-економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

---

## 2. Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Економічна частина

\_\_\_\_\_  
(підпис)канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Охорона праці та безпека  
в надзвичайних ситуаціях\_\_\_\_\_  
(підпис)д-р. техн. наук, доц., професор кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Б. А. Болдаренко

Дата попереднього захисту роботи “05” грудня 2019 р.

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(підпис)~~(наук. ступінь, вчене звання, посада)~~

(ініціали та прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання видав

\_\_\_\_\_

(підпис)

канд. техн. наук, доц., доцент кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

"02" жовтня 2019 р.

Завдання отримав магістрант

\_\_\_\_\_

(підпис)

В.А.Гриник

(ініціали та прізвище)

"02" жовтня 2109 р.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	8
ABSTRACT.....	9
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ .....	14
1.1 Глобальна ситуація в сфері ВДЕ у світі та Україні .....	15
1.1.1 Тенденції розвитку відновлюваної енергетики в Україні .....	16
1.1.2 Інвестиційна привабливість проектів сонячної електрогенерації в Україні .....	19
1.2 Пристрій стеження на основі трекера .....	21
1.3 Огляд систем управління актуаторами трекерів .....	23
1.3.1 Управління за допомогою декількох фотоприймачів .....	23
1.3.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів.....	25
1.3.3 Спосіб управління за програмою розрахунку місця розташування Сонця .....	25
1.4 Механізми повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів .....	26
1.5 Огляд існуючих фотоелектричних енергоустановок спостереження за Сонцем.....	26
1.6 Вимоги до систем стеження автономних фотоелектричних енергетичних установок як об'єкта АСК ТП і основні напрямки дослідження.....	35
1.7 Аналіз структур й математичне забезпечення існуючих слідкуючих систем .....	39
1.8 Система управління сонячними панелями за траєкторією сонця для їх енергоєфективності.....	42
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЩО ПОТРАПЛЯЄ НА ПОВЕРХНЮ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	45

2.1 Докладний розрахунок прямого сонячного потоку для міста Вінниця .	45
2.2 Розрахунок генерації електроенергії фотовольтаїчною електростанцією потужністю 5 кВт .....	58
<b>РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ.</b> .....	<b>65</b>
3.1 Обґрунтування економічного розрахунку .....	65
3.2 Розрахунок витрат на конструювання енергоустановки.....	66
3.3 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	71
3.4 Розрахунок доходів від продажу електроенергії в мережу за «зеленим» тарифом .....	74
3.5 Розрахунок терміну окупності.....	75
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.</b> .....	<b>78</b>
4.1 Задачі розділу .....	78
4.1 Аналіз умов праці, під час виконання монтажних робіт сонячних панелей, що працюють в ОЕС України. ....	79
4.2 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі сонячних панелей.....	81
4.3 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою сонячної електростанції .....	84
4.4 Основні заходи протипожежного захисту на сонячних станціях .....	89
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>93</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>95</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>99</b>
<b>ДОДАТОК А</b> .....	<b>100</b>
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	<b>105</b>
<b>БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	<b>105</b>
Б.1 Дослідження стійкості роботи трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах дії іонізуючих випромінювань .....	106

Б.2 Дослідження стійкості трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	107
Б.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах надзвичайних ситуацій .....	109
ДОДАТОК В.....	111



## АНОТАЦІЯ

Гриник В.А.: «Дослідження ефективності застосування трекерних систем фотовольтаїчних електростанцій з сонячними панелями різних типів». Магістерська кваліфікаційна робота - Вінниця: ВНТУ, 2019. – 94 с., Таблиць: 25, Рисуноків 26: , Бібліографія: 42.

В представлений магістерській кваліфікаційній роботі досліджено ефективність застосування трекерних систем орієнтування фотоелектричних модулів, під оптимальним кутом відносно сонячних променів. Для міста Вінниця, проведено розрахунок кількості сонячної енергії, що потрапляє на поверхню сонячних панелей, в залежності від місяця. Розраховано щомісячну і річну генерацію електроенергії фотоелектричною енергоустановкою потужністю 5 кВт, при трьох різних варіантах виконання. Зроблено розрахунок витрат на реалізацію трьох проектів, та розраховано термін окупності для кожного з них.

Ключові слова: фотоелектрична енергоустановка, сонячна енергія, трекерна система

## **ABSTRACT**

Hrynyk Vladyslav: "Investigation of the efficiency of application of tracker systems of photovoltaic power plants with solar panels of different types". Master's qualification work - Vinnytsia: VNTU, 2019. - 94 pp., Tables: 25 pictures 26 :, Bibliography: 42.

The presented master's qualification work investigates the efficiency of using tracker orientation systems of photoelectric modules, at an optimal angle relative to the sun's rays. For Vinnitsa, the calculation of the amount of solar energy entering the surface of the solar panels, depending on the month. The monthly and annual amount of electricity generation by a 5 kW photovoltaic power plant has been calculated, with three different versions. The cost of implementation of the three projects was calculated and the payback period for each of them was calculated.

**Keywords:** photovoltaic power plant, solar energy, tracker system

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

АФЕУ – автономна фотоелектрична енергоустановка

ВДЕ - відновлювальні джерела енергії

ВМ – виконавчий механізм

ДВН – датчик вітрового навантаження

ДПС – датчик положення Сонця

ЕРС – електрорушійна сила

КД – кроковий двигун

ККД – коефіцієнт корисної дії

МНС – міністерство надзвичайних ситуацій

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПТЕ – правила технічної експлуатації

РП – розподільчий пристрій

СФЕС - сонячна фотоелектрична станція

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування

ФМ – фотоелектричний модуль

GPRS – General Packet Radio Service

PV - Photovoltaics

USB – Universal Serial Bus

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день, з причин зменшення запасів паливних енергоресурсів, ускладнення процесу їх добування з надер землі, а відповідно і збільшення собівартості, шкідливого впливу, що несуть навколишньому середовищу відходи паливних ресурсів, при їх згорянні, проблема пошуку нових та невичерпних джерел енергії стоїть як ніколи гостро. Не менш важливим є питання ефективності альтернативної енергетики, та розробка механізмів, та алгоритмів, які дозволяють у більш повному обсязі використати енергетичний потенціал природних ресурсів, в тому числі і сонячну енергію.

Одним з найважливіших питань у будь-якому технічному процесі, є коефіцієнт корисної дії, не виключенням є і генерація електроенергії фотоелектричними модулями (ФМ). На сьогоднішній день, значна частина ФМ, які продаються та експлуатуються в енергосистемах, мають коефіцієнт корисної дії в межах 15 – 25%, такі ФМ сконструйовані на базі кремнієвих напівпровідникових елементів. Одним з ефективних способів підвищення коефіцієнту корисної дії ФМ є використання багат шарових фотоприймачів на гетероперходах, ККД таких модулів зростає до 50%, однак на сьогоднішній день, технологія виробництва таких модулів є доволі дорогою, тому співвідношення ціна/ефективність мало відрізняється від модулів на кремнієвих напівпровідникових елементах, через непомірно велике збільшення вартості.

Як відомо, в Україні на законодавчому рівні є ініціатива стимулювання розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), за рахунок купівлі державою електроенергії, генерованої об'єктами, що використовують ВДЕ за підвищеною ціною «Зеленим тарифом». Ставка зеленого тарифу для СФЕС є найвищою, проте всеодно, передбачено її подальше зниження. Відповідно будівництво подібних об'єктів у майбутньому матиме довший термін окупності, особливо це стосується малопотужних сонячних фотоелектричних станцій.

**Мета і задачі дослідження:** Метою даної роботи, є визначення впливу кута нахилу фотовольтаїчних модулів відносно сонячних променів, в різні пори року та на генерацію електроенергії фотовольтаїчною електричною станцією. Розрахунок кількості отриманої прямої сонячної енергії в різні пори року, для місцевості з конкретними географічними координатами. В даній роботі було виконано обрахунки для міста Вінниця.

Розрахунок генерації електроенергії сонячною фотоелектричною станцією (СФЕС) встановленою потужністю 5 кВт. Розрахунок терміну окупності, даної установки при трьох різних варіантах виконання: стаціонарна електростанція, рухома електростанція на базі одноосевої трекерної системи, рухома електростанція на базі двоосевої трекерної системи.

Для виконання запланованої мети, виділимо основні завдання дослідження:

- дослідження констукційних особливостей існуючих наземних сонячних електростанцій, систем оптимальної орієнтації ФМ відносно сонячних променів, методів стеження за положенням Сонця, вимог до пристроїв оптимальної орієнтації ФМ;

- долідження зміни кількості прямої сонячної енергії, отриманої на одиницю площі, для конкретної місцевотсі. Виконати такий розрахунок для кожного місяця року;

- запропонувати конструкцію виконання сонячної електростанції встановленою потужністю 5 кВт, дослідити витрати на його реалізацію у трьох варіантах виконання.

**Об'єктом дослідження є:** сонячна фотоелектрична установка

**Предметом дослідження:** методи визначення кількості прямої сонячної енергії, що потрапляє на поверхню фотоелектричних модулів, в залежності від їх географічного розташування.

**Науковою новизною роботи є:**

Дослідження кількості прямої сонячної енергії, що потрапляє на поверхню сонячних панелей для конкретного географічного регіону, в даній роботі для міста Вінниця.

**Практична цінність роботи**

1. Досліджено методи керування сонячними панелями з метою дотримання оптимального кута відносно сонячних променів, з метою максимально можливого використання потенціалу енергії Сонця.

2. Запропоновано два варіанти виконання сонячних фотоелектричних енергоустановок з рухомими сонячними панелями на базі одноосевої та двоосевої трекерної системи, енергоефективність яких в ході проведених розрахунків виявилась вищою в порівнянні з енергоефективністю електростанції зі стаціонарними панелями на 55% та 68% відповідно.

3. Результати отримані в ході розрахунків можна застосовувати при проектуванні сонячних фотоелектричних енергоустановок невеликої потужності, з метою підвищення їх енергоефективності.

4. Найбільш оптимальний з розглянутих в роботі варіантів виконання установки, може бути застосований для живлення об'єктів, що знаходяться на великій відстані від електричної мережі.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Тему дослідження даної магістерської кваліфікаційної роботи, було обговорено на XLVIII Науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки, на секції електричних станції та систем в березні 2019 року.

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано дві тези доповідей, у збірнику матеріалів науково-технічної конференції.

## **РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ**

Після початку використання сонячних батарей для виробництва електроенергії в промислових масштабах інженери і проектувальники стали шукати способи підвищення ефективності таких електростанцій. Загальна дисперсія світла Сонця, яка визначається зміною напрямку падіння сонячних променів на панелі, не дозволяла раціонально використовувати сонячні батареї протягом усього світлового дня. Виходом з такої ситуації стало встановлення сонячних панелей на рухомому підставі, підключеному до системи стеження за траєкторією переміщення Сонця.

Для отримання максимальної потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ККД сонячних батарей може досягати 50-55%. Для стаціонарно встановлених батарей цей показник може знижуватися до 10-15% з-за зміни кута падіння сонячних променів.

Освітленість сонячних батарей повинна підтримуватися на оптимальному рівні. Для підтримання цього рівня розроблені різноманітні системи спостереження - від найпростіших аналогових до аналогово-цифрових.

Система стеження за сонцем - це пристрій для орієнтування панелі сонячних батарей або для утримання сонячного відбивача поверненим до Сонця [1].

Слідкуючі електроприводи або системи управління положенням представляють собою замкнуті електроприводи, керуючі переміщенням і забезпечуючи стабілізацію положення об'єкта регулювання відносно деякої базової системи координат.

При цьому регульована величина (положення об'єкту) з тим або іншим ступенем точності повинна відповідати прикладеному до системи керуючому впливу. Слідкуючі електроприводи можуть забезпечувати як лінійне, так і

кутове переміщення регульованого об'єкта. Наприклад, це може бути система наведення сонячної батареї.

### 1.1 Глобальна ситуація в сфері ВДЕ у світі та Україні

У таблицях 1.1 та 1.2 показано структуру зайнятості в секторі відновлюваних джерел енергії у світі та в Україні, з розподілом на частки по технологіям виробництва [28].

Таблиця 1.1 - Показники зайнятості в секторі відновлюваних джерел енергії за технологіями у світі, млн. осіб

Технологія	Зайнятість персоналу в секторі ВДЕ
Сонячні фотовольтаїчні станції	3,365
Станції на рідкому біопаливі	1,931
Гідроелектростанції	1,513
Вітрові електростанції	1,148
Сонячні колектори	0,87
Станції на твердому біопаливі	0,77
Біогазові установки	0,344
Малі гідроелектростанції	0,289
Геотермальні електростанції	0,093
Станції на полігонах ТПВ	0,027
Інші технології	0,0076
Припливні електростанції	0,001
Усього	10,343



Таблиця 1.2 - Показники зайнятості в секторі відновлюваних джерел енергії за технологіями в Україні, тис. осіб.

Технологія	Зайнятість персоналу в секторі ВДЕ
Гідроелектростанції	28,3
Станції на твердому біопаливі	6,5
Вітрові електростанції	0,9
Малі гідроелектростанції	0,5
Сонячні фотовольтаїчні станції	0,5
Усього	36,6

Діаграма представлена на рис. 1.1 надає огляд на глобальні тренди інвестицій у відновлювану енергетику, а саме інвестиційні тенденції у розвиток сонячної енергетики в світі [28].

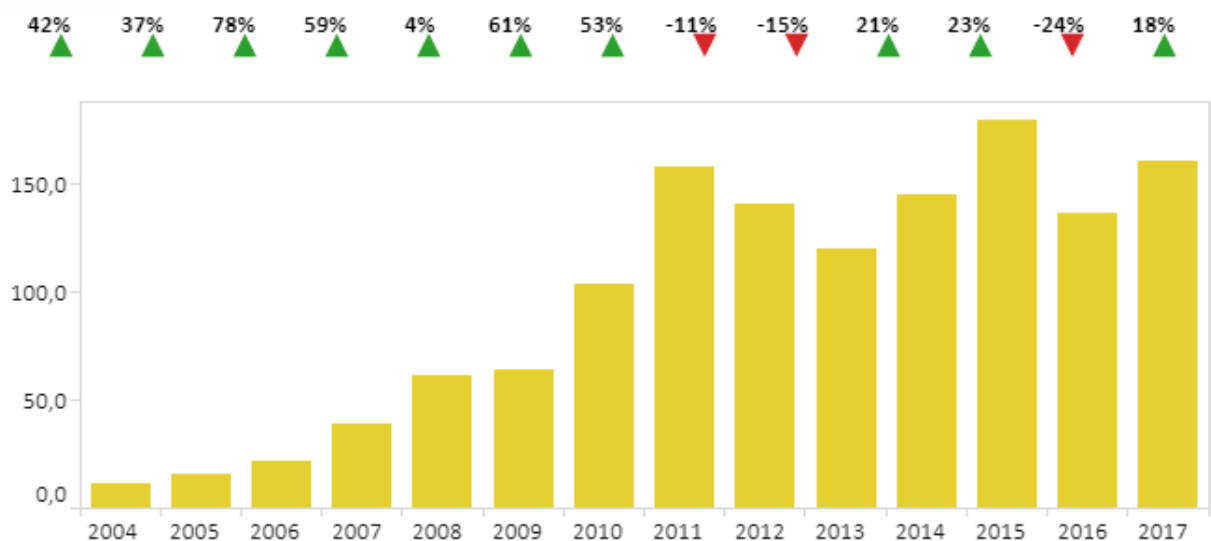


Рисунок 1.1 - Світові показники інвестицій у сонячну енергетику.  
(значення наведені у млрд. доларів США)

### 1.1.1 Тенденції розвитку відновлюваної енергетики в Україні

Географічне розташування України сприятливе для реалізації проектів генерації сонячної енергії. Для клімату України характерно велика кількість

сонячних днів: за ступенем інсоляції Україна значно перевершує визнаного європейського лідера в сонячній енергетиці - Німеччину. Це є базовий фактор, який дозволяє говорити про комерційні перспективи проектів сонячної електрогенерації, реалізованих в Україні. Держава також декларує всебічну підтримку проектами генерації енергії на основі ВДЕ. Однак в практиці реалізація таких проектів вимагає звернути увагу на ряд нюансів, без врахування яких ініціатор проекту може зіткнутися з серйозними обмеженнями і ризиком не досягти цільових показників.

В Україні сонячна енергетика за останні 5 років перетворилася з дрібного сегмента, представленого декількома пілотними проектами, в одне з найбільших стрімко зростаючих напрямків.

Разом з тим, політична нестабільність, що досягла свого піку в 2014 році, а за нею девальвація гривні, а також ризики загострення військового конфлікту на сході країни негативно позначилися на інвестиційних проектах даного напрямку. В результаті анексії Криму було втрачено найбільш сприятливий в плані використання ВДЕ регіон, в якому до 2014 року вже були успішно реалізовані такі проекти.

Ринок альтернативної енергетики в Україні в 2014-2017 роках після успішних 2012-2013 пройшов стадію падіння і вийшов на стабільне зростання, яке може тривати з ще більшими темпами. Основними причинами, що вплинули на кризу 2014-2015 років, були:

Втрата контролю над об'єктами ВДЕ в Криму і на Донбасі;

Девальвація гривні, яка призвела до зростання цін на обладнання та установку;

Криза банківської системи, істотно обмежив доступ до кредитних ресурсів і зробив їх нерентабельними для входу в ринок;

Внутрішні ризики, послабили інвестиційну привабливість.

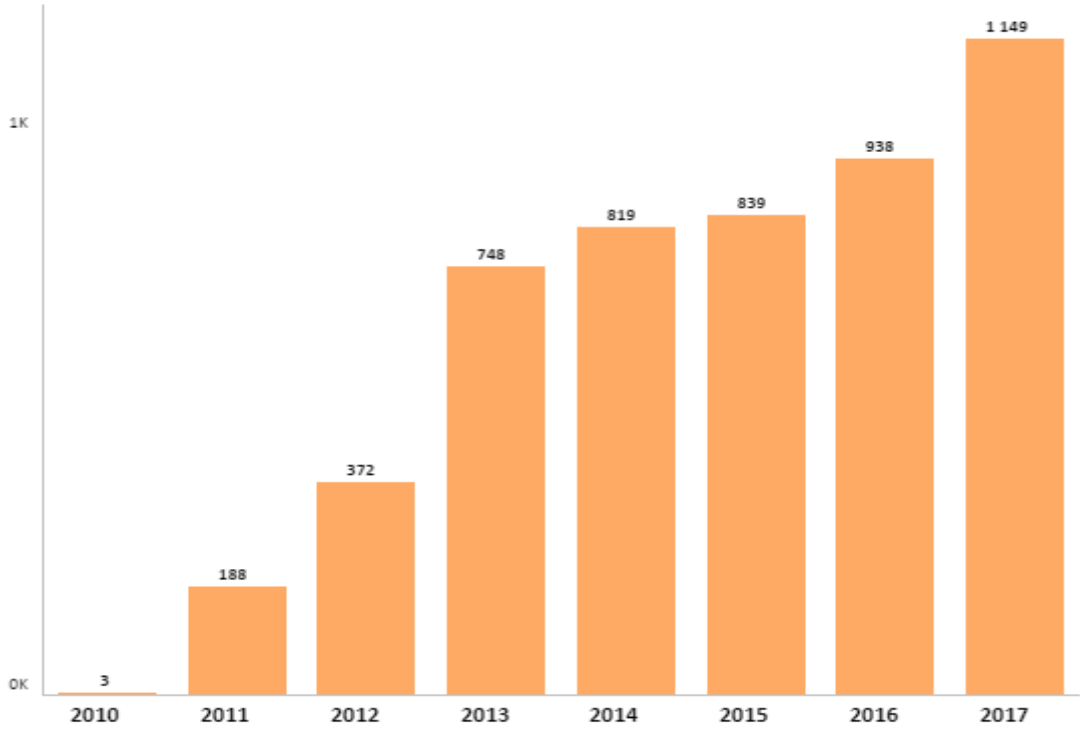


Рисунок 1.2 - Встановлена потужність СЕС в Україні (МВт)

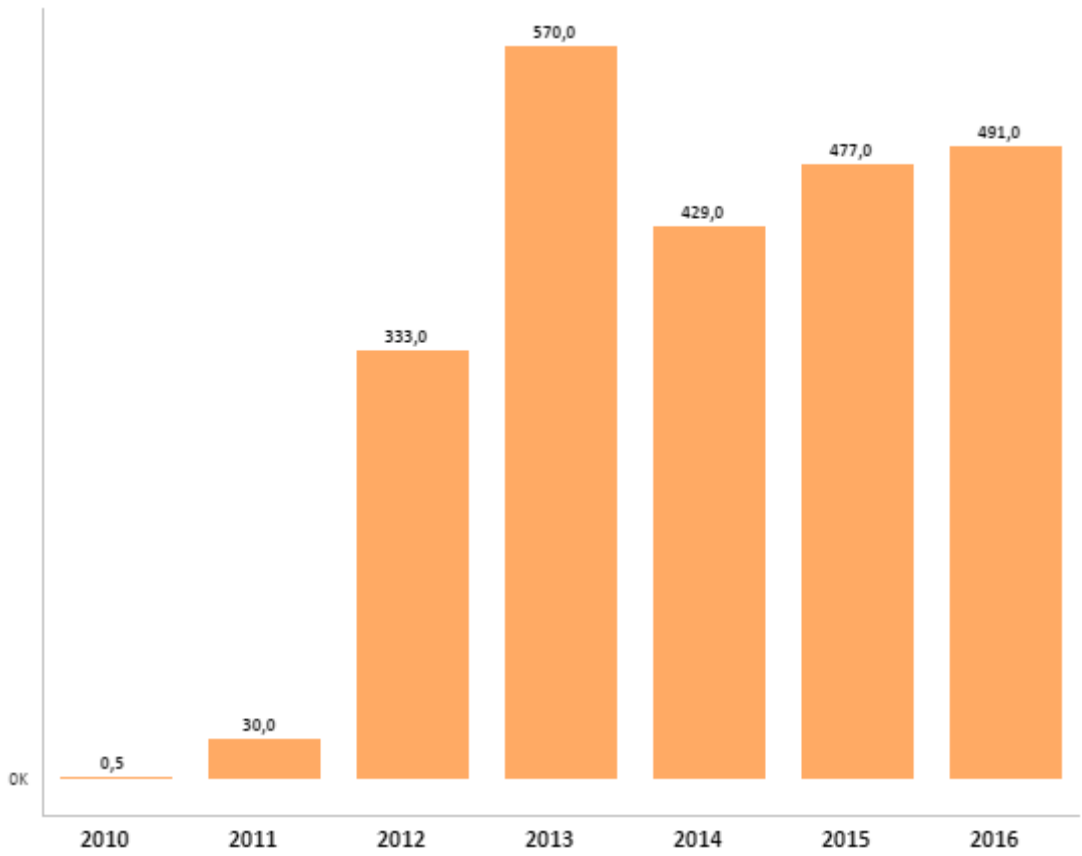


Рисунок 1.3 - Генерація електроенергії СЕС в Україні (ГВт год)

### 1.1.2 Інвестиційна привабливість проектів сонячної електрогенерації в Україні

Фактори, які впливають на окупність СЕС:

Тип сонячних панелей (найбільш розповсюдженими ефективними по співвідношенню ціна-якість сьогодні є сонячні панелі на основі моно- або полікристалічного кремнію, тому зазвичай обирають між ними)

Рівень інсоляції регіону (найбільш популярні в Україні - Одеська, Дніпропетровська, Херсонська та Миколаївська область )

Орієнтація сонячних панелей на сторону світу Пн., Пд., Зх., Сх. (наявність можливості повороту при використанні трекерної системи монтажу, дозволяє генерувати на 30-50% більше ел. енергії по відношенню до стаціонарно встановлених конструкцій аналогічної потужності). [27]

Нахил сонячних панелей відносно горизонту (бажано перпендикулярне потрапляння сонячних променів на панель, літом цей кут становить 30-35 градусів, весною і восени 45 градусів, а зимою рекомендовано встановлювати 70 градусів відносно горизонту)

Країна виробник обладнання (у більшості використовують китайські сонячні панелі, станом на 2015р. частка у 73% виготовлених панелей у світі припадає на Китай, що значно знижує вартість СЕС )

Деградація обладнання (монокристалічні батареї за 25 років втрачають 20% продуктивності у роботі, а полікристалічні модулі - 30%, гарантійні терміни суттєво різняться - від 5 до 25 років)

Власне споживання електроенергії об'єктом та розмір інших витрат

Відпускна вартість електроенергії

На рисунку 1.4 показано, що 27% фотоелектричних електростанцій в усьому світі мають системи стеження за Сонцем [29].

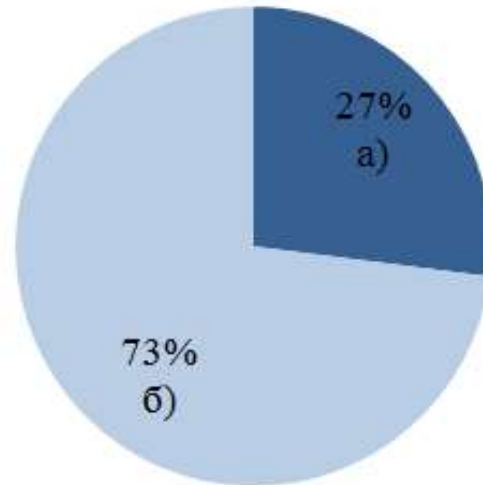


Рисунок 1.4 – Діаграма поділу фотоелектричних електростанцій на:

- а) рухомі - із застосуванням одновісних та двовісних трекерів;
- б) нерухомі - стаціонарно встановленні сонячні модулі.

Після початку використання сонячних батарей для виробництва електроенергії в промислових масштабах інженери і проектувальники стали шукати способи підвищення ефективності таких електростанцій. Загальна дисперсія світла Сонця, яка визначається зміною напрямку падіння сонячних променів на панелі, не дозволяла раціонально використовувати сонячні батареї протягом усього світлового дня. Виходом з такої ситуації стало встановлення сонячних панелей на рухомому підставі, підключеному до системи стеження за траєкторією переміщення Сонця.

Для отримання максимальної потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ефективність сонячних батарей може підвищуватись на 55-65%.

Освітленість сонячних батарей повинна підтримуватися на оптимальному рівні. Для підтримання цього рівня розроблені різноманітні системи спостереження - від найпростіших аналогових до аналогово-цифрових.

## 1.2 Пристрій стеження на основі трекера

Сонячні панелі найбільш ефективно працюють, коли вони орієнтовані на Сонце та їх поверхня перпендикулярна до напрямку сонячних променів. Сонячні панелі, зазвичай розташовані на даху, або на жорсткозакрімленому каркасі, в зафіксованому положенні, відповідно, не можуть реагувати на зміну положення Сонця, що змінюється протягом дня. Тому зазвичай сонячні панелі розташовуються під кутом  $45^\circ$  відносно землі, таке розташування є оптимальним для стаціонарних панелей. Кут між горизонтальною площиною та сонячною панеллю називають кутом нахилу.

В результаті руху Землі навколо Сонця, також мають місце зміни кута нахилу Сонячних променів, що прямо впливає на продуктивність сонячних панелей. Взимку Сонце знаходиться під значно гострішим кутом, ніж влітку. Відповідно, влітку панелі повинні розташовуватись більш горизонтально, ніж взимку. Тому кут нахилу для роботи влітку, обирають меншим. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, то панелі, повинні розташовуватись під оптимальним кутом, значення якого є середнім між оптимальними кутами для літнього та зимнього періодів. Значення оптимального кута може також відрізнятись залежно від географічних координат точки, в якій розташовано панель. До прикладу, панелі, розташовані біля Екватора, розташовуються горизонтально.

Зазвичай у весняний та осінній періоди оптимальний кут нахилу приймають рівним значенню широти місцевості. Для зимнього періоду кут повинен бути більше на 10-15 градусів, а для літнього на 10-15 градусів меншим. Тому рекомендують змінювати двічі на рік, кут нахилу з літнього на зимній. Якщо ж немає такої можливості, то кут нахилу, обирають рівним географічній ширині.

Найбільші відхилення до 5 градусів від цього оптимуму мають незначний вплив на ефективність сонячних панелей. Відмінності в погодних умовах мають більший вплив на виробіток електроенергії. Для автономних систем оптимальний кут нахилу залежить від місячного графіку навантаження,

тобто якщо в поточному місяці споживається більше електроенергії, то кут нахилу потрібно обирати оптимальним саме для цього місяця. Також слід враховувати наявність затінку протягом дня. Наприклад, якщо зі східного боку, розташовано дерево, а з західної чиста площа, то скоріш за все, варто переорієнтувати панель з півдня, на південний захід.

Сонячний трекер – пристрій призначений для відстежування положення Сонця і орієнтації несучої конструкції таким чином, щоб отримати максимальний ККД від сонячних батарей (чи інших пристроїв встановлених на трекері). Концепція трекера досить проста – по декількох датчиках, визначати оптимальне положення панелі, після чого контроллер відправляє керуючі сигнали на поворотний механізм, який рухає всю конструкцію у потрібний бік.

У розрізі, використання таких пристроїв у фотоелектричних системах, трекери застосовуються для відстеження положення Сонця та періодичного повороту сонячних панелей для максимізації генерування електроенергії протягом усього дня.

Враховуючи особливості щоденної траєкторії руху Сонця, можна сказати, що ефективний кут повороту панелі, близько  $150^\circ$ . Панель, що зафіксована рівно по центру між точками заходу та сходу втрачає до 75% від максимально можливого потенціалу.

Обертання панелі від сходу до заходу для мінімізації цих втрат називають однокоординатним стеженням. Проте, крім денного руху зі сходу на захід, сонце також здійснює сезонне переміщення між північною та південною сторонами планети на  $46^\circ$ . Для того, щоб врахувати таке переміщення, потрібне двокоординатне стеження.

Самі ж трекери можуть мати різну конфігурацію, і керуватись різними алгоритмами при виборі напрямку, мають різні поворотні механізми.

Трекери необхідні, для орієнтації робочої поверхні на Сонце. Поверхнею в даному випадку може бути:

- Батарея, що складається з сонячних фотоелектричних модулів

- Дзеркало параболічного відбивача, фокусує сонячну енергію на двигуні, що генерує електроенергію

- Дзеркало відбивача, фокусує сонячну енергію на будь-якій іншій приймач сонячної енергії, яким може бути пристрій чи теплоносій, в залежності від типу системи.

Точна орієнтація робочих поверхонь системи на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної ефективності. При цьому завдання трекера – зменшити кут падіння сонця на робочу поверхню сонячних панелей (PV – модуль, CPV – концентрованих фотоелектричних модулів, CSP систем, HSPV систем, параболічних відбивачів і тд.)

### 1.3 Огляд систем управління актуаторами трекерів

#### 1.3.1 Управління за допомогою декількох фотоприймачів

Загальна схема трекера на фотоелементах наведена на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Трекер на фотоелементах

Даний пристрій розроблено на основі фотодіодів. Протягом дня, освітленість діодів змінюється, за рахунок руху Сонця зі сходу на захід. Даний пристрій, моніторить освітленість фотодіодів, і відправляє керуючі сигнали на



актуатор до того часу, поки освітленість всіх фотоелементів не буде однаковою. Актуатор, рухає панель зі сходу на захід, повторюючи денний цикл.

Таким чином, платформа з панеллю рухатиметься за Сонцем протягом дня, а після настання темної пори доби, система переходить в режим очікування. Перевагою такого методу є економічність типових схем даних пристроїв. Недоліком – погіршення роботи фотоприймачів при їх забрудненні.

Найпростіша типова схема пристрою стеження за рухом сонця (SolarTracker) наведена на рис. 1.6.

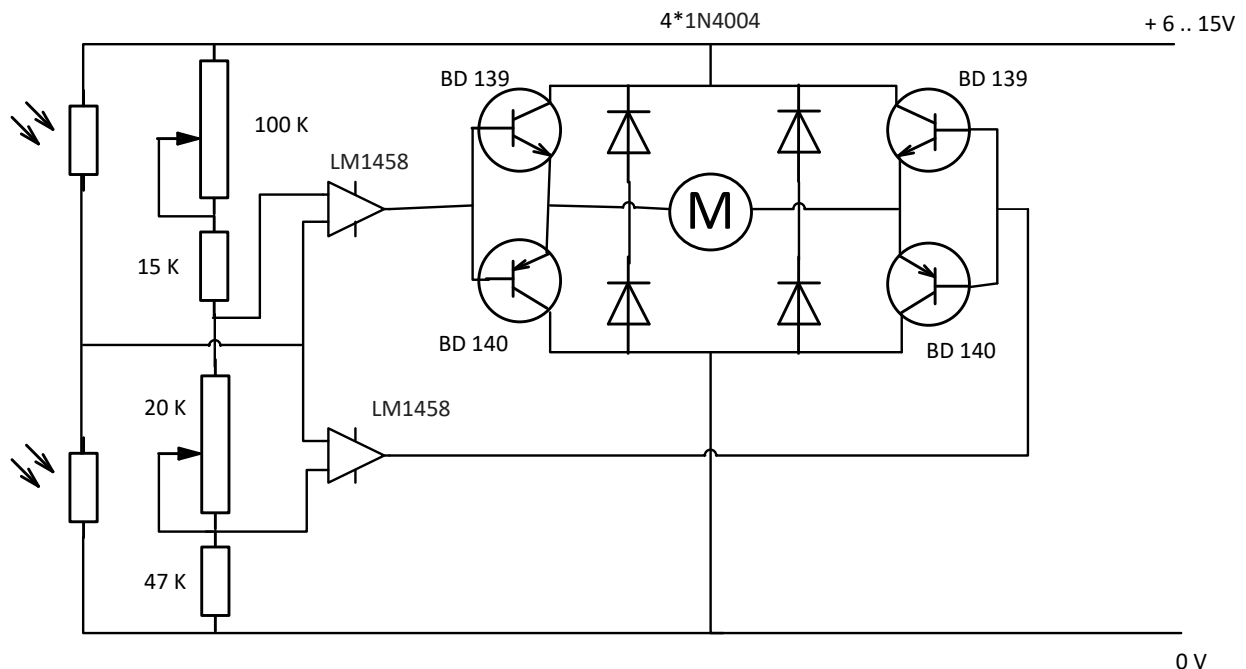


Рисунок 1.6 – Схема пристрою стеження на фоторезисторах

В склад схеми трекера входять:

- електричний двигун актуатора М;
- мікросхема операційного підсилювача LM1458 (К140УД20);
- транзистори BD139 (КТ815Г, КТ961А) і BD140 (КТ814Г, КТ626В);
- фоторезистори LDR;
- діоди 1N4004 (КД243Г);
- прості й підстроювальні резистори.

### 1.3.2 Управління згідно азимутальних і zenітних кутів.

Ідея роботи таких пристроїв заснована на тому, що для правильного позиціонування сонячних панелей, потрібно компенсувати два переміщення Землі:

- добове переміщення, пов'язане з обертанням Землі навколо своєї осі;
- річне переміщення, пов'язане з обертанням Землі навколо Сонця.

Для реалізації такої ідеї, на системах застосовують таймер. Він налаштовується на добу, або річну програму. Двигун повертає панель, згідно прогнозованого положення Сонця у певний час. Даний метод має великий недолік, оскільки Сонце протягом року змінює zenітний кут, місця сходу та заходу, тому забезпечити високу точність доволі складно [4].

### 1.3.3 Спосіб управління за програмою розрахунку місця розташування Сонця

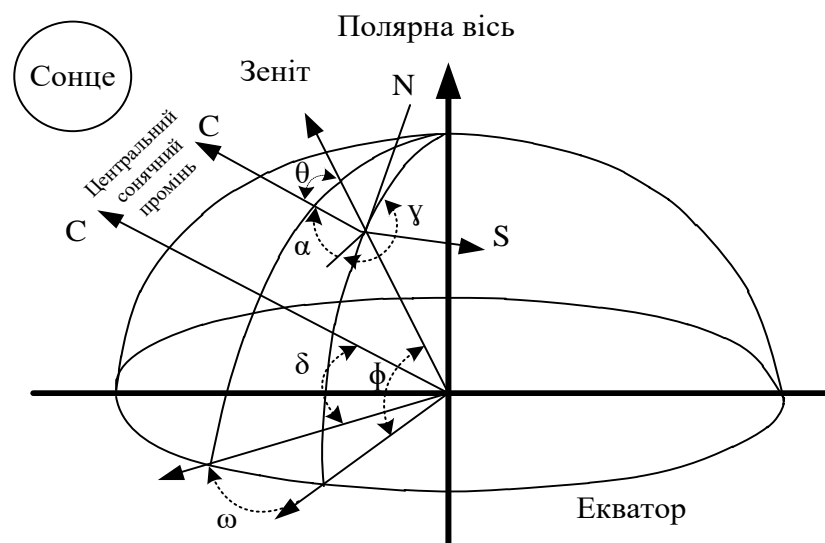


Рисунок 1.7 – Схема визначення положення сонця за азимутом і zenітним кутом.

Даний метод вважається найбільш раціональним. Програма отримує інформацію про величину азимута та zenітного кута, після чого передає її на блок керування. В цьому методі автоматично враховується географічне

положення трекера, тобто його координати (довгота, широта та висота над рівнем моря). Виходячи з цього алгоритму, програма розраховує необхідне положення, після спрямовуються керуючі сигнали на поворотний механізм, який це положення змінює, в разі необхідності

#### **1.4 Механізми повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів**

Механізм нахилу дозволяє використовувати такі системи стеження в будь-яких географічних широтах: при встановленні сонячних батарей в місцевості, яка відповідає 320 градусам північної широти, вісь пристрою повинна бути повернена на 320 градусів по відношенню до горизонту.

Приводи всіх механізмів системи стеження будуються на базі електродвигунів, на які і впливає система управління. Живлення електродвигунів і системи управління здійснюється від самих сонячних батарей, тому такі установки автономні.

Таким чином, схема і пристрій сонячного трекера досить прості. Природно, що в промислових масштабах використовують більш складні системи, однак подібну схему можна зібрати самостійно для побутової установки з виробництва електроенергії на основі сонячних батарей.

Інформаційна мережа містить не малу кількість готових схем і рішень з систем стеження за Сонцем. Так що, якщо виникла потреба удосконалити конструкцію сонячних батарей і підвищити їх продуктивність, завжди є можливість зробити це самостійно.

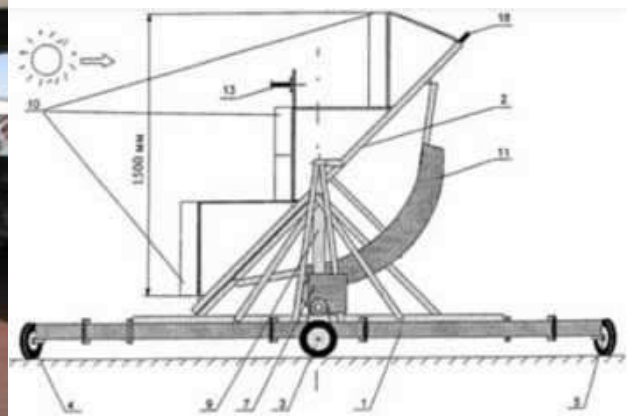
#### **1.5 Огляд існуючих фотоелектричних енергоустановок спостереження за Сонцем**

Основний напрямок підвищення енергетичної ефективності АСК ТП вироблення електричної енергії АФЕУ – це створення і використання двокоординатної системи стеження АФЕУ за Сонцем, яка забезпечує підвищення енергетичної ефективності не менше ніж на 30 – 50% [1] в

порівнянні з енергетичними установками, які не мають систем стеження за Сонцем.

В даний час виробництвом фотоелектричних енергоустановок зі спостереженням за Сонцем займається ряд відомих українських і зарубіжних фірм [2]: ФТІ РАН ім. А.Ф. Йоффе, MEI, Селтек (Україна), DITRAS (Україна), Sunpower (США), Konza Portable Solar Trackers (США), Gintech (Китай), Canadian Solar (Канада), Motech (Тайвань), First Solar (США), Yingli Green Energy (Китай), Titan tracker (Іспанія), SUNPOWER20 TRACKER (США), Merlin Power Systems (США), Eco- \$ mart, Inc (США), TRAXLE (Чеська республіка) та інші.

В установках ФТІ РАН ім. А.Ф. Йоффе (Росія) використовується спеціально розроблений датчик положення Сонця, що забезпечує точність стеження 1 градуса. Площа встановлення панелей 5,54 м<sup>2</sup>. Застосовуються індивідуально розроблені сонячні концентраторні модулі з пристроями стеження за Сонцем. Сонячні концентраторні модулі містять лінзи Френеля і каскадні фотоперетворювачі, розташовані в фокусі кожної з лінз. Сонячні елементи розташовуються в фокусі лінз Френеля і монтуються на мідну основу, закріпленій на тильній скляній пластині. У фотоелектричній установці (рис. 1.1,а) модулі розташовані східчато на електронно-механічній системі стеження.



а

б

Рисунок 1.8 - Енергетичні установки ФТІ РАН ім. А.Ф. Йоффе

Фірма Konza Portable Solar Trackers (США) [3] займається випуском сонячних енергетичних установок, які можуть перевозитися. На рисунку 1.9 наведена фотографія енергетичної установки. Стеження здійснюється по датчику положення Сонця.



Рисунок 1.9 - Енергетична установка фірми Konza Portable Solar Trackers

На рисунку 1.10 наведені фотографії енергетичних установок фірми Селтек [4]. На установці можна розташувати сонячні батареї площею до  $6 \text{ м}^2$ . В системі стеження використовуються електроприводи постійного струму, контролер стеження і датчики положення Сонця. Точність спостереження (наведення) 1 градус. При вазі СБ більше 50 кг необхідно встановлювати противаги, що збільшує витрати енергії на стеження.



*a*



*б*

Рисунок 1.10 - Енергетичні установки фірми Селтек

На рисунку 1.11 наведена фотографія енергетичної установки фірми DITRAS [5]. В установці фірми DITRAS використовується датчик положення Сонця і забезпечується точність стеження до 1 градуса. В системі передбачена можливість нарощування кількості СБ.

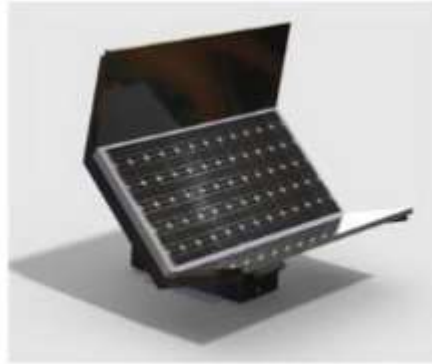


Рисунок 1.11 - Енергетична установка фірми DITRAS

На рисунку 1.12 наведена фотографія енергетичної установки фірми Titan tracker (Іспанія) [6]. В установці Titan tracker використовується велика кількість сонячних панелей (загальною площею до 216 м<sup>2</sup>). Стеження виконується по двох осях. Про мінімізацію енергоспоживання під час стеження не повідомляється, невідомий тип двигуна.



Рисунок 1.12 - Енергетична установка Titan tracker (Іспанія)

На рисунку 1.13 наведена фотографія енергетичної установки фірми SUNPOWER20 TRACKER (США) [7].

Фотоелектрична енергетична установка монтується під кутом нахилу або горизонтально. Відстеження положення Сонця здійснюється по одній осі. На одній горизонтальній осі розміщується 9 модулів, що складаються з 128 осередків, або 12 модулів, що складаються з 96 осередків.



Рисунок 1.13 - Енергетична установка фірми SUNPOWER20 TRACKER

Фірма Merlin Power Systems (США) [8] займається випуском сонячних енергетичних установок, що відрізняються тим, що вони мають підставу у вигляді регульованої по висоті триноги, що дозволяє легко встановлювати конструкцію в будь-яких умовах. Мобільність і швидка збірка установки дозволяють задовольнити потреби військової техніки, використовувати в місцях стихійних лих. Установки можуть бути підключені паралельно або послідовно і використовуватися в гібридних системах. На рисунку 1.14 наведена фотографія сонячної енергоустановки фірми Merlin Power Systems.



Рисунок 1.14 - Сонячна установка фірми Merlin Power Systems

У Малайзійському університеті (University Malaysia Sarawak (UNIMAS), Sarawak, Malaysi) розроблена сонячна установка [9] з однією сонячною панеллю. На рисунку 1.15 наведена фотографія сонячної енергоустановки. В установці використовується система стеження, яка містить лінійні механізми переміщення. Стеження здійснюється по заздалегідь заданій траєкторії.



Рисунок 1.15 - Сонячна установка University Malaysia Sarawak

В Чеській республіці фірми TRAXLE розроблена сонячна фотоелектрична установка [10] з вісімнадцятьма СБ, в системі стеження якої використовується лінійний механізм переміщення. Стеження здійснюється по одній координаті за допомогою датчика положення Сонця. На рисунку 1.16 наведена фотографія сонячної енергоустановки.



Рисунок 1.16 - Сонячна енергетична установка фірми TRAXLE



У фірмі Eco- \$ mart, Inc (США) розроблено різні сонячні фотоелектричні установки [11]. На рисунку 1.17 наведені фотографії використаних сонячних енергоустановок (одно- і двокоординатні системи стеження установок на Сонці). Типи використаних двигунів і датчиків положення Сонця не вказані.

У АФЕУ розрізняють конструкції на основі наногетероструктурних фотоперетворювачів і концентраторів випромінювання (сонячних концентраторних модулів), фотоелектричних панелей, фотоелектричних панелей в поєднанні з плоскими дзеркальними концентраторами та інші.



а



б

Рисунок 1.17 - Сонячні енергетичні установки фірми Eco- \$ mart, Inc

В таблиці 1.3 наведені технічні характеристики сонячних енергоустановок кількох фірм. Причому деякі важливі технічні характеристики сонячних енергоустановок не вказуються в технічній документації зарубіжних фірм. З проведеного аналізу технічних характеристик АФЕУ (див. Таблиця 1.3) випливає, що при створенні АФЕУ використовуються різні типи двокоординатних електромеханічних виконавчих механізмів, в тому числі з двигунами постійного струму (ДПС), з двигунами змінного струму, з кроковими двигунами, з синхронно-реактивними двигунами, а також з лінійними двигунами. В якості силового перетворювача використовуються тиристорні і транзисторні перетворювачі, в тому числі перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на

польових або IGBT-транзисторах. Для отримання хороших статичних і динамічних характеристик застосовують багатоконтурні системи управління з різними регуляторами положення, швидкості і струму. Для забезпечення високої точності стеження використовуються багато-розрядні датчики положення, високоточні датчики положення Сонця, а також багатодвигунні системи для компенсації люфта редуктора.

Таблиця 1.3 Технічні характеристики сонячних енергоустановок

Характеристика	Установка ФТІ ім. А.Ф.Йоффе	Установка фірми Селтек	Установка фірми DITRAS	Установка Titan tracker(Іспанія)	Установка фірми TRAXLE
Кути переміщення по азимуту і по куту місця, град.	По азимуту – 360град., по куту місця – 90 град.	По азимуту – 180град., по куту місця – 70 град.	По азимуту – 360град., по куту місця – 90 град.	По азимуту – 360град., по куту місця – 75 град.	По азимуту – 360град., по куту місця – 90 град.
Тип виконавчого двигуна	Не вказано	Постійного струму	Не вказано	Не вказано	Постійного струму
Точність стеження, град.	1	1	1	0,01	Не вказано
Вихідна потужність, кВт; площа ФП, м <sup>2</sup>	Концентраторні модулі, площа 5,54 м <sup>2</sup>	Площа до 6 м <sup>2</sup>	Потужність 0,3 кВт, Площа 2 м <sup>2</sup>	Площа до 216 м <sup>2</sup>	Площа до 45 м <sup>2</sup>
Система стеження за Сонцем	Безперервна, по датчику ФЕП	Безперервна, по датчику положення Сонця	Безперервна, по датчику положення Сонця	Безперервна, по датчику положення Сонця	Не вказано

## 1.6 Вимоги до систем стеження автономних фотоелектричних енергетичних установок як об'єкта АСК ТП і основні напрямки дослідження

Аналіз відомих технічних рішень в області АФЕУ [2] показує, що для найбільш ефективного виробництва електричної енергії за допомогою СБ необхідно створювати АСУ стеження за Сонцем при мінімізації витрат електричної енергії на управління і стеження.

Для створення енергетично ефективною наземної автономної системи АФЕУ потужністю 3-5 кВт необхідно сформулювати основні вимоги до АСУ стеженням АФЕУ за Сонцем, а саме: 1 до необхідної точності стеження АФЕУ на Сонце; 2 до датчиків положення Сонця; 3 до мікропроцесорної системи управління двокоординатним електромеханічним виконавчим механізмом стеження; 4 до двокоординатної механічної системи переміщення.

Визначена необхідна точність стеження АФЕУ за Сонцем для забезпечення мінімальних втрат енергії, що виробляється СБ. Відносна величина втрат енергії  $\Delta E$  в залежності від помилок стеження по азимуту і куту місця визначається за такою формулою:

$$\Delta E = 1 - \cos \Delta \alpha \cdot \cos \Delta \beta$$

де  $\Delta \alpha$  – помилка стеження по азимуту;  $\Delta \beta$  – помилка стеження за кутом місця.

У таблиці 1.2 наведені втрати енергії від СБ при різній точності стеження сонячних батарей за Сонцем.

Таблиця 1.4 Втрати енергії від СБ при різній точності стеження

Помилка під час стеження СБ за Сонцем, градус	0,5	1	2	3	4	5
Втрати енергії від СБ під час стеження, %	0,0076	0,03	0,12	0,27	0,48	0,76

На рисунку 1.18 показаний графік втрат енергії від похибки стеження.

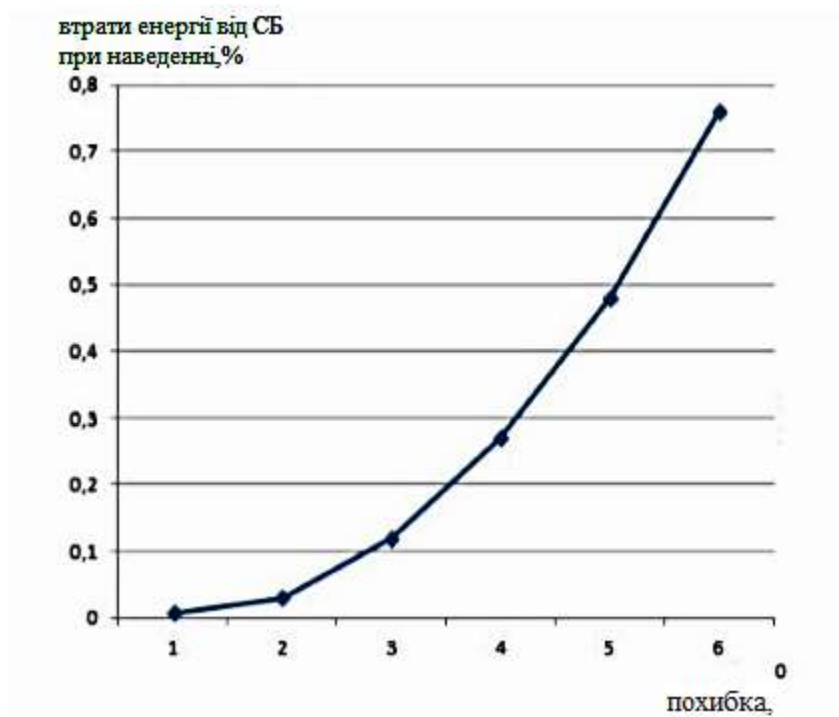


Рисунок 1.18- Графік втрат енергії від помилки стеження

З таблиці 1.18 видно, що зменшувати помилку (підвищувати точність) менше одного градуса при спостереженні СБ за Сонцем немає необхідності, так як підвищення точності до 0,5 градуса забезпечує несуттєве зменшення втрати потужності за рахунок помилки стеження (зменшення втрати енергії від СБ на 0,0224%).

Технічні вимоги, що представленні системою АФЕУ до датчика положення Сонця, такі:

- виконання двокоординатної (по азимуту і кута місця), причому датчик повинен бути виготовлений відразу як двокоординатний для виключення неточності за координатами (помилки) при установці під час монтажу системи стеження і для забезпечення однакової температури у вимірювальних фотоелементах датчика;

- наявність режиму вимірювання освітленості датчиком при зміні інтервалу освітленості не менше ніж 1:10 (для можливості стеження СБ за Сонцем при зменшенні освітленості в 10 разів);

- чутливість датчика не менше 0,25 градуса за положенням по обох координатах для забезпечення точності стеження в 1 градус;

- визначення з урахуванням чутливості датчика і діапазону зміни освітленості заданої розрядності АЦП(аналого-цифровий перетворювач) спеціалізованого контролера стеження виходячи з режиму регулювання (для забезпечення заданої точності стеження);

- мінімальні габарити, простота виготовлення і мінімальна вартість датчика. [20]

Технічні вимоги АСК стеження, що представлені до конструкцій АФЕУ, автоматизованої системи управління, мікропроцесорної системи управління електромеханічним виконавчим механізмом установки, такі:

- задана точність спостереження СБ на Сонце має бути менше одного градуса за положенням;

- механічна конструкція і автоматизоване управління системою АФЕУ повинні забезпечувати розворот рами з СБ на 270 градусів по азимуту і 90 градусів за кутом місця;

- мікропроцесорна АСК стеження повинна забезпечувати багатофункціональність роботи: режим автоматичного стеження за Сонцем; режим ручного наведення на Сонце (для пусконаладжувального режиму); режим управління стеженням за Сонце від зовнішнього комп'ютера з контролем і управлінням параметрами позиційної системи стеження;

- АСК стеження повинна мати безперервну самодіагностику: діагностику всієї системи; діагностику силового драйвера КД і самого КД; діагностику контролера заряду акумуляторної батареї; повинен проводитися безперервний

опитування кінцевих вимикачів; повинна бути забезпечена передача інформації оператору при аварійному стані системи;

- повинна бути забезпечена мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом установки під час стеження АФЕУ за Сонцем;

- двокоординатний електромеханічний виконавчий механізм АФЕУ повинен забезпечувати задані режими переміщення (стеження) по обох координатах, в тому числі при дії значного вітрового навантаження;

- швидкодія і розрядність мікроконтролера, розрядність вхідного АЦП мікроконтролера, необхідну кількість входів - виходів контролера стеження повинні забезпечувати управління по двох координатах одночасно із заданою точністю стеження і можливість підключення зовнішнього комп'ютера і блоку зв'язку з GPRS;

- зовнішній комп'ютер повинен забезпечувати: контроль параметрів переміщення по азимуту і кута місця; завдання параметрів обмежень по швидкості, прискоренні і ривка в траєкторії переміщення; завдання параметрів нелінійного струму в двигуні; завдання параметрів в алгоритмі управління стеженням при використанні датчика положення Сонця (зовнішній комп'ютер може використовуватися в режимі пуско-налагодження);

- в АСК стеження повинна бути передбачена можливість переведення рами з СБ в горизонтальне (захисне) положення при ураганних вітрах, при цьому зв'язок в контролері стеження повинна бути по GPRS від МНС або іншого аварійного розповсюджувача інформації;

- апаратура, закріплена на рамі фотоелектричної енергоустановки (двигуни, датчики, кінцеві вимикачі, редуктори), повинна бути захищена від зовнішніх впливів і витримувати перепад температур від  $-40$  до  $+70$  °С. [20]

## 1.7 Аналіз структур й математичне забезпечення існуючих слідкуючих систем

Одним з найважливіших пристроїв геліостанції є привод слідкуючих систем позиціонування, який орієнтує панелі геліостанцій на напрям сонячного випромінення і, своєю роботою, забезпечує до 40% отриманої енергії (рис. 1.15).

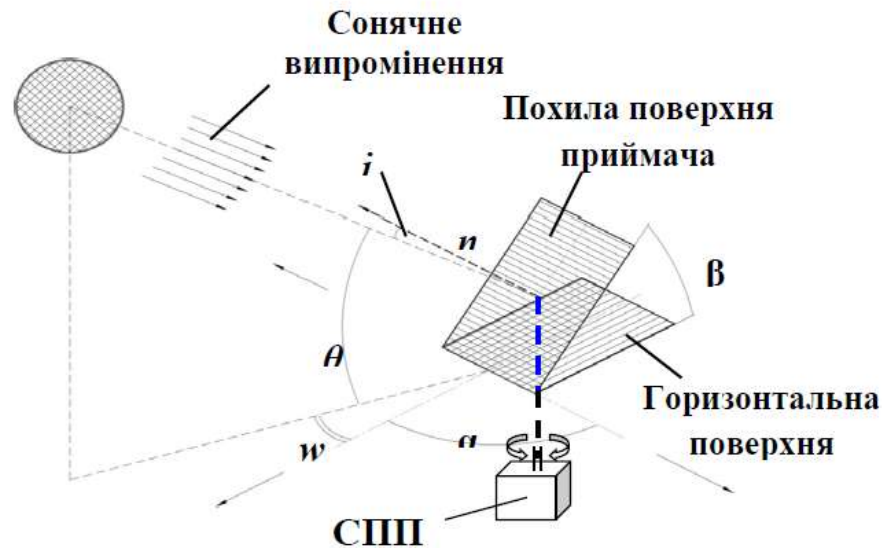


Рисунок 1.19 – Принципова схема дії приводу позиціонування приймача:

$i$  – кут падіння сонячних променів на поверхню приймача;  $\theta$  – кут склоніння сонця;  $\alpha$  – азимутальний кут орієнтації приймача;  $w$  – кутове відхилення що має відпрацьовувати слідкуючий привод; СПП – система приводу позиціонування приймача (трекер).

В системах позиціонування приймачів використовуються силові системи пристроїв до складу яких входять електричні двигуни, електромеханічні передачі лінійного переміщення та повороту (мотор-редуктори), пневматичні та гідравлічні приводи, та інші виконавчі пристрої, які утворюють слідкуючі системи геліостанцій або трекари [188, 19, 20].

Питанням дослідження і підвищення ефективності відбору сонячної енергії приймачами займаються вчені та інженери різних країн світу, серед них: Т. Грант,



С. Калогіроу, Н. Барсум, П. Рот, М. В. Харченко, М. М. Мхітарян, С. В. Андреев, Р. Б. Ахмедов, Є. Є. Волков та інші.

Особливості структури, складу та функцій приводів позиціонування панелей геліостанцій є наслідком суперпозиції режимів їх експлуатації, умов використання та енергетичної доцільності. Перелічені фактори набувають додаткової ваги для автономних геліостанцій. Основними з таких факторів є відсутність резервних джерел енергії і тривалі періоди відсутності сонячного випромінення, неможливість технічного обслуговування впродовж всього експлуатаційного циклу, підвищенні вимогами до надійності з урахуванням змін сезонних умов експлуатації (температури, вологості, опадів та ін.).

В загальному випадку система позиціонування розробляється індивідуально з врахуванням витрат енергії на керування, спостереження і позиціонування, що призводить до необхідності збільшення кількості панелей для компенсації власних енергопотреб геліостанції. Окрім того, це призводить до зростання масогабаритних показників приймача, площі установки станції та вартості системи позиціонування [21, 22]. Наслідком вказаного є обмеження функціональних можливостей і енергетичного потенціалу геліостанцій.

В більшості електромеханічних приводів позиціонування приймачів застосовують мотор-редуктори постійного струму (вхідна напруга 12 і 24В; струм до 10А; потужність до 1 кВт) при цьому момент на вихідному валу досягає 600 Н·м при частоті обертання 1150 об/хв. [21, 24].

Для застосування електромеханічних приводів необхідні додаткові джерела електроенергії для систем позиціонування, систем керування, систем спостереження [35, 36]. Для визначення надійності та ефективності використання приводів відомих систем позиціонування приймача геліостанції при експлуатації на автономних об'єктах необхідно провести аналіз їх структури.

У багатьох випадках слідуючі електроприводи будуються за принципом підлеглого регулювання на основі двигунів постійного струму, колекторних або вентильних. Функціональна схема приводу представлена на рис. 1.16, де позначено: РП - регулятор положення; РС - регулятор швидкості; РТ - регулятор струму; Д - двигун; ОР - об'єкт регулювання; ДП, ДС, ДТ - датчики відповідно положення, швидкості і струму.

Як видно з малюнка електропривод містить три контури регулювання: положення, швидкості і струму. Внутрішні контури регулювання (швидкості і струму) будуються також, як і для систем регулювання швидкості. Зовнішній контур містить датчик положення об'єкта відносно базової системи координат. Це може бути датчик кутового положення (сельсин, обертальний трансформатор та ін.) Або будь-який датчик лінійного переміщення. Сигнал з виходу ДУ порівнюється з керуючим сигналом  $U_0$ , що визначає положення об'єкта. За результатом порівняння РП - виробляється сигнал  $U_{pc}$  регулювання швидкості, який, в кінцевому рахунку, забезпечує обертання двигуна і переміщення ОР - на заданий кут або відстань. [26]

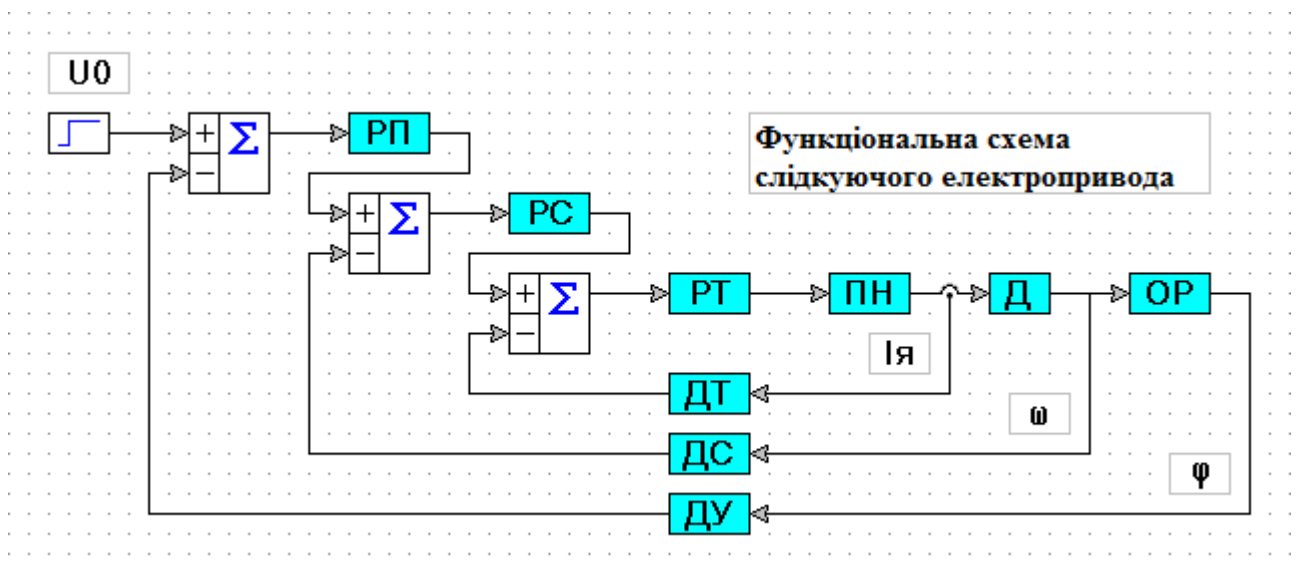


Рисунок 1.20 – Функціональна схема слідуючого електропривода

У слідкуючому електроприводі розрізняють два режими роботи: позиціонування і стеження.

У режимі позиціонування привід повинен забезпечити переміщення робочого органу з одного початкового положення в інше за час не більше заданого. При цьому траєкторія руху найчастіше не має значення, хоча іноді можуть висуватися вимоги по монотонності перехідного процесу, тобто відсутності перерегулювання. У багатьох випадках в режимі позиціонування висувуються жорсткі вимоги до точності підтримки робочого органу в заданому положенні при наявності зовнішніх збурень.

У режимі стеження привід повинен забезпечити переміщення робочого органу згідно з керуючим впливом, що змінюються за довільним законом, при похибці, що не перевищує заданого значення.

У загальному випадку якість електроприводу оцінюється по точності позиціонування або стеження, запасу стійкості і стійкості до різних чинників.

На сьогодні стосовно сонячних електростанцій застосовуються обидва варіанта. Якщо використовується актуатор працює в кроковому режимі, тоді найбільш доцільно забезпечити перший варіант. Якщо необхідно безперервне стеження за траєкторією руху Сонця, то відповідно потрібен другий варіант.

## **1.8 Система управління сонячними панелями за траєкторією сонця для їх енергоефективності**

При проектуванні і створенні автономної фотоелектричної енергетичної установки повинна вирішуватися задача забезпечення максимального вироблення електричної енергії СБ шляхом розробки автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСК ТП) виробництва електричної енергії АФЕУ. Це можливо за допомогою вискоефективного управління

фотоелектричною установкою, для чого необхідна розробка АСК стеження СБ за Сонцем і екстремального регулятора заряду акумуляторної батареї. АСК стеження за Сонцем повинна забезпечувати: максимальний відбір потужності з одиниці площі сонячної батареї; мінімальне споживання потужності електромеханічними виконавчими механізмами під час стеження за Сонцем; зміну положення рами з СБ в АФЕУ по зовнішнім сигналам.

Проектом передбачається організація сонячної електростанції з використанням системи управління поворотним механізмом для збільшення продуктивності енергосистем, орієнтуючи робочу поверхню на Сонце.

Сьогодні багато хто називає сонячну енергію енергією майбутнього, і багато компаній вкладають значні інвестиції в будівництво таких електростанцій. Ми спробуємо розібратися в комерційних перспективах цього ринку, визначити розміри інвестицій та окупність проекту. Сучасні сонячні батареї в змозі працювати без додаткових капіталовкладень десятки років і, з нашої точки зору, в довгостроковій перспективі електроенергія, згенерована таким чином, стане не просто рентабельною, а надприбутковою [28].

### **Висновки по розділу:**

1. Провівши огляд літературних джерел, абсолютно очевидно, що проектування та реалізація системи управління фотоелектричними модулями для СЕС є необхідною, за для якісного збільшення показника енергоефективності. З ціллю економного використання електроспоживання системою керування, необхідний пошук оптимального режиму керування системою електроприводу, при цьому потрібно прагнути забезпечити щонайбільший коефіцієнт крисної дії СФЕС. Застосування методу крокового «переслідування» систмою руху Сонця, дозволяє оптимізувати процес наведення панелей під оптимальним кутом відносно променів. Пошукові системи управління мають ряд переваг, таких як:

високе значення точності наведення, при використанні відносно невеликої кількості датчиків, при цьому немає значних обмежень при виборі двигуна.

2. Проаналізувавши в літературних джерелах структуру та конструктивні особливості існуючих СФЕС із системами стеження за рухом Сонця, було сформовано вимоги до систем стеження автономних фотоелектричних енергоустановок, що представлені в пункті 1.6.

3. Проаналізувавши літературні джерела доходимо до висновку, що для автономних фотоелектричних енергоустановок, найбільш оптимальним рішенням, з точки зору економії коштів та терміну служби обладнання, є застосування крокового двигуна, в системах приводу.

4. Для підвищення механічної стійкості подібних установок, проти сильних вітрів чи буревіїв, рекомендується встановлення анемометра, який контролював би значення швидкості вітру, при критично допустимому значенні, система керування фотомодулем, встановлюватиме його в положення паралельно до землі. Що значно зменшує площу опору потоку повітря, а відповідно і механічну стійкість конструкції.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЩО ПОТРАПЛЯЄ НА ПОВЕРХНЮ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.

Для початку розрахуємо сонячний час для Вінниці. Для цього потрібно звернути увагу на ЕОТ для кожного з усіх місяців протягом року, для розрахунків візьмемо перший день кожного місяця. Так як розрахунки ЕОТ не залежать від місця розташування фотомодулів, використаємо таблиці, що є у вільному доступі., це значно спростить розрахунок.

Таблиця 2.1 - Значення ЕОТ в залежності від місяця [30]

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
ЕОТ	3,4	13,6	12,5	4,1	-2,9	-2,4	3,6	6,3	0,2	-10,1	-16,4	-11,2

### 2.1 Докладний розрахунок прямого сонячного потоку для міста Вінниця

Відповідно формулі 2.1 залежність сонячного часу та місцевого часу має вигляд:

$$T_s = T_1 - \frac{EOT}{60} - P - L_c \quad (2.1)$$

Де  $T_1$  - місцевий час,  $P = 0$  для місяців з листопада по березень, та  $P = 1$  для місяців з квітня по жовтень (так як розрахунок проводиться для першого дня місяця). [29]

Відповідно формулі 2.2

$$L_c = M \cdot \delta / 15 \quad (2.2)$$

Де  $M.d$  - місцева довгота. Для міста Вінниці місцева довгота рівна 28,27 східної довготи[29].

$$L_c = \frac{28,27}{15} = 1,88$$

Після проведення попередніх обрахунків, можемо розрахувати  $T_s$  для кожного місяця

$$T_{s1} = 12 - \frac{3,4}{60} - 0 - 1,88 = 10,063$$

$$T_{s2} = 12 - \frac{13,6}{60} - 0 - 1,88 = 9,9$$

$$T_{s3} = 12 - \frac{12,5}{60} - 0 - 1,88 = 9,91$$

$$T_{s4} = 12 - \frac{4,1}{60} - 0 - 1,88 = 10,05$$

$$T_{s5} = 12 - \frac{3,4}{60} - 1 - 1,88 = 9,063$$

$$T_{s6} = 12 + \frac{2,9}{60} - 1 - 1,88 = 9,17$$

$$T_{s7} = 12 + \frac{2,4}{60} - 1 - 1,88 = 9,16$$

$$T_{s8} = 12 - \frac{3,6}{60} - 1 - 1,88 = 9,06$$

$$T_{s9} = 12 - \frac{0,2}{60} - 1 - 1,88 = 9,11$$

$$T_{s10} = 12 + \frac{10,1}{60} - 1 - 1,88 = 9,28$$

$$T_{s11} = 12 + \frac{16,4}{60} - 0 - 1,88 = 10,39$$

$$T_{s12} = 12 + \frac{11,2}{60} - 0 - 1,88 = 10,3$$

Отримані значення заносимо в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 - Значення дійсного сонячного часу в залежності від місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$T_s$	10,063	9,90	9,91	10,05	9,063	9,17	9,16	9,06	9,11	9,28	10,39	10,3

Далі необхідно провести розрахунок місцевого часового кута. Згідно формулі 2.2 значення місцевого часового кута лінійно залежить від місцевого дійсного сонячного часу, і визначається за формулою:

$$\tau = 15 \cdot (12 - T_s) \quad (2.3)$$

За даною формулою проведемо розрахунок для кожного місяця:

$$\tau_1 = 15 \cdot (12 - 10,063) = 29,055^\circ$$

$$\tau_2 = 15 \cdot (12 - 9,90) = 31,5^\circ$$

$$\tau_3 = 15 \cdot (12 - 9,91) = 31,35^\circ$$

$$\tau_4 = 15 \cdot (12 - 10,05) = 29,25^\circ$$

$$\tau_5 = 15 \cdot (12 - 9,063) = 44,05^\circ$$

$$\tau_6 = 15 \cdot (12 - 9,17) = 42,45^\circ$$

$$\tau_7 = 15 \cdot (12 - 9,16) = 42,6^\circ$$

$$\tau_8 = 15 \cdot (12 - 9,06) = 44,1^\circ$$

$$\tau_9 = 15 \cdot (12 - 9,11) = 43,35^\circ$$

$$\tau_{10} = 15 \cdot (12 - 9,28) = 40,08^\circ$$

$$\tau_{11} = 15 \cdot (12 - 10,39) = 24,15^\circ$$

$$\tau_{12} = 15 \cdot (12 - 10,3) = 25,5^\circ$$



Таблиця 2.3 – Значення місцевого часового кута для кожного місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$\tau^\circ$	29,055	31,5	31,35	29,25	44,05	42,45	42,6	44,1	43,45	40,08	24,15	25,5

Визначимо кут нахилу сонця. Даний кут залежить від обертання землі навколо сонця, так як орбіта обертання має еліптичну форму, а вісь є похилою, тому кут змінюється протягом року від  $23,5^\circ$  до  $-23,5^\circ$ . Кут має значення  $0^\circ$  двічі на рік, в дні весняного та осіннього сонцестояння, а максимального та мінімального значення досягає в дні літнього та зимового сонцестояння відповідно. Його можна визначити скориставшись формулою [29].

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (81 - d)\right) \quad (2.4)$$

Де  $d$  – порядковий номер дня в році. Порядкові номери першого дня всіх місяців:

Таблиця 2.4 – Порядковий номер кожного першого дня місяця [30].

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$d$	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

$$\delta_1 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (1 - 81)\right) = -23,218^\circ$$

$$\delta_2 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (32 - 81)\right) = -17,918^\circ$$

$$\delta_3 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (60 - 81)\right) = -8,6^\circ$$

$$\delta_4 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (91 - 81)\right) = 4,137^\circ$$

$$\delta_5 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (121 - 81)\right) = 15,279^\circ$$

$$\delta_6 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (152 - 81)\right) = 22,348^\circ$$

$$\delta_7 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (182 - 81)\right) = 22,959^\circ$$

$$\delta_8 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (213 - 81)\right) = 16,952^\circ$$

$$\delta_9 = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (244 - 81)\right) = 5,978^\circ$$

$$\delta_{10} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (274 - 81)\right) = -6,351^\circ$$

$$\delta_{11} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (305 - 81)\right) = -17,218^\circ$$

$$\delta_{12} = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (335 - 81)\right) = -22,945^\circ$$

Таблиця 2.5 – Кут нахилу Сонця для кожного місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$\delta^\circ$	-23,2	-17,9	-8,53	4,14	15,18	22,35	22,95	16,95	5,98	-6,35	-17,2	-22,9

Висота сонцестояння залежить від величини кута нахилу сонця, часового кута, та широти місцевості. Широта місцевості відповідає місцю знаходження фотомодулів, для прикладу будемо використовувати географічну широту міста

Вінниця, що складає  $49^\circ$  [30]. Маючи всі вищеперераховані величини, можемо розрахувати середню висоту сонцестояння для кожного місяця за формулою:

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \cdot \sin(\theta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\tau) \cdot \cos(\theta)) \quad (2.5)$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця:

$$h_{c1} = \arcsin(\sin(\delta_1) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_1) \cdot \cos(\tau_1) \cdot \cos(49)) = 11,91$$

$$h_{c2} = \arcsin(\sin(\delta_2) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_2) \cdot \cos(\tau_2) \cdot \cos(49)) = 15,68$$

$$h_{c3} = \arcsin(\sin(\delta_3) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_3) \cdot \cos(\tau_3) \cdot \cos(49)) = 23,69$$

$$h_{c4} = \arcsin(\sin(\delta_4) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_4) \cdot \cos(\tau_4) \cdot \cos(49)) = 34,2$$

$$h_{c5} = \arcsin(\sin(\delta_5) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_5) \cdot \cos(\tau_5) \cdot \cos(49)) = 34,8$$

$$h_{c6} = \arcsin(\sin(\delta_6) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_6) \cdot \cos(\tau_6) \cdot \cos(49)) = 39,56$$

$$h_{c7} = \arcsin(\sin(\delta_7) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_7) \cdot \cos(\tau_7) \cdot \cos(49)) = 39,8$$

$$h_{c8} = \arcsin(\sin(\delta_8) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_8) \cdot \cos(\tau_8) \cdot \cos(49)) = 35,7$$

$$h_{c9} = \arcsin(\sin(\delta_9) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_9) \cdot \cos(\tau_9) \cdot \cos(49)) = 29,15$$

$$h_{c10} = \arcsin(\sin(\delta_{10}) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_{10}) \cdot \cos(\tau_{10}) \cdot \cos(49)) = 21,25$$

$$h_{c11} = \arcsin(\sin(\delta_{11}) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_{11}) \cdot \cos(\tau_{11}) \cdot \cos(49)) = 19,03$$

$$h_{c12} = \arcsin(\sin(\delta_{12}) \cdot \sin(49) + \cos(\delta_{12}) \cdot \cos(\tau_{12}) \cdot \cos(49)) = 13,5$$

Таблиця 2.6 - Значення висоти сонцестояння в залежності від місяця.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$h_c$	11,91	15,68	23,69	34,2	34,8	39,56	39,8	35,57	29,15	21,25	19,03	13,5

Далі проведемо розрахунок коефіцієнту поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти сонячному променю [29]. Визначити даний коефіцієнт можна за формулою:

$$K_{ar} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{\sin(h_c)} \right) \quad (2.6)$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця:

$$K_{ar1} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,2063} \right) = 0,463$$

$$K_{ar2} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,271} \right) = 0,619$$

$$K_{ar3} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,401} \right) = 0,784$$

$$K_{ar4} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,562} \right) = 0,881$$

$$K_{ar5} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,570} \right) = 0,887$$

$$K_{ar6} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,637} \right) = 0,91$$

$$K_{ar7} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,642} \right) = 0,912$$

$$K_{ar8} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,581} \right) = 0,89$$

$$K_{ar9} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,487} \right) = 0,844$$

$$K_{ar10} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,362} \right) = 0,748$$

$$K_{ar11} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,326} \right) = 0,706$$

$$K_{ar12} = 1,1254 - \left( \frac{0,1366}{0,233} \right) = 0,539$$

Таблиця 2.7 Значення коефіцієнту поправки на повітряну масу в залежності від місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$K_{ат}$	0,463	0,619	0,748	0,881	0,887	0,91	0,912	0,89	0,844	0,748	0,706	0,539

Виконавши попередні розрахунки, ми можемо розрахувати значення отриманої кількості сонячної енергії на одиницю площі модулів, при використанні трекерних систем різних типів.

Для виконання цього обрахунку, необхідно знайти величину сонячної радіації, яку отримує фотовольтаїчна панель протягом дня. Потік прямої сонячної радіації, на поверхню, яка розташовується під кутом до ного, розраховують за формулою:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \cdot \cos\beta \quad (2.7)$$

Де  $S_{гmax}$  – кількість радіації, що надходить від Сонця на Землю. Ця величина є констатнтою, і її значення становить  $1325 \text{ Вт/м}^2$  [30], однак в розрахунках слід враховувати, що близько 30-35 відсотків енергії, відбивається від поверхні Землі, тому панелями поглинається не вся кількість сонячної енергії, прийємо значення  $S_{гmax} = 925 \text{ Вт/м}^2$ .

Використовуючи двоосеву трекерну систему відслідковування оптимального кута нахилу панелі відносно сонячних променів, кут між нормаллю поверхні панелі та сонячними променями рівний нулю, тому для даного типу системи, використаємо наступну формулу:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \quad (2.8)$$

Зробимо розрахунок для кожного місяця:

$$S_{\text{гпр}1} = 925 \cdot 0,463 = 428,3$$

$$S_{\text{гпр}2} = 925 \cdot 0,619 = 572,6$$

$$S_{\text{гпр}3} = 925 \cdot 0,748 = 691,9$$

$$S_{\text{гпр}4} = 925 \cdot 0,881 = 815$$

$$S_{\text{гпр}5} = 925 \cdot 0,887 = 820,5$$

$$S_{\text{гпр}6} = 925 \cdot 0,91 = 841,8$$

$$S_{\text{гпр}7} = 925 \cdot 0,912 = 843,7$$

$$S_{\text{гпр}8} = 925 \cdot 0,89 = 823,5$$

$$S_{\text{гпр}9} = 925 \cdot 0,844 = 780,7$$

$$S_{\text{гпр}10} = 925 \cdot 0,748 = 692$$

$$S_{\text{гпр}11} = 925 \cdot 0,706 = 653$$

$$S_{\text{гпр}12} = 925 \cdot 0,539 = 498,6$$

Таблиця 2.8 – Значення кількості отриманої сонячної енергії для панелей з двоосевою трекерною системою протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$S_{\text{гпр}}$ , Втгод/м <sup>2</sup>	428,3	572,6	691,9	815	820,5	841,8	843,7	823,5	780,7	692	653	498,6

Для одоосевої системи, при розрахунку кількості сонячної енергії необхідно враховувати кут між нормаллю поверхні панелі, та сонячними променями, тому вираз для розрахунку виглядає наступним чином:

$$S_{\text{гпр}} = S_{\text{гмак}} \cdot K_{\text{ат}} \cdot \cos(\theta - h_c) \quad (2.9)$$

В даному виразі, враховано кут нахилу сонячних панелей відносно горизонту, по вертикальній осі. Проведемо розрахунок для кожного місяця:

$$S_{\text{гпр1}} = 925 \cdot 0,463 \cdot \cos(49 - 11,91) = 337,7$$

$$S_{\text{гпр2}} = 925 \cdot 0,619 \cdot \cos(49 - 15,68) = 475,5$$

$$S_{\text{гпр3}} = 925 \cdot 0,748 \cdot \cos(49 - 23,69) = 622,5$$

$$S_{\text{гпр4}} = 925 \cdot 0,881 \cdot \cos(49 - 34,2) = 781,7$$

$$S_{\text{гпр5}} = 925 \cdot 0,887 \cdot \cos(49 - 34,8) = 788,1$$

$$S_{\text{гпр6}} = 925 \cdot 0,91 \cdot \cos(49 - 39,56) = 825,3$$

$$S_{\text{гпр7}} = 925 \cdot 0,912 \cdot \cos(49 - 39,8) = 832,5$$

$$S_{\text{гпр8}} = 925 \cdot 0,89 \cdot \cos(49 - 35,57) = 798,3$$

$$S_{\text{гпр9}} = 925 \cdot 0,844 \cdot \cos(49 - 29,15) = 733,6$$

$$S_{\text{гпр10}} = 925 \cdot 0,748 \cdot \cos(49 - 21,25) = 608,7$$

$$S_{\text{гпр11}} = 925 \cdot 0,706 \cdot \cos(49 - 19,03) = 565,7$$

$$S_{\text{гпр12}} = 925 \cdot 0,539 \cdot \cos(49 - 13,5) = 403,3$$

Таблиця 2.9 – Значення отриманої сонячної енергії для сонячних панелей з одноосевою трекерною системою протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$S_{\text{гпр}}$ , Втгод/м <sup>2</sup>	337,7	475,5	622,5	781,7	788,1	825,3	832,5	798,3	733,6	608,7	565,6	403,3

Для стаціонарної панелі, яка знаходиться під кутом відносно горизонту, розрахунок отриманої сонячної енергії виконується за формулою:

$$S_{\text{гпр}} = S_{\text{гпрmax}} \cdot K_{\text{ат}} \cdot \cos(\theta - h_c) \cdot \cos(90 - \tau) \quad (2.10)$$

За даною формулою проведемо розрахунок для кожного місяця:

$$S_{\text{гпр}1} = 925 \cdot 0,463 \cdot \cos(49 - 11,91) \cdot \cos(90 - 29,055) = 176,3$$

$$S_{\text{гпр}2} = 925 \cdot 0,619 \cdot \cos(49 - 15,68) \cdot \cos(90 - 31,5) = 257,2$$

$$S_{\text{гпр}3} = 925 \cdot 0,748 \cdot \cos(49 - 23,69) \cdot \cos(90 - 31,35) = 349$$

$$S_{\text{гпр}4} = 925 \cdot 0,881 \cdot \cos(49 - 34,2) \cdot \cos(90 - 29,25) = 406,4$$

$$S_{\text{гпр}5} = 925 \cdot 0,887 \cdot \cos(49 - 34,8) \cdot \cos(90 - 44,05) = 587,7$$

$$S_{\text{гпр}6} = 925 \cdot 0,91 \cdot \cos(49 - 39,56) \cdot \cos(90 - 42,45) = 597,3$$

$$S_{\text{гпр}7} = 925 \cdot 0,912 \cdot \cos(49 - 39,8) \cdot \cos(90 - 42,6) = 608,2$$

$$S_{\text{гпр}8} = 925 \cdot 0,89 \cdot \cos(49 - 35,57) \cdot \cos(90 - 44,1) = 595,4$$

$$S_{\text{гпр}9} = 925 \cdot 0,844 \cdot \cos(49 - 29,15) \cdot \cos(90 - 43,45) = 544,1$$

$$S_{\text{гпр}10} = 925 \cdot 0,748 \cdot \cos(49 - 21,25) \cdot \cos(90 - 40,08) = 425,3$$

$$S_{\text{гпр}11} = 925 \cdot 0,706 \cdot \cos(49 - 19,03) \cdot \cos(90 - 24,15) = 250,3$$

$$S_{\text{гпр}12} = 925 \cdot 0,539 \cdot \cos(49 - 13,5) \cdot \cos(90 - 25,5) = 188,4$$

Таблиця 2.10 – Значення кількості отриманої сонячної енергії для стаціонарної панелі протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
$S_{\text{гпр}}$ , Втгод/м <sup>2</sup>	176,3	257,2	343,4	406,1	587,7	597,3	608,2	595,4	544,1	425,3	250,3	188,4

Для того, щоб наочно продемонструвати результати проведених розрахунків, в середовищі Microsoft Excel, побудуємо графіки, по отриманих числових значеннях. На рисунку 2.1 зображено яким чином змінюється максимальна кількість отриманої фотовольтаїчними панелями, сонячної енергії папротягом року. На рисунку 2.2 зображена порівняльна гістограма



максимальної кількості отриманої сонячної енергії. Розрахунок був проведений на  $1 \text{ м}^2$ .

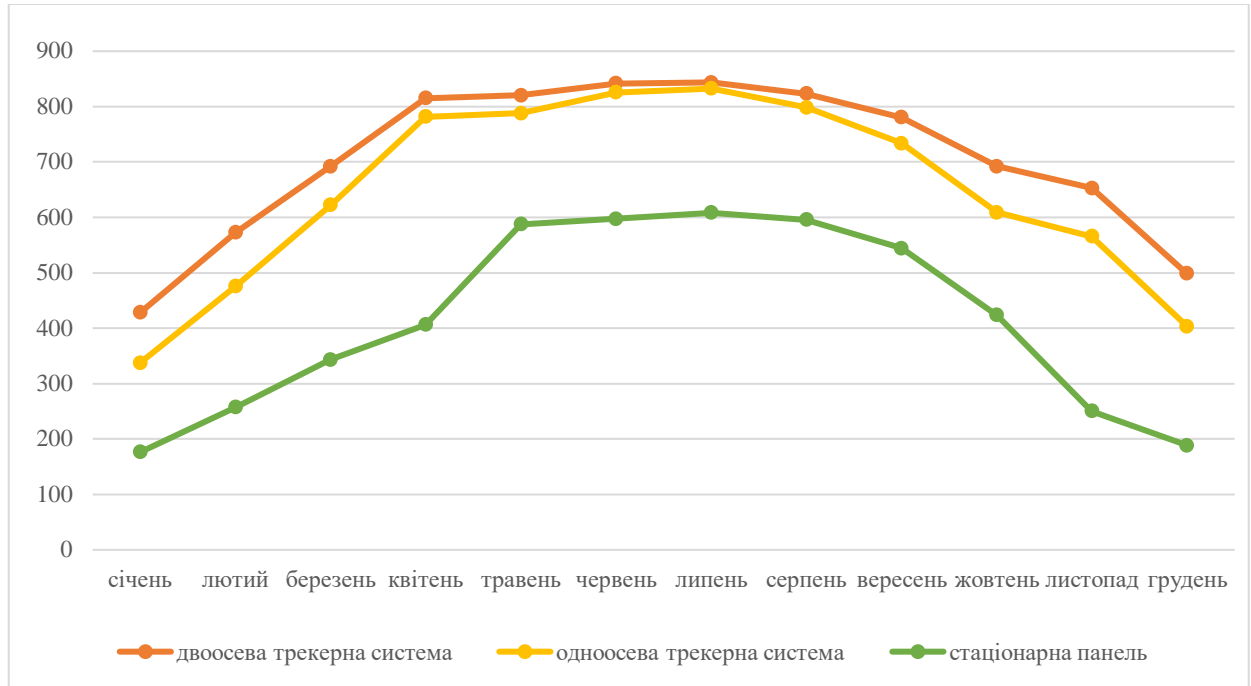


Рисунок 2.1 – Графік зміни максимальної кількості отриманої сонячної енергії протягом року, Вт год/м<sup>2</sup>

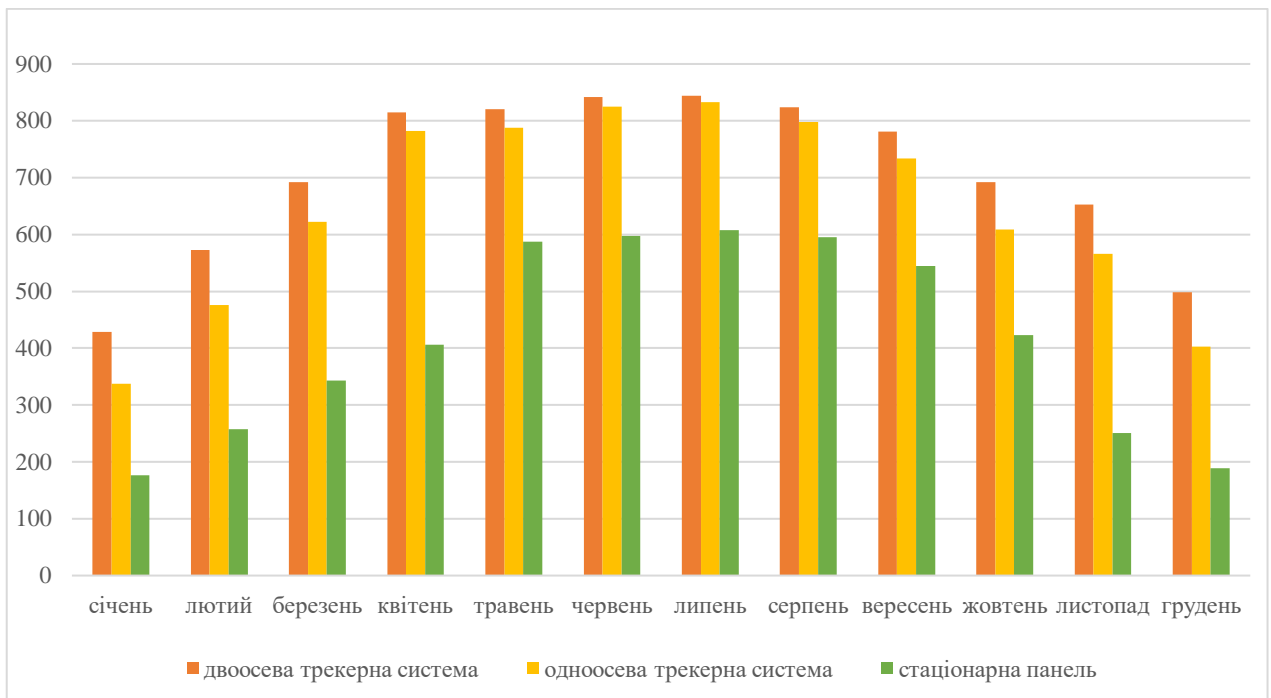


Рисунок 2.2 – Порівняльна гістограма максимальної кількості отриманої сонячної енергії протягом року, Вт год/м<sup>2</sup>

Проведемо порівняння ефективності двох типів трекерних систем, із стаціонарною панеллю, для цього виконаємо наступний розрахунок:

$$E = \frac{S_{\text{гпрд}} - S_{\text{гпрс}}}{S_{\text{гпрс}}} \cdot 100\% = \frac{8461,6 - 4997,9}{4997,9} \cdot 100\% = 68\%$$

де  $S_{\text{гпрд}}$  – значення отриманої прямої сонячної енергії для соячної панелі з двоосевою трекерною системою орієнтування,  $S_{\text{гпрс}}$  – значення отриманої прямої сонячної енергії для стаціонарної сонячної панелі.

Проведемо таке ж порівняння для сонячної панелі з одноосевою трекерною системою, та для стаціонарної сонячної панелі:

$$E = \frac{S_{\text{гпро}} - S_{\text{гпрс}}}{S_{\text{гпрс}}} \cdot 100\% = \frac{7772,8 - 4997,9}{4997,9} \cdot 100\% = 55\%$$

Також порівняємо ефективність застосування двоосевої та одноосевої трекерної системи:

$$E = \frac{S_{\text{гпрд}} - S_{\text{гпро}}}{S_{\text{гпрс}}} \cdot 100\% = \frac{8461,6 - 7772,8}{7772,8} \cdot 100\% = 9\%$$

Отримавши та проаналізувавши візуалізацію обрахунків, можна робити висновки про ефективність використання трекінгових систем для фотовольтаїчних електростанцій. Найбільшу ефективність, ми спостерігаємо у місяці з жовтня по березень, ККД, рухомих ФЕС у цей період найбільший у порівнянні зі стаціонарними. Щодо порівняння двоосевої, та одноосевої трекерних систем, слід відмітити, що їх ефективність у місяці з червня по серпень відрізняється несуттєво, проте у місяці з жовтня по березень, сумарно сонячні панелі з двоосевою трекерною системою орієнтування отримують на 17% більше сонячної енергії, протягом всього року цей показник сягає 9%. Щодо порівняння ефективності стаціонарних панелей протягом року, доходимо до висновку, стаціонарні панелі є на 55% менш ефективними у порівнянні з панелями на

одноосевій трекерній системі, та на 68% менш ефективними відносно панелей на двоосевій трекерній системі.

## 2.2 Розрахунок генерації електроенергії фотовольтаїчною електростанцією потужністю 5 кВт

Надалі розрахунки будуть проводитись для електростанції вказаної потужності. Так як витрати на подібні проекти відносно невеликі, та час на його реалізацію дозволить скористатись підвищеною ставкою зеленого тарифу.

Для даної установки будемо використовувати два різних типи панелей - монокристалічні та полікристалічні

Таблиця 2.11 – Параметри панелі типу монокристал.

Тип кристала	Монокристал Altek ALM-250M
Номинальна потужність, Вт	250
Габаритні розміри, мм	1640, 992, 40
ККД фотомодуля, %	16
Площа сонячної панелі, м <sup>2</sup>	1,627
Кількість панелей, шт	20

Таблиця 2.12 – Параметри панелі типу полікристал.

Тип кристала	Полікристал Altek ALM-250P
Номинальна потужність, Вт	250
Габаритні розміри, мм	1642, 992, 40
ККД фотомодуля, %	15,32
Площа сонячної панелі, м <sup>2</sup>	1,632
Кількість панелей, шт	20

Найпростішим методом розрахунку електрогенерування сонячних панелей, є алгоритм, згідно з яким, кількість електроенергії обраховують шляхом добутку коефіцієнту корисної дії сонячної панелі, на сонячне випромінювання, яка потрапляє на дану панель, відповідно скористаємося наступною формулою:

$$W_{\Gamma} = P_{\text{фм}} \cdot \text{ККД} \cdot S_{\text{гпр}} \cdot S_{\text{фм}} \cdot n_{\text{фм}} \quad (2.11)$$

де  $P_{\text{фм}}$  – номінальна потужність фотомодулів, ККД – коефіцієнт корисної дії фотомодулів (вказується в паспортних даних),  $S_{\text{гпр}}$  – кількість поглинутої сонячної енергії на  $\text{м}^2$ ,  $S_{\text{фм}}$  – площа фотомодуля,  $n_{\text{фм}}$  – кількість фотомодулів.

$$W_{\Gamma 1} = 250 \cdot 0,16 \cdot 428,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 557 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 2} = 250 \cdot 0,16 \cdot 572,6 \cdot 1,627 \cdot 20 = 745,3 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 3} = 250 \cdot 0,16 \cdot 691,9 \cdot 1,627 \cdot 20 = 900,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 4} = 250 \cdot 0,16 \cdot 815 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1060,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 5} = 250 \cdot 0,16 \cdot 820,5 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1068 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 6} = 250 \cdot 0,16 \cdot 841,8 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1095,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 7} = 250 \cdot 0,16 \cdot 843,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1098 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 8} = 250 \cdot 0,16 \cdot 823,5 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1072 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 9} = 250 \cdot 0,16 \cdot 780,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1016 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 10} = 250 \cdot 0,16 \cdot 692 \cdot 1,627 \cdot 20 = 900,7 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 11} = 250 \cdot 0,16 \cdot 653 \cdot 1,627 \cdot 20 = 850 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{\Gamma 12} = 250 \cdot 0,16 \cdot 498,6 \cdot 1,627 \cdot 20 = 649 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

Таблиця 2.13 – Кількість генерованої електроенергії фотовольтаїчною електростанцією з двоосевою трекерною системою, з монокристалічними панелями

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
W <sub>г.д.</sub>	557	745	900,6	1060,8	1068	1095,6	1098	1072	1016	900,7	850	649

Аналогічний розрахунок проведемо електростанції з одноосевою трекерною системою.

$$W_{г1} = 250 \cdot 0,16 \cdot 337,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 439,5 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г2} = 250 \cdot 0,16 \cdot 475,5 \cdot 1,627 \cdot 20 = 619 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г3} = 250 \cdot 0,16 \cdot 622,5 \cdot 1,627 \cdot 20 = 810,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г4} = 250 \cdot 0,16 \cdot 781,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1017,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г5} = 250 \cdot 0,16 \cdot 788,1 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1025,7 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г6} = 250 \cdot 0,16 \cdot 825,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1074,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г7} = 250 \cdot 0,16 \cdot 832,5 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1083,5 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г8} = 250 \cdot 0,16 \cdot 798,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 1039,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г9} = 250 \cdot 0,16 \cdot 733,6 \cdot 1,627 \cdot 20 = 954,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г10} = 250 \cdot 0,16 \cdot 608,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 792,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г11} = 250 \cdot 0,16 \cdot 565,6 \cdot 1,627 \cdot 20 = 736,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{г12} = 250 \cdot 0,16 \cdot 403,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 525 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

Таблиця 2.14 – Кількість генерованої електроенергії установкою з одноосевою трекерною системою, та монокристалічними панелями.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
W <sub>г.о.</sub>	439,5	619	810,2	1017,4	1025,7	1074,2	1083,5	1039,6	954,8	792,2	736,8	525

Проведемо для стаціонарної панелі такий же розрахунок:

$$W_{r1}=250 \cdot 0,16 \cdot 176,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 229,5 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r2}=250 \cdot 0,16 \cdot 257,2 \cdot 1,627 \cdot 20 = 334,77 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r3}=250 \cdot 0,16 \cdot 343,4 \cdot 1,627 \cdot 20 = 445 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r4}=250 \cdot 0,16 \cdot 406,1 \cdot 1,627 \cdot 20 = 528,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r5}=250 \cdot 0,16 \cdot 587,7 \cdot 1,627 \cdot 20 = 765 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r6}=250 \cdot 0,16 \cdot 597,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 777,4 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r7}=250 \cdot 0,16 \cdot 608,2 \cdot 1,627 \cdot 20 = 791,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r8}=250 \cdot 0,16 \cdot 595,4 \cdot 1,627 \cdot 20 = 775 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r9}=250 \cdot 0,16 \cdot 544,1 \cdot 1,627 \cdot 20 = 708,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r10}=250 \cdot 0,16 \cdot 425,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 553,6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r11}=250 \cdot 0,16 \cdot 250,3 \cdot 1,627 \cdot 20 = 325,8 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$W_{r12}=250 \cdot 0,16 \cdot 188,4 \cdot 1,627 \cdot 20 = 245,2 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

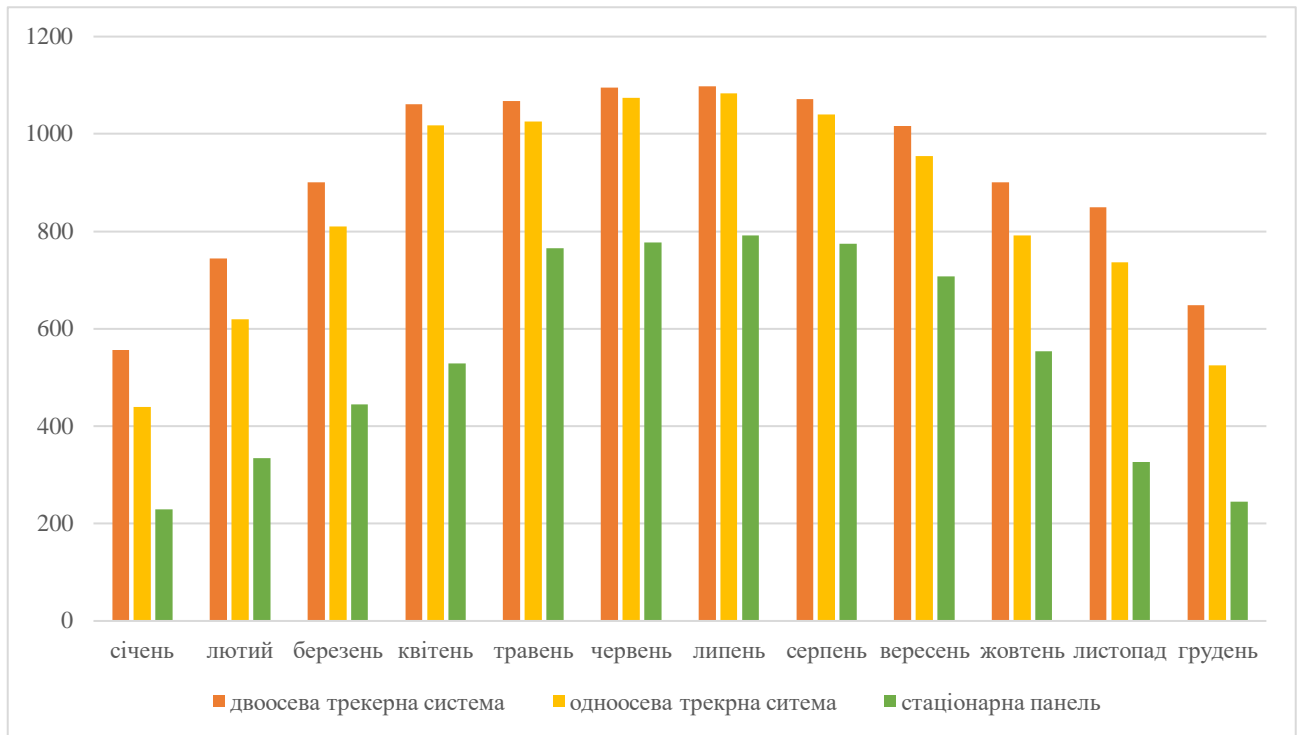
Таблиця 2.15 – Кількість генерованої електроенергії стаціонарною фотовольтаїчною станцією з монокристалічними панелями.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
W <sub>г.с.</sub>	229,5	334,7	445	528,6	765	777,4	791,6	775	708,2	553,6	325,8	245,2

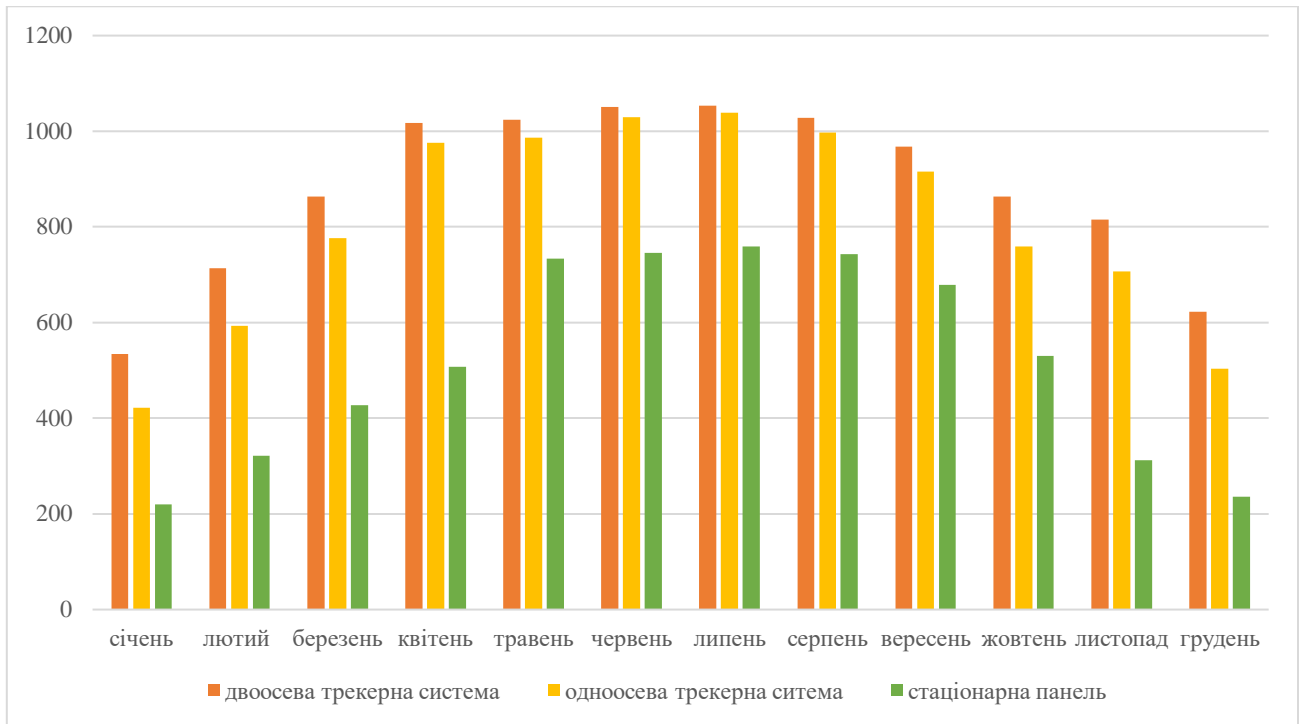
Розрахунок для полікристалічних панелей, маючи всі необхідні данні, виконуємо таким же чином. Отримані данні для всіх трьох варіантів, заносимо в таблицю 2.16

Таблиця 2.16 – Кількість генерованої енергії фотовольтаїчними станціями з полікристалічними панелями.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$W_{г.д.}$	534	714	863,6	1017,3	1024,2	1050,6	1053	1028	967,2	863,7	815,1	622,3
$W_{г.о.}$	421,4	593,6	777	975,6	986,5	1030	1039	997	915,6	759,7	706,6	503,4
$W_{г.с.}$	220	321	426,7	507	733,6	745,5	759	743,2	679	530,9	312,4	235,4



Рисунк 2.3 – Генерація електроенергії монокристалічними панелями протягом року, кВт год.



Рисунк 2.4 – Генерація електроенергії полікристалічними панелями протягом року, кВт год.

**Висновки по розділу:** В даному розділі було вирішено два основних завдання:

1. Проведено розрахунок кількості сонячної енергії, що потрапляє на поверхню панелей. Розрахунок був проведений для кожного місяця року. Так як цей показник прямим чином залежить від кута нахилу фотовольтаїчних панелей до напрямку сонячного потоку, проведено порівняння за даним показником для трьох варіантів виконання фотовольтаїчної електростанції: рухома на двоосевому трекері, рухома на одноосевому трекері та стаціонарна електростанція. Розрахунки показали, що стаціонарні панелі, на одиницю площі, протягом року отримують на 68% менше енергії в порівнянні з панелями на двоосевому трекері, та на 55% менше у порівнянні з панелями на одноосевому трекері.

2. Було розраховано кількість виробленої електроенергії сонячними електростанціями трьома вищеперерахованими варіантами виконання, додатково



було зроблено порівняння ефективності використанні монокристалічних, та полікристалічних панелей, результати показали, що за рахунок вищого коефіцієнту корисної дії, монокристалічні панелі, протягом року можуть виробляти більше електроенергії.

## **РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ.**

В даному розділі, завданням є запропонувати та обґрунтувати конструкцію двоосевої та одноосевої системи орієнтування сонячних панелей, а також для порівняння конструкцію стаціонарної сонячної електростанції. Дуже важливим аспектом при вирішенні завдання, є також економічний розрахунок, адже першочерговим завданням подібних об'єктів є реалізація максимально можливого енергопотенціалу, для отримання прибутку, тому якщо конструкція економічно недоцільна, то подальше її використання втрачає сенс.

### **3.1 Обґрунтування економічного розрахунку**

Експлуатація двоосевої системи орієнтування дає можливість генерувати максимально великий об'єм електроенергії, повноцінно використовувати сонячне випромінювання та значно підвищити ефективність сонячних панелей.

Важливим аспектом вибору обладнання для реалізації проекту є обґрунтування не лише технічної доцільності застосування конкретного обладнання, а й економічної. В даній роботі потрібно також закласти у витрати ціну на кабелі, які б задовольняли вимоги роботи установки.

Але рухомі сонячні електростанції, на базі трекерних систем крім переваг, в порівнянні зі стаціонарними, мають також і недоліки. Такі проекти є на порядок дорожчими, вимагають більших витрат часу на реалізацію, більшої площі під розташування панелей.

Завданням даного розділу є розрахунок витрат на конструювання установки, враховуючи витрати на всі складові, та витрати на оплату роботи персоналу.

### 3.2 Розрахунок витрат на конструювання енергоустановки

Таблиця 3.1 – Найменування та вартість обладнання для монокристалічної фотовольтаїчної електростанції на двоосевому трекері.

№	Найменування товару	К-сть	Ціна за одиницю товару, грн	Сума, грн
1	Сонячна панель: Altek ALM 250-M. [31]	20	3960	79200
2	Сонячний трекер двоосевий: AS Sunflower 20. [32]	1	124000	124000
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-5K. [33]	1	21000	21000
4	Кабельно-провідникові матеріали. [34]	50	30	1500
5	Датчик сонячної радіації.[35]	1	10800	10800
6	Блок захисту. [36]	1	4200	4200
Разом				240700

При визначенні витрат на оплату виконаної роботи персоналом, будемо враховувати середньоринкову заробітну плату, та час на виконання поставленої роботи. Окремо будемо враховувати вартість монтажу конструкції за ринковою ціною, через складність оцінки трудомісткості подібних робіт.

Витрати на виготовлення будемо визначати з наступного виразу

$$B=(M+O)+3_o+3_d+ССВ+Н \quad (3.1)$$

$M+O$  – витрати на основні матеріали та обладнання,  $Z_o$  – Основна заробітна плати,  $Z_d$  – Додаткова заробітна плата,  $ЄСВ$  – єдиний соціальний внесок,  $H$  – накладні витрати.

Вартість решти робіт розрахуємо відповідно до ціни роботи персоналу, що займається монтажними роботами. Заробітну плату для персоналу наведено в таблиці 3.2

Заробітну плату  $Z_o$  розрахуємо за формулою:

$$Z_o = T_p \cdot V_r \quad (3.2)$$

Де  $T_p$  – час роботи,  $V_r$  – вартість години роботи.

Вартість години роботи, визначимо як відношення середньоринкової заробтної плати, до добутку тривалості робочого дня та кількості робочих днів в місяці.

Відповідно можемо визначити вартість години роботи:

Для інженера-електрика

$$8000 / (8 \cdot 22) = 45,08 \text{ (грн/год)}$$

Для слюсара

$$6000 / (8 \cdot 22) = 34,1 \text{ (грн/год)}$$

Для вантажника

$$6000 / (8 \cdot 22) = 34,1 \text{ (грн/год)}$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок основної заробітної плати

Найменування робіт	Робітник	Тривалість робіт	Заробітна плата
Проектування	Інженер-електрик	100	4508
Монтаж обладнання	Інженер-електрик	100	4508
Допоміжні роботи	Слюсар	50	1700
Вантажні роботи	Вантажник	50	1700
Разом			12416

Єдиний соціальний внесок обрахуємо за наступною формулою:

$$\text{ЄСВ} = 0,22 \cdot (З_о + З_д) \quad (3.3)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$\text{ЄСВ} = 0,22 \cdot (12416 + 1240) = 3004 \text{ (грн)}$$

Накладні витрати визначимо за формулою:

$$Н = 1,5 \cdot (З_о + З_д) \quad (3.4)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$Н = 1,5 \cdot (6550 + 655) = 20484 \text{ (грн)}$$

Таким чином витрати на реалізацію проекту складають:

$$В_к = 240700 + 12416 + 1240 + 3004 + 20484 = 277845 \text{ (грн)}$$

Таблиця 3.3 – Найменування та вартість обладнання для монокристалічної фотовольтаїчної електростанції на одноосевому трекері.

№	Найменування товару	К-сть	Ціна за одиницю товару, грн	Сума, грн
1	Сонячна панель: Altek ALM 250-M	20	3960	79200
2	Наземна система кріплень на 4 модулі	5	7500	37500
2	Сонячний трекер одноосевий: ST-200Z-1-D. [38]	5	2500	12500
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-5K	1	21000	21000
4	Кабельно-провідникові матеріали	50	30	1500
5	Датчик сонячної радіації	1	10800	10800
6	Блок захисту	1	4200	4200
Разом				166700

Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи приймемо таким ж як і для попереднього випадку, так як час на роботи приблизно однаковий, тому оплата праці монтажного персоналу, залишеться такою ж. Можемо порахувати витрати на проект:

$$B_k = 16700 + 12416 + 1240 + 3004 + 20484 = 203844 \text{ (грн)}$$



Таблиця 3.4 – Найменування та вартість обладнання для стаціонарної монокристалічної фотовольтаїчної електростанції.

№	Найменування товару	К-сть	Ціна за одиницю товару, грн	Сума, грн
1	Сонячна панель: Altek ALM 250-M	20	3960	79200
2	Наземна система кріплень на 20 модулів	1	27550	27550
3	Мережевий трифазний інвертор: SOLIS-5K	1	21000	21000
4	Кабельно-провідникові матеріали	50	30	1500
5	Блок захисту	1	4200	4200
Разом				133450

Прийнявши витрати на монтажні роботи такими ж як і для попередніх двох випадків, порахуємо вартість капіталовкладень в даний проект:

$$B_k = 133450 + 12416 + 1240 + 3004 + 20484 = 170594 \text{ (грн)}$$

### 3.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Витрати на експлуатацію розраховуються за формулою:

$$B_e = B_a + B_{т.о} \quad (3.5)$$

Де:  $B_a$  – амортизаційні витрати,  $B_{т.о}$  – витрати на технічний огляд та поточний ремонт.

Розрахунок амортизаційних витрат:



Амортизаційні витрати основною мірою злежать від терміну використання об'єкта. Термін корисного використання об'єктів, для нарахування амортизації приймається не меншим мінімально допустимого терміну, який вказується в паспортних даних основних фондів. Мінімально допустимий термін корисного використання сонячних панелей складає 12 років.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний метод амортизації, при якому річна сума амортизації розраховується як відношення амортизованої вартості до терміну корисного використання основних фондів. Отже норму амортизації визначатимемо з формули:

$$H_a = \frac{B_k}{B_k \cdot T_{k.k}} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Так як термін корисного користування сонячних панелей 12 років, то розрахункове значення норми амортизації буде рівне 8%. Виходячи з цього розрахуємо амортизаційні витрати.

Підставивши значення отримуємо:

Для електростанції з двоосевою трекерною системою:

$$B_a = 277845 \cdot 0,08 = 22227 \text{ (грн)}$$

Для електростанції з одноосевою трекерною системою:

$$B_a = 203844 \cdot 0,08 = 16307 \text{ (грн)}$$

Для електростанції зі стаціонарними сонячними панелями:

$$B_a = 170594 \cdot 0,08 = 13647 \text{ (грн)}$$

Витрати на технічне обслуговування та ремонт:

Щорічні витрати на технічний огляд та ремонт обладнання будемо визначати за формулою:

$$V_{т.о} = R \cdot t \cdot m \cdot R_c + \frac{S \cdot E_o}{T} \cdot T_p \quad (3.7)$$

де  $R$  – оплата години роботи працівників, що займаються ремонтом  $R=33$  грн,  $t$  – трудомісткість ремонтних робіт, при ремонтах середньої складності цей показник рівний 9 год/од,  $m$  – число ремонтів протягом року, приймаємо 1,  $R_c$  – сумарна складова важкості ремонтних робіт, цей показник залежить від типу обладнання, для установок потужністю 5 – 10 кВт, цей показник має значення 2,1,  $S$  – ціна однотипних взаємозамінних елементів – 220 грн,  $E_o$  – кількість однотипних взаємозамінних елементів – 12,  $T$  – середній час роботи обладнання даного типу – 19020 год,  $T_p$  – кількість годин роботи даного обладнання на рік – 5000 год.

Підставивши значення у формулу, обрахуємо річні витрати на технічний огляд та ремонт, вони будуть однаковими для усіх трьох типів електростанції.

$$V_{т.о} = 33 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 2,1 + \frac{220 \cdot 12}{19020} \cdot 5000 = 1318$$

Маючи значення амортизаційних витрат, та витрат на технічне обслуговування та ремонт, можемо виконати розрахунок експлуатаційних витрат для кожного проекту.

Для електростанції з одноосевою трекерною системою:

$$V_e = 22227 + 1318 = 23545 \text{ (грн/р)}$$

Для електростанції з одноосевою трекерною системою:

$$V_e = 16307 + 1318 = 17625 \text{ (грн/р)}$$

Для електростанції зі стаціонарними сонячними панелями:

$$V_e = 13647 + 1318 = 14965 \text{ (грн/р)}$$

### 3.4 Розрахунок доходів від продажу електроенергії в мережу за «зеленим» тарифом

Для оцінки ефективності трекерних систем з економічної точки зору, необхідно розрахувати та проаналізувати прибуток, отриманий від реалізації електроенергії в мережу, електроенергія вироблена ВДЕ продеться за «зеленим» тарифом, ціна за даним тарифом є вищою ніж ціна на електроенергії вироблену традиційними джерелами енергії. Такий крок стимулює інвестувати кошти у відновлювальну енергетику.

Ставка «зеленого» тарифу, для енергогенеруючих об'єктів, які здані в експлуатацію з 01.01.2017 – 31.12.2019, для електроенергії, отриманої від сонячного випромінювання, наземними об'єктами електроенергетики, відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює регулювання в сферах енергетики та комунальних послуг, тариф за 1 кВт год електроенергії, за зеленим тарифом складає 19 євроцентів, або 5,16 гривень.

Визначимо кількість електроенергії, яку можливо продавати в мережу різними системами. Для цього потрібно враховувати різницю між спожитою електроенергією, та згенерованою електроенергією для всіх трьох систем:

Річний дохід від продажу електроенергії визначатимемо за формулою:

$$D_p = W_{пр} \cdot C_e \quad (3.8)$$

де  $W_{пр}$  – кількість проданої електроенергії протягом року,  $C_e$  – ціна електроенергії.

Кількість проданої електроенергії визначимо з виразу:

$$W_{пр} = W_r - W_{сп} \quad (3.9)$$

де  $W_r$  – кількість згенерованої електроенергії (розраховано в попередньому розділі),  $W_{сп}$  – кількість спожитої системою електроенергії.

Отже, маючи всі данні проведемо розрахунок;

Для електростанції з двоосевою трекерною системою,  $W_r = 111012,7$  кВт год/рік,  $W_{сп} = 26$  кВт год/рік

$$W_{пр} = 111012,7 - 26 = 10986,7 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$D_p = 10986,7 \cdot 5,16 = 56691,3 \text{ (грн)}$$

Для електростанції з одноосевою трекерною системою,  $W_r = 10117,9$  кВт год/рік,  $W_{сп} = 20$  кВт год/рік

$$W_{пр} = 10117,9 - 20 = 10097,9 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

$$D_p = 10097,9 \cdot 5,16 = 52105 \text{ (грн)}$$

Для електростанції з двоосевою трекерною системою,  $W_r = 6479,6$  кВт год/рік, і електроенергії не споживає

$$D_p = 6479,6 \cdot 5,16 = 33434 \text{ (грн)}$$

### 3.5 Розрахунок терміну окупності

Насамперед необхідно провести розрахунок чистого річного прибутку, з врахуванням доходів від продажу електроенергії та експлуатаційних витрат, тому вираз матиме наступний вигляд:

$$P_p = D_p - V_e \quad (3.10)$$

Для електростанції з двоосевою трекерною системою:

$$P_p = 56691,3 - 23545 = 33146,3 \text{ (грн)}$$

Для електростанції з одноосевою трекерною системою:

$$P_p = 52105 - 17625 = 34480 \text{ (грн)}$$

Для електростанції зі стаціонарними панелями:

$$P_p = 33434 - 14965 = 18469 \text{ (грн)}$$

Отримавши значення чистого прибутку на рік, можемо розрахувати термін окупності для всіх трьох варіантів установок:

Для електростанції з двоосевою трекерною системою:

$$T_{ок} = \frac{277845}{33146} = 8,3 \text{ (р)}$$

Для електростанції з одноосевою трекерною системою:

$$T_{ок} = \frac{203844}{34480} = 5,9 \text{ (р)}$$

Для електростанції зі стаціонарними панелями:

$$T_{ок} = \frac{170594}{18469} = 9,2 \text{ (р)}$$

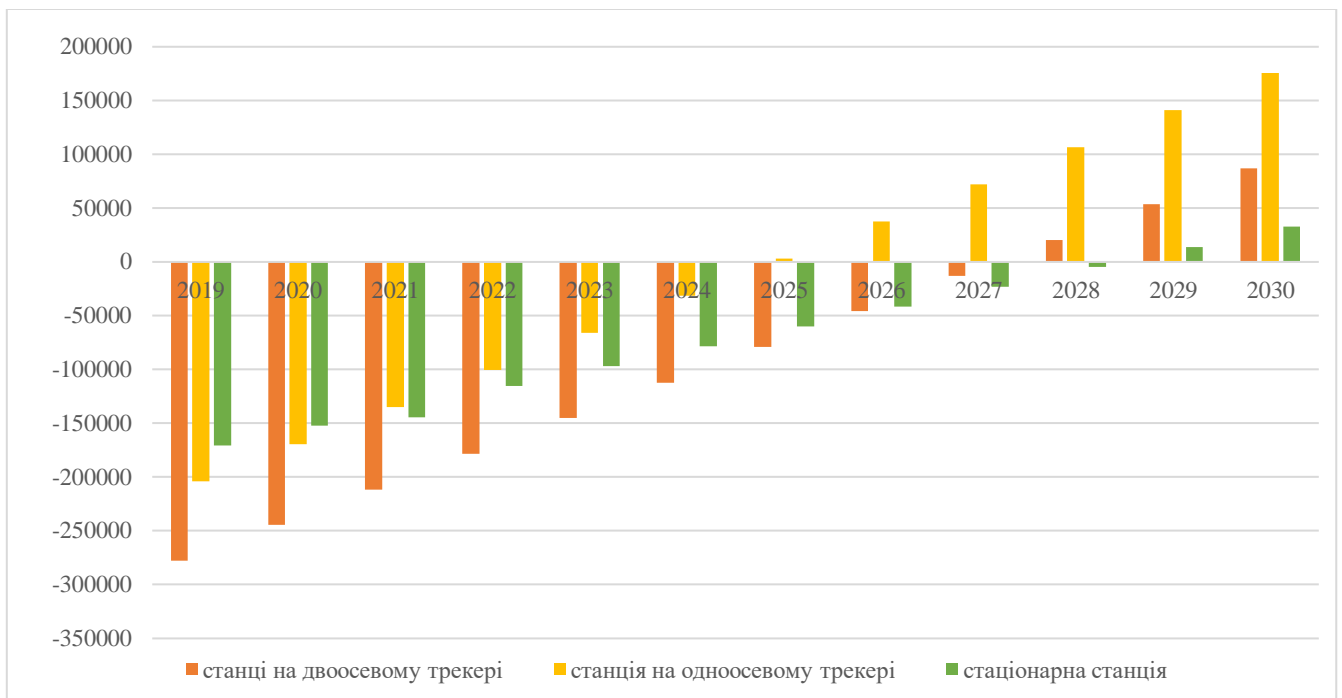


Рисунок 3.1 - Гістограма балансу витрат і прибутків на проекти до кінця дії зеленого тарифу, у тис. грн.

**Висновки по розділу:** В даному розділі було здійснено розрахунок вартості конструювання фотовольтаїчної електростанції трьома варіантами виконання: рухомої станції на двоосевому трекері, рухомої станції на одноосевому трекері, та стаціонарної станції. Було проведено обрахунок витрат на матеріали та монтаж, вартість проектів складає відповідно: 277845 грн, 203844 грн, 170594 грн.

Також в цьому розділі було розраховано чистий річний прибуток для трьох варіантів виконання, в ході цього обрахунку було визначено щорічні експлуатаційні витрати та дохід від продажу електроенергії за зеленим тарифом. Термін окупності досліджених варіантів виконання проекту складає відповідно: 8,3 років, 5,9 років, 9,2 роки. Додатково в середовищі Microsoft Excel представлено баланс для трьох варіантів виконання проекту до кінця дії зеленого тарифу в Україні.

## **РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.**

Згідно Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний забезпечувати права робітників, передбачені Конституцією, на охорону їх життя та здоров'я. Необхідне дотримання умов безпечної експлуатації монтажу та експлуатації електрообладнання. Без дотримання цих правил, неможливо здати в експлуатацію жоден об'єкт, в тому числі і сонячні електростанції.

### **4.1 Задачі розділу**

Згідно Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний забезпечувати права робітників, передбачені Конституцією, на охорону їх життя та здоров'я. Необхідне дотримання умов безпечної експлуатації монтажу та експлуатації електрообладнання. Без дотримання цих правил, неможливо здати в експлуатацію жоден об'єкт, в тому числі і сонячні електростанції.

На етапі планування проекту, одним з ключових питань є забезпечення безпечної роботи персоналу на об'єкті. Важливість даного питання обумовлена високим рівнем небезпеки внаслідок протікання струму високого значення, недостатній переріз проводу та ненадійність металевих контактів є причиною підвищеного ризику робочого травматизму, а також з вищенаведених причин відбувається підвищене тепловиділення, що може стати причиною пожежі на електростанції. Відомий випадок пожежі на найпотужнішій в світі сонячній електростанції в Каліфорнії. Причиною загоряння було хибне розташування дзеркал, які відбивали сонячні промені на бойлерну вишку. Як результат, сконцентрований світловий потік, потрапляв у невірне місце, що і спричинило пожежу на вишці, в результаті якої розплавилась та згоріли провідники, та прийшли в несправність електрокабелі.

Усе це наголошує на важливості та актуальності питання, яке полягає у дотриманні правил безпеки, розвитку технологій, які б мінімізували ризики травматизму при виконанні монтажу сонячних електростанцій, що працюють в ОЕС України, з використанням знань, та досвіду, який ми маємо сьогодні. Вирішення цього питання дозволяє уникати випадків травмування персоналу, летальних випадків, а також мінімізує складову збитків, спричинених пошкодженням обладнання.

Зважаючи на те, що зменшення ризику професійного травматизму персоналу, на роботах з монтажу сонячних станцій потребує вирішення ряду завдань з охорони праці, а також на обмежений об'єм магістерської дисертації, визначимо ключові завдання з охорони праці згідно з темою роботи:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем сонячних електростанції, які працюють в ОЕС України за міждержавним ГОСТ12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі сонячних панелей. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою.

3. Описати основні заходи протипожежного захисту на сонячних станціях.

Початкові данні для розрхунку використовуємо з реальноіснуючих схем сонячних електростаній.

#### **4.1 Аналіз умов праці, під час виконання монтажних робіт сонячних панелей, що працюють в ОЕС України.**

Проаналізувавши літературні джерела з охорони праці, та інформації наданої в підрозділі «задачі розіділу», підсумовуємо, що при роботах пов'язаних з монтажем та експлуатацією сонячних електростанцій, необхідно зважати на



такі небезпечні виробничі аспекти, з врахування міжнародних регулюючого документу з охорони праці ГОСТ 12.0.003-74 [41].

Персонал, який відповідає за електротехнічне обслуговування, та персонал, завданням якого є ремонт обладнання на сонячних електростанціях, піддані впливу небезпечних факторів, таких як:

- підвищений рівень запиленості та загазованості робочої зони;
- підвищена чи понижена температура поверхонь обладнання (в залежності від пори року);
- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони (в залежності від пори року);
- підвищена та понижена вологість повітря робочої зони;
- підвищений рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбуватись через тіло людини;
- підвищена чи понижена рухливість повітря;
- підвищена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- відсутність або недостатність природного світла
- підвищена яскравість повітря;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації
- розтажування робочого місця в небезпечній висоті щодо поверхні землі (підлоги);

Психофізіологічні небезпечні й шкідливі фактори:

- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці перенапруга аналізаторів, необережні дії, недбале виконання робіт).

Джерелами безпеки є:

- електрообладнання;
- природне середовище;
- людина. [41]

#### **4.2 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при електричному монтажі сонячних панелей**

На початкових етапах роботи, слід виконати ряд наступних завдань: визначити особливості кліматичних умов, на місці монтажу станції, перевірка робочого стану обладнання, підготовка місця монтажу, перевірка надійності опорних конструкцій, сонячних модулів, перевіряються ізоляційні матеріали, підйомні крани, що використовуються для монтажу важких конструкцій, відповідальною особою проводиться інструктаж персоналу з техніки безпеки, та перевірка індивідуальних засобів захисту працівників.

На етапі проектування об'єкту, команда архітекторів, повинна вирішити завдання визначення оптимального розміщення системи кріплень та опорних конструкцій, ці данні є базовими для реалізації проекту, від яких надалі відштовхуються при вирішенні різних технічних завдань. Вихідними даними для проектної команди є: розміщення модуля (книжкове чи альбомне), кількість рядів модулів (1-8), кут відносно горизонтальної площини, кількість модулів закріплених на одній опорній конструкції, що визначає вагу.

Після визначення загальних геометричних параметрів, завданням проектувальника є сумістити їх з даними геодезичних досліджень на місцевості, даних про склад та структуру ґрунту, а також наявність та глибину протікання підземних вод. Опіраючись на вищенаведені данні визначаються гранично-допустимі навантаження, що діятимуть на майбутній об'єкт. На етапі збору інформації про місцевість на якій будуватиметься станція, необхідно також враховувати такі параметри як сейсмічна активність регіону, а також активність

вітрів на місцевості, це робиться для врахування можливих ризиків пов'язаних із землетрусами чи ураганними вітрами. В районах із підвищеною сейсмічною активністю, враховують подвійний коефіцієнт для гранично-допустимого навантаження на фундамент та опорні конструкції.

Взагалі при будівництві сонячної електростанції, слід особливу увагу звернути на фундамент. Він може бути виконаний в різних конфігураціях: монолітний, стрічковий, пальовий чи комбінований. Для вибору оптимального рішення проводиться аналіз інформації щодо структури ґрунту, у випадку для щільного, глинистого ґрунту, з високим значенням гранично-допустимим навантаженням, можна застосовувати пальовий фундамент, а для ґрунту з високим вмістом піску у складі, з невеликим гранично-допустимим навантаженням, оптимальним буде використання стрічкового фундаменту, або комбінованого бетонного. Найбільш надійним типом фундаменту вважається монолітний бетонний фундамент, але витрати на його спорудження також найвищі з усіх наведених варіантів, тому зазвичай даний тип фундаменту, споруджують у місцях з найбільш складним ґрунтом: гірські райони з кам'янистим складом ґрунту, а також на заболочених місцевостях, чи у місцях з вищим рівнем ризику зсувів ґрунту.

У виборі матеріалів конструкцій, крім сталі, також можна використовувати алюмінієві профілі, за рахунок простого процесу монтажу, та допустимими показниками надійності, значною перевагою таких матеріалів, є їх пластичність, що дає можливість виконання складних перетинів конструкцій, при цьому дотримуючись високої точності. Слід враховувати і значне зменшення ваги конструкції, порівняно зі сталевією, що значно зменшує навантаження на фундамент та ґрунт. Недоліком можна вважати швидке окислення алюмінію, що не покритий захисним шаром, при цьому втрачаються показники міцності, тому в таких цілях, зараз не використовують алюміній, що не пройшов антикорозійну

обробку. В більшості випадків, для запобігання корозії, алюміній покривають срібним шаром товщиною 10-20 Мкм. Також механічна міцність алюмінієвих профілів нижча ніж у сталевих, для підвищення міцності профілів, додатково проводять термообробку та загартовування. Також слід відзначити високу вартість алюмінієвих конструкцій, що вища від сталевих приблизно вдвічі, саме цей недолік вважається основним, що не дозволяє використовувати алюмінієві конструкції в більших масштабах.

Крім несучих елементів з алюмінію і сталі (палі, балки, ригеля, підкоси, ферми, розкоси) в системах кріплення застосовуються різні кріпильні елементи - метизи та прижими. Застосування цих елементів дозволяє не виконувати в процесі монтажу свердління та зварювання, що спрощує сам процес спорудження несучих конструкцій, та економить час будівництва.

Фотоелектричні панелі кріпляться з використанням спеціальних кріпильних пазів, передбачених виробником панелей, зазвичай вони є комплектуючими елементами. Таким кроком вирішується завдання рівномірного розподілу навантажень, що діють на конструкцію.

Керівник проекту, як відповідальна особа, повинен слідкувати за дотриманням всіх вимог безпеки, під час виконання монтажних робіт. За усіма членами монтажної групи здійснюється нагляд. При цьому відповідальна особа не бере участі у виконанні робіт, його завданням є контроль за персоналом, що працює на висоті. При цьому необхідно дотримуватись правил безпеки робіт на висоті, передбачених нормативними документами з охорони праці.

Під час монтування сонячних панелей, для того аби звести до мінімуму ризик пов'язаних із виникненням робочого травматизму, потрібно виконувати наступні організаційно-технічні вимоги техніки безпеки та виробничої санітарії:

- виконання електромонтажних робіт доручається особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання для роботи на електроустановках;

- монтаж сонячних панелей краще проводити в безвітряний день;
- при проведенні робіт на висоті повинні встановлюватися обгороджування і позначатися в установленому порядку межі небезпечних зон;
- при неможливості облаштування обгороджувань монтажні роботи повинні виконуватися із застосуванням запобіжного пояса і страхувального каната;
- електричні з'єднання повинні проводитися за розробленою монтажною схемою системи.
- в ланцюгах, що підключаються до РП, необхідно встановити плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу;
- не слід поєднувати при контактних електричних з'єднаннях разом різні метали (наприклад, мідь і алюміній);
- всі електричні кабелі електроживлення повинні мати надійну ізоляцію та відповідати технологічним вимогам;
- для захисту людей від ураження електричним струмом повинно бути виконано заземлення. [42]

### **4.3 Розрахунок параметрів заземлюючого пристрою сонячної електростанції**

Відповідно до вимог глави 1.7 ПУЕ:2014, заземлюючий пристрій електростанції виконується за вимогою до його опору для електроустановок напругою до 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою та ізольованою нейтраллю, до заземлюючих пристроїв яких ставляться більш жорсткі вимоги, ніж до заземлюючих пристроїв електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю. Відповідно до п. 1.7.92 та 1.7.96 ПУЕ:2014 опір заземлюючого пристрою повинен складати не більше 4 Ом. [40]

По периметру РП-10 кВ прокласти круг сталевий ( $d=10$  мм), який приєднати зварюванням до загального заземлюючого пристрою електростанції не менше, ніж у двох точках.

До заземлюючого пристрою електростанції для захисту від непрямого дотику приєднати всі металеві корпуси електротехнічного обладнання (в т. ч. ящики з'єднань, опорні конструкції панелей) та екрани кабельних ліній.

Основний вплив на величину опору заземлювачів надає верхній шар ґрунту на глибині до 20-25 м, тому при розрахунку і пристрої заземлення необхідно знати його питомий опір.

Залежно від складу (чорнозем, пісок, глина і т. п.), розмірів і щільності прилягання один до одного частинок, вологості і температури, наявності розчинних хімічних речовин (кислот, лугів, продуктів гниття і т. д.) питомий опір ґрунтів змінюється в дуже широких межах.

Найбільш важливими факторами, що впливають на величину питомого опору ґрунту, є вологість і температура. Протягом року в зв'язку зі зміною атмосферних і кліматичних умов утримання вологи в ґрунті: і його температура змінюються, а отже, змінюється і питомий опір. Найбільш різкі коливання питомої опору спостерігаються у верхніх шарах землі, які взимку промерзають, а влітку висихають. З даних вимірювань випливає, що при зниженні температури повітря від 0 до  $-10$  °С питомий опір ґрунту на глибині 0,3 м збільшується в 10 разів, а на глибині 0,5 м - в 3 рази.

Розрахунок контуру заземлювачів зводиться до визначення такого числа розміщення штучних заземлювачів, при якому опір розтікання струму не перевищує нормоване значення.

Для обґрунтування параметрів заземлюючого пристрою, який використовується в схемі заземлення проведемо розрахунок за загальноприйнятою методикою[39].

При розрахунку будемо використовувати програмне забезпечення Mathcad.

Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$l_B = 2,5$  м;  $d_B = 0,045$  м; товщина стінки  $\delta = 3$  мм; відстань між вертикальними заземлювачами  $a = 5$  м., тобто  $a/l_B = 2$ . Глибина закладання заземлювачів  $H_0 = 0,7$  м.,  $V_c = 20$  мм.

Ґрунт – глина; склад – однорідний; вологість – нормальна. Кліматична зона – III.

Визначаємо розрахунковий питомий опір чорнозему

$$\rho_{\text{розр.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_c, \quad (4.1)$$

де  $\rho_{\text{табл.}} = 40$  Ом – приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів та води, Ом·м

$K_c = 1,3$  – коефіцієнт сезонності  $K_{c.v.}$  для однорідної землі при вимірюванні її опору:

$$\rho_{\text{розр.}} = 40 \cdot 1,3 = 52 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 4.1):

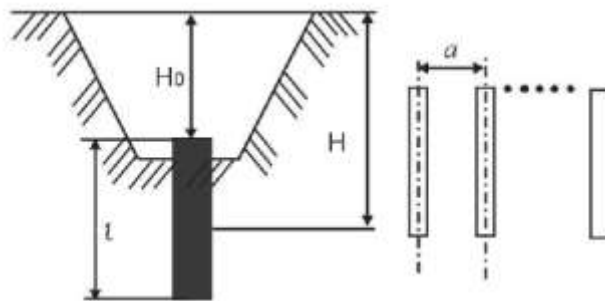


Рисунок 4.1 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2}, \quad (4.2)$$

$$H = 0,7 + \frac{2,5}{2} = 1,95 \text{ (м)}$$

Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \frac{\rho_{\text{Позп.}}}{l_B} \left( \lg \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H + l_B}{4H - l_B} \right); \quad (4.3)$$

$$R_B = 0,366 \frac{52}{2,5} \left( \lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,045} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 15,578 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при  $\eta_B = 1$   
де  $\eta_B$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів

$$n_{\text{OP}} = \frac{R_B}{R_d \cdot \eta_B} \quad (4.4)$$

$$n_{\text{OP}} = \frac{15,578}{4 \cdot 1} = 3,89; \text{ приймаємо } n_{\text{OP}} = 4 \text{ шт.}$$

Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_B$ ,  
заземлювачі розташовані в ряд,  $a/l_B = 2, n = 4$ . Приймаємо  $\eta_B = 0,89$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням  
коефіцієнта використання:

$$n_B = n_{\text{OP}} / \eta_B; \quad (4.5)$$



$$n_B = 4 / 0,89 = 3,56.$$

Приймаємо  $n_B = 4$  шт.

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при  $n_B = 4$  шт без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B}; \quad (4.6)$$

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{15,78}{4 \cdot 0,89} = 4,43 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1,05 \cdot a(n-1); \quad (4.7)$$

$$L_c = 1,05 \cdot 5(4-1) = 15,75 \text{ (м)}.$$

За формулою (4.8) для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті, визначаємо опір розтікання струму:

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.}}}{L_c} \lg \frac{2 \cdot (L_c)^2}{H_0 \cdot B_c}; \quad (4.8)$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{52}{15,75} \lg \frac{2 \cdot (15,75)^2}{1,95 \cdot 0,045} = 4,534.$$

Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача. при  $l=2$ ,  $n=5$ . Приймаємо  $\eta_{\Gamma} = 0,79$ .

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням  $\eta_{\Gamma}$ :

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}; \quad (4.9)$$

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{4,534}{0,79} = 5,73 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{\text{розр.}} = \frac{R_{\text{розр.В}} \cdot R_{\text{розр.}\Gamma}}{R_{\text{розр.В}} + R_{\text{розр.}\Gamma}}; \quad (4.10)$$

$$R_{\text{розр.}} = \frac{4,43 \cdot 5,73}{4,43 + 5,73} = 2,49 \text{ (Ом)};$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

У випадках коли кабель перетинається з комунікаціями, його прокладають в спеціальних трубах. Трансформаторна підстанція (ТП) розміщена у приміщенні виробничого корпусу, від технологічного обладнання її повинні огорджувати спеціального огорожею. Двері в ТП зачиняються на замок, на цих дверях повинен бути нанесено попереджувальний знак «Обережно! Електрична напруга».

#### **4.4 Основні заходи протипожежного захисту на сонячних станціях**

Забезпечення пожежної безпеки проводиться відповідно Закону України «Про пожежну безпеку» від 17.12.1993 року. НАПБ А.01.001 «Правила пожежної безпеки в Україні», а також іншими регулюючими документами, що регламентують правила з пожежної безпеки.

У проєкті повинна бути присутня організація і виконання профілактичних засобів, таких як планові огляди, планово-попереджувальні ремонти електрообладнання. Всі порушення, які підвищують ризик виникнення пожежі, необхідно вчасно діагностувати та усувати.

Освітлювальна установка при порушенні правил пристрою може з'явитися джерелом виникнення пожежі. Причинами можуть служити: перегрівання проводів і кабелів; перегрівання світильників, апаратів; погані контакти в електричному ланцюзі; іскри, дуги і невідповідність типу проводки, освітлювальної арматури або апаратів умов середовища приміщення. Збереження ізоляції і місць з'єднань проводів в нормальному режимі гарантується обмеженням граничної температури жил проводів значеннями: для ізольованих проводів - 55°C, для кабелів до 1 кВ з ізоляцією - 80°C і для голих проводів - 70°C. В електроустановках верстатів з'єднання проводів виконуються за допомогою клемних затискачів.

При порушенні правил експлуатації освітлювальних установок, вони можуть стати джерелом виникнення пожежі. Зазвичай причиною таких пожеж є збільшення температури провідників (кабелів та проводів), світильних приладів, технологічної апаратури; погана щільність контактів в електричному колі, іскри, дуги та невідповідність типу електропроводки, освітлювальної арматури умовам середовища, в якому знаходиться обладнання.

На території сонячної станції передбачені такі засоби пожежогасіння: три ОП-53, а також два пожежних гідранти та щит пожежний, до складу якого входять: ящик з піском місткістю 0,5м<sup>3</sup>, лопати -2 шт., гаки -3шт., ломи -2 шт., сокири -2шт.

Для захисту електричного устаткування від струмів короткого замикання та перевантажень використані автоматичні вимикачі та запобіжники.

Вставки автоматів вибираються з умови:  $I_n \geq I_{н.т.р}$ ,  $I_{н.т.р} \geq 1,25 I_p$

Запобіжники встановлені в ящиках силових, плавка вставка вибирається з умови:  $I_{\text{пл.вст.}} = 12,5 I_{\text{max}}$

В даній установці використовуємо провідники з надійною тривалою роботою, які визначаються за температурою нагріву, яка залежить від виду ізоляції та визначається ПТЕ для різних типів проводів та кабелів. В нашому випадку це, гранично допустима температура нагрівання для кабелів ВВГ та ПВ становить  $55^{\circ}\text{C}$ . [41]

Також важливим елементом є допустимий довготривалий струм, який визначається з умов:  $I_{\text{д}} \geq I_{\text{р}}$ ,  $I_{\text{д}} \geq I_{\text{н.т.р}}$  де:

$I_{\text{д}}$  – довготривалий струм, А;

$I_{\text{р}}$  – розрахунковий струм, А;

$I_{\text{н.т.р}}$  – номінальний струм теплового розчіплювача, А;

Всі місця підключення провідників до апаратів щільно, туго затягнуте підключення, що забезпечує хороший контакт. В місцях, що піддаються ураженню, застосовуються пружинні шайби. Всі контактні з'єднання доступні для огляду і систематично оглядатися в процесі експлуатації. Частина апаратів, слугуючі для оперативного та аварійного розмикання ланцюга, укладаються всередині вогнестійких оболонок. Для запобігання утворенню іскор або дуг в освітлювальних установках дотримані певні найменші відстані від струмоведучих частин будівлі, між оголеними струмоведучими частинами та між ними і неізольованими металевими частинами [41].

Завдання з безпеки у надзвичайних ситуаціях виконано в додатку А.

**Висновки по розділу:** Проведений аналіз літератури та нормативної документації з охорони праці та виконані розрахунки дозволили:

провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з монтажем сонячних електростанцій, які працюють в складі електроенергетичної системи України ;

розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при електричному монтажі електричних панелей;

запропонувати параметри заземлюючого пристрою для конкретних умов експлуатації сонячної станції;

описати основні заходи протипожежного захисту сонячних станцій.

Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт при експлуатації та електричному монтажі сонячної станції

Також в даному розділі було розглянуто питання забезпечення стійкості роботи фотовольтаїчної електростанції. В ході дослідження, проведено розрахунки впливу електромагнітних випромінювань на конструктивні елементи станції, та запропоновано захід щодо підвищення стійкості роботи, у вигляді екранування. Такий крок дозволяє забезпечувати безпечну роботу персоналу, безперервність технологічного процесу по генерації та відпуску електроенергії. Проведене дослідження обґрунтовує доцільність застосування вищезгаданих засобів для нівелювання шкідливого впливу надзвичайних ситуацій, на обладнання електростанції, забезпечення повного використання робочого ресурсу обладнання, забезпечення безперервності виробничого процесу.

## ВИСНОВКИ

У першому розділі роботи було проведено аналіз літературних джерел відповідно з темою магістерської кваліфікаційної роботи. Досліджено методи стеження за денним та річним циклами руху Сонця, а також методи орієнтації ФМ під оптимальним кутом до сонячних променів. Сформульовано основні вимоги до систем стеження за рухом Сонця. Здійснено огляд існуючих рухомих фотоелектричних енергоустановок.

У другому розділі було вирішено два основних завдання:

1. Для Міста Вінниці було виконано розрахунок кількості прямої сонячної енергії, що потрапляє на одиницю площі поверхні ФМ. З огляду на те, що даний показник прямим чином залежить від кута нахилу ФМ відносно сонячних променів, було проведено обрахунки даної величини для кожного місяця, а також для трьох варіантів виконання фотоелектричних енергоустановок. Проведено порівняння ефективності застосування різних трекерних систем, у порівнянні з електроустановкою зі стаціонарними панелями. Для візуалізації проведених розрахунків в середовищі Microsoft Excel побудовано порівняльні гістаграми.

2. Проведено розрахунок кількості виробленої електроенергії фотоелектричною енергоустановкою встановленою потужністю 5 кВт. Розрахунки виконані для кожного місяця року, для трьох варіантів виконання енергоустановки. Проведено порівняння ефективності монокристалічних та полікристалічних ФМ однакової потужності. За результатами розрахунків в середовищі Microsoft Excel побудовано порівняльні гістаграми.

У третьому розділі проведено розрахунок витрат на конструювання фотоелектричної енергоустановки потужністю 5 кВт для трьох варіантів виконання: рухомої на базі двоосевого трекера, рухомої на базі одноосевого трекера та стаціонарної.

Проведено розрахунок доходів від продажу електроенергії, а також чистий річний прибуток з врахуванням щорічних експлуатаційних витрат. Розраховано термін окупності для трьох варіантів виконання енергоустановки, зроблено висновок про найбільш доцільний варіант з економічної точки зору. За результатами розрахунків в середовищі Microsoft Excel представлено баланс для трьох варіантів виконання проекту до кінця дії зеленого тарифу в Україні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комарова О. Альтернативні джерела енергії в Польщі [Електронний ресурс] / Ольга Комарова // Енергія природи: інформаційний портал про альтернативні джерела енергії у світі та Україні. – Електронні дані.– Режим доступу. - <http://alternativenergy.com.ua/blog/2016/05/18/energy-polish-2/> (дата звернення 16.12.2016 р.). – Назва з екрана.
2. Тарасенко А.Б. Техніко-економічні аспекти мережевої сонячної енергетики в Україні. / А.Б. Тарасенко, В.Л Кочаков, Е.Е.Терукова // Журнал технічної фізики. – 2014. – К. – 85-92 с.
3. Konza 2 axis Automatic Solar Tracker: Available: <http://www.konzasolar.com>
4. Поворотное устройство для слежения за Солнцем: Available: <http://www.selteq.com>
5. TITAN TRACKER FPV model TT125-211 ATR: Available: [http://www.titantracker.es/v\\_portal/apartados/apartado.asp?te=701](http://www.titantracker.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=701)
6. Home Solar Panels, Commercial & Utility-Scale Solar Solutions: Available: <http://www.us.sunpower.com>
7. SOLAR POWER TRACKING: Available: <http://www.merlinpowersystems.com/products/productscommercial/products-commercial/>
8. Development of a solar photovoltaic system equipped with a sun tracker system: a case study in kuching, Sarawak  
Available:  
[http://www.arpapress.com/Volumes/Vol7Issue4/IJRRAS\\_7\\_4\\_04.pdf](http://www.arpapress.com/Volumes/Vol7Issue4/IJRRAS_7_4_04.pdf)
9. Лебедев Е.Д. Управление вентиляными электроприводами постоянного тока. / Е.Д. Лебедев, В.Е.Неймарк, О.В. Слежановский // Издательство МАИ. –2003. – М. – 200с.



10. Сорокин Г.А. Электроприводы энергетических гелиоустановок без концентрации излучения. / Г. А. Сорокин // Электромеханика. – 2005. – М. – 176с.
11. Беленький Ю.М. Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов. / Ю.М. Беленький, Г.С. Зеленков, А.Г. Микеров // Изд-во ЛДНТП, Ленинградское отделение. –1987.–Л. – 29 с.
12. Голландцев Ю.А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели./ Ю.А. Голландцев, Е.М. Потапенко, Е.В. Васильева // ГНЦ–ЦНИИ «Электроприбор».–2003. – М –148 с.
13. Частотные преобразователи. ЗАО Эрасиб  
Available: <http://www.erasib.ru>
14. Электродвигатель шаговый ШД – 5Д1МУЗ. Технические условия: ТУ16 – 515.166.79.
15. Осипов О.Ю. Мультикоординатные электромехатронные системы движения: монография / О.Ю. Осипов, Ю.М. Осипов, С.В. Щербинин // Системы управления и радиоэлектроника.– 2010. – М.– 320 с.
16. Система следящая за солнцем для параболического концентрирующего солнечного водяного коллектора  
Available: <http://www.delaysam.ru/dachastroy/dachastroy57.html>
17. Тхеин Лин У. Исследование и разработка автоматических систем управления мобильных солнечных энергетических установок в условиях длительного затенения: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Тхеин Лин У.–2010. – М. – 158с.
18. Овсяннико Е. М., Особенности следящих электроприводов гелиоустановок.: - Праці МЕІ, 1979. - С. 79-85.
19. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций / В. А. Агеев. – М. : МРСУ, 2004. – 174 с.

20. Бабієв Г. М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г. М. Бабієв, Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // ЕЛЕКТРИЧНИЙ Журнал, Запоріжжя: ВАТ "Гамма", 1998. – №1, С. 63-64.

21. Рубан С. С. Нетрадиционные источники энергии / С. С. Рубан. – М. : Энергия, 2003. – 134 с.

22. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Н. В. Харченко. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

23. А.С. Петрусёв РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК / А.С. Петрусёв, Е.Ж. Сарсикеев, Д.Ю. Ляпунов // Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15), С. 77-82. Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal>

24. Как заработать на солнце? Обзор рынка солнечной энергетики, ситуация в украине и коммерческие перспективы [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://kreston-gcg.com/wp-content/uploads/2018/01/How\\_to\\_make\\_money\\_in\\_the\\_sun\\_overview\\_of\\_the\\_solar\\_energy\\_market.pdf](https://kreston-gcg.com/wp-content/uploads/2018/01/How_to_make_money_in_the_sun_overview_of_the_solar_energy_market.pdf)

25. Renewable Energy Employment [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=7&subTopic=10>

26. Bazyari, S., et al. (2014) A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Perfomance of Photovoltaic Power Plants. Journal of Power and Energy Engineering, 2, 718-728. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://file.scirp.org/pdf/JPEE\\_2014050814004447.pdf](https://file.scirp.org/pdf/JPEE_2014050814004447.pdf)

27. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://rent techno.ua/solar/utility-scale.html>

28. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://solarsk.com.ua/uslugi/proekt-montazh>

29. Damn J. An active solar tracking system // Home Brew Magazine -1990

30. Атмосфера [Электронный ресурс] – режим доступу:

<https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/>

31. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-altek-alm-250m-250-24d.html>

32. ЕНЕРГІЯ ПРИРОДИ [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://npower.com.ua/ua/features/item/dvuhosnaya-sistema-krepleniya-fem-as-sunflower-40-4-dlya-40-fotomodulej>

33. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/uninterruptible-power-systems/inverters/setevoi-trjehfaznyi-invertor-ginlong-solis-5k.html>

34. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/%D1%81ables-connectors/kabel-dlya>

35. ENERTIME [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://enertime.kiev.ua/p630894361-datchik-solnechnoj-irradiatsii.html>

36. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/electrical-equipment/iatschitnaya-avtomatika1/>

37. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <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>

38. ST-200Z-1-D [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ru.aliexpress.com/item/1000W-1KW-Sunlight-Track-Solar-Tracker-8-12V-Linear-Actuator-Electric-Controller-DIY-Single-Axis/>

39. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві»

40. Правила улаштування електроустановок.

41. ГОСТ12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

42. ОСТ 12.0.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к рабочей зоне.

**ДОДАТКИ**



### **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

- а) актуальність досліджень обумовлена тим, що пошук шляхів підвищення ефективності відновлювальних джерел енергії є важливим, з огляду на виснаження традиційних паливних джерел енергії.
- б) наказ ректора ВНТУ № 254 від 02 жовтня 2019 р. про затвердження тем магістерської кваліфікаційної роботи.

### **2. Мета і призначення МКР**

- а) визначення впливу кута нахилу фотовольтаїчних модулів відносно сонячних променів, в різні пори року. Розрахунок кількості отриманої прямої сонячної енергії в різні пори року, для місцевості з конкретними географічними координатами
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

### **3. Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки:

1. Атмосфера [Електронний ресурс] – режим доступу:  
<https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/>
2. Овсяннико Е. М., «Особенности следящих электроприводов гелиоустановок»: - Праці МЕІ, 1979. - С. 79-85
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року»
4. Damn J. An active solar tracking system // Home Brew Magazine -1990
5. SOLAR-TECH [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://solar-tech.com.ua/>
6. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві»

7. ДСТУ 3429-96 «Електрична частина електростанції та електричної мережі.  
Терміни та визначення»

#### **4. Технічні вимоги до виконання МКР**

У роботі розглянуто наступні питання.

- Огляд літератури з питань керування рухом сонячних панелей за різними критеріями.
- Розрахунок кількості прямої сонячної енергії, що потрапляє на поверхню сонячних панелей для кожного місяця протягом року.
- Розрахунок генерації електроенергії фотовольтаїчною електростанцією потужністю 5 кВт;
- Дослідження економічного ефекту використання трекерних систем фотовольтаїчних електростанцій;
- Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

#### **5. Економічні показники**

Визначити основні техніко-економічні показники роботи електростанції і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність спорудження такої станції.

## 6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	17.09.19	20.09.19	формування технічного завдання
2	Вступ. Аналіз літературних джерел з теми оптимальної орієнтації фотоелектричних модулів відносно сонячних променів.	21.09.19	24.09.19	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Розрахунок прямої сонячної енергії що потрапляє на поверхню фотоелектричних модулів для м. Вінниця.	25.09.19	15.10.19	розділ 2
4	Розрахунок виробітку електроенергії фотовольтаїчною електричною станцією протягом року.	15.10.19	25.10.19	розділ 2
5	Техніко-економічне обґрунтування	26.10.19	30.10.19	розділ 3
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	23.11.18	26.11.19	розділ 4
7	Оформлення пояснювальної записки	27.11.19	03.12.19	
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	04.12.19	10.12.19	презентація



## **7. Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, відгук наукового керівника, відгук рецензента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

## **8. Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

## **9. Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті (БДР (БД), ДП (ДР), МКР)», 2015р.

## **10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.

## ДОДАТОК Б

### БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Системи електропостачання, як частина енергетичного господарства зустрічається повсюди, тому їх функціонування є надзвичайно важливим при НС. Вихід з ладу системи електропостачання збільшить кількість жертв в разі і призведе до зупинки підприємств, викидів небезпечних речовин, зупинки об'єктів інфраструктури тощо.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій, що безпосередньо мають вплив на підприємства транспортної галузі можна виділити як особливо небезпечні – іонізуючі випромінювання і електромагнітний імпульс.

Опромінення системи електропостачання призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення, також вплине на конденсатори в них понизиться напруга пробою і опір витoku, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність а також тангенс кута витрат.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління, сигналізації електропостачання. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах [39].

Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загоряння чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях СЕП. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, елементи, викликає коротке замикання тощо. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

Системи електропостачання в умовах НС повинні працювати без перебоїв, тому розробка заходів щодо покращення їх роботи в умовах ЕМІ та дії іонізуючих випромінювань є актуальною задачею при їх проектуванні.

### **Б.1 Дослідження стійкості роботи трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах дії іонізуючих випромінювань**

Визначаємо експозиційні дози при яких в елементах РЕА можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю А.1

Таблиця Б.1 - Експозиційні дози елементної бази електричної частини ФЕС[40]

№	Блок СФЕС	Елементи блоків.	$P_{гр,i}$ (Р/год)	$P_{гр,i}$ (Р/год)
1	Блок Живлення	Фотоелектричні панелі	$10^5$	$10^4$
		Діоди загального призначення	$10^5$	
2	Блок Інвертора	Конденсатори SMD	$10^6$	
		Резистори SMD	$10^6$	
3	Блок Управління	Мікросхеми PIC16F877	$10^4$	
		Діелектрики GTP15	$10^4$	

За мінімальним значенням  $p_{гр}$  (див. табл. А.1) межа стійкості  $p_{гр}$  роботи системи складає  $p_{гр} = 10^4$  (Р/год).

Розрахуємо допустимо максимальний час перебування елементів СЕП на території в умовах дії іонізуючих випромінювань з формули:

$$D_m = \frac{2P_1(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{K_{посл}} \quad (Б.1)$$

Де  $K_{посл}$  – коефіцієнт послаблення, 1

$t_{\Pi}$  – час початку опромінення, 1 год

$t_k$  – максимальна тривалість роботи, 20 років

$P_1$  – рівень забруднення на 1 год після аварії

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,87 (\sqrt{175200} - \sqrt{1})}{1} = 4067$$

Визначаємо допустимий час роботи РЕА:

$$t_{\text{доп}} = \left( \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{посл}} + 2 \cdot P_1 \sqrt{t_{\Pi}}}{2P_1} \right)^2, \quad (\text{Б.2})$$

$$t_{\text{доп}} = \left( \frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,87 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,87} \right) = 10750 \text{ (год)}$$

Порівняємо отримані дані:

$$D_{\text{гр}} = 10^4 > D_M = 4067.$$

Отже СФЕС з трекерною системою буде працювати безпечно в умовах іонізуючих випромінювань протягом 10750 годин.

## **Б.2 Дослідження стійкості трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах дії електромагнітного імпульсу**

В якості показника безпеки елементів системи до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [40]:

$$K_{\delta} = 20 \lg \frac{U_d}{U_{\text{В(Г)}}} \geq 40 \text{ дб}, \quad (\text{Б.3})$$

де  $U_0$  - допустиме коливання напруги живлення,  $U_{B(\Gamma)}$  - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (\text{Б.4})$$

Де  $N$  - допустимі коливання (приймається  $N = 5\%$ )

Шляхом підстановки числових даних в (4.14) отримується:

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)}$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях [20]:

$$U_B = \frac{U_d}{10^{\frac{k}{20}}} \quad (\text{Б.5})$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{10^{\frac{40}{20}}} = 0,126 \text{ (В)}$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля [20]:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B \quad (\text{Б.6})$$

Отже,  $E_{\Gamma}$  визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{I_B} \quad (\text{Б.7})$$

Після підстановки числових даних в формулу (А.7):

$$E_{\Gamma} = \frac{0,126}{5} = 0,0252 \text{ (В/м)}$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули [20]:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B \quad (\text{Б.8})$$

Тоді  $E_B$  буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2 \text{ (В/м)}$$

### **Б.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи трекерної системи фотовольтаїчної електростанції в умовах надзвичайних ситуацій**

Стійкість систем електропостачання об'єкта підвищують, підключаючи його до декількох джерел живлення, віддалених одне від одного на відстань, що виключає можливість їх одночасного пошкодження одним ядерним вибухом.

Для забезпечення надійного управління діяльністю об'єкта у надзвичайних ситуаціях мирного та воєнного часу в одному із сховищ обладнується пункт управління. Диспетчерські пункти і радіовузли розміщують по можливості у найміцніших спорудах і підвальних приміщеннях. Повітряні лінії зв'язку до найважливіших виробничих ділянок переводять на підземно – кабельні. Стійкість засобів зв'язку можна підвищити прокладанням енергопостачальних фідерів на автоматичну телефонну станцію (АТС) та радіовузлу об'єкта, підготовкою пересувних електростанцій для заряджання акумуляторів АТМ і для живлення радіовузла при відключенні основних джерел електропостачання. При

розширенні мережі підземних кабельних ліній необхідно прокласти дводротові, захищені екранами від впливу ЕМІ.

Для цього проведемо розрахунок товщини стінки екрану, для цього визначимо перехідне затухання в екрані. Вибираємо сталевий екран  $K_e = 5,2$ .

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (\text{Б.9})$$

де  $f$  - найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Для блоків системи електропостачання:

$$t = \frac{40-38,72}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,0025 \text{ (см);}$$

Обираємо товщину стінки вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Прийmemo  $t=1$ мм.

$$A = 5,2 \cdot 0,102 \cdot \sqrt{15000} = 65 \text{ (дБ)}.$$

Отже нам потрібно взяти сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля не менше 65 дБ.

**ДОДАТОК В**

Графічна частина магістерської кваліфікаційної роботи