МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ та ЕНЕРГЕТИКИ

Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр

«Розробка сонячного трекеру»



Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-43
Онопрієнко Кирило Костянтинович
Спеціальність :
105 «прикладна фізика та наноматеріали»
Освітня програма:
«Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»
Керівник: Гарячевська Ірина Василівна

Харків – 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Руслан СУХОВ
підпис

"____"_____2021 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Онопрієнко Кирило Костянтинович

1. 1. Тема роботи «Розробка сонячного трекеру», керівник роботи Гарячевська І.В. кандидат технічних наук.

Затверджені наказом по університету від 21.12.2021 року № 0210-05/2286

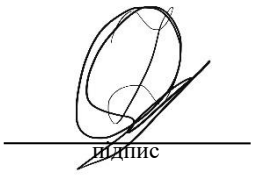
2. Строк подання студентом роботи 10.06.2022

3. Перелік питань, які потрібно розробити: Проаналізувати актуальність застосування систем стеження за сонцем, провести порівняльний аналіз існуючих рішень та сформувати класифікацію сонячних трекерів для виявлення найефективнішого типу в умовах використання на території України.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми
2	Затвердження теми на кафедрі
3	Робота над літературою та іншими джерелами
4	Написання вступу до роботи та першого розділу
5	Написання другого розділу
6	Написання третього розділу
7	Завершення написання дипломної роботи (висновки та література)
8	Подача науковому керівнику
9	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
10	Попередній захист
11	Захист

5. Дата видачі завдання 24.12.2021 р.

Студент  Кирило ОНОПРІЄНКО

підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

підпис ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Онопрієнко Кирилло Костянтинович «Розробка сонячного трекеру» (випускна робота бакалавра). – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2022 – 70 с.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновку; містить 35 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел з 15 найменувань.

Проаналізовано сучасний стан проблеми використання не комерційних систем стеження за сонцем. Розроблено та проаналізовано програмне забезпечення для одноосьових сонячних трекерів на основі найбільш типових алгоритмів, виділено переваги та недоліки.

Ключові слова: СОНЯЧНИЙ МОДУЛЬ, СИСТЕМА СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ, СОНЯЧНІЙ ТРЕКЕР.

ABSTRACT

Onoprienko Kirill Konstantinovich "Development of a solar tracker" (bachelor's thesis). - Kharkiv: KhNU. VN Karazin, 2022 – 70 p.

The work consists of an introduction, three sections, a conclusion; contains 35 figures, 6 tables, a list of used sources of 15 items.

The current state of the problem of erosion of non-commercial solar tracking systems is analyzed. Software for single-axis solar trackers based on the most typical algorithms has been developed and analyzed, advantages and disadvantages have been identified.

Keywords: SOLAR MODULE, SOLAR TRACKING SYSTEM, SOLAR TRACKER.

ЗМІСТ

ВСТУП..... 7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ..... 9
1.1. Теоретичне обґрунтування застосування сонячного трекера 9
1.2. Залежність ефективності сонячної панелі від кута нахилу та температури її поверхні..... 12
1.3. Затінення як причина низької ефективності сонячних панелей 22
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОРІЄНТУВАННЯ 26
2.1. Способи орієнтації сонячних фотоелектричних модулів 26
2.2. Різновиди та порівняння систем стеження за сонцем 28
2.3. Розрахунок часу кута на кута нахилу сонячної панелі 44
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ООДНОСЕВИХ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ..... 53
3.1. Переваги одноосьових систем стеження за Сонцем 53
3.2. Розробка та аналіз програмного забезпечення для систем стеження за сонцем на основі теоретичних даних..... 54
ВИСНОВОК..... 68
ЛІТЕРАТУРА..... 69

ВСТУП

В сучасному світи технології постійно розвиваються, щоб знайти практичні рішення для попиту в галузі енергетики, зокрема зеленої енергетики. Останнім часом значну тенденцію у виробництві відновлюваної енергії було зроблено за рахунок різних винаходів, технічних та механічних альтернатив. Сонячна енергія займає важливе місце у виробництві зеленої енергії та в дослідженнях, спрямованих на збільшення та покращення виробництва.

Енергія завжди була необхідна для розвитку суспільства з часом. Збільшення споживання енергії, яке відбулось після промислової революції, призвело до поглиблення екологічних проблем. Вплив і виснаження ресурсів, особливо оскільки більшість енергії надходить з копалин видів палива, як-от нафту і вугілля. Виснаження запасів викопного палива та глобальне потепління є двома найважливішими проблемами для забезпечення стійкості енергетичних систем у майбутньому [3].

Енергетична залежність, яку відчувають деякі країни, обмеженість джерел викопної енергії та негативний вплив викопного палива на навколишнє середовище привели дослідників до пошуку та розвитку напряму відновлюваних джерел енергії. Зусилля щодо скорочення використання викопного палива та жорсткого контролю викидів парникових газів, пов'язаних з виробництвом електроенергії, призвели до розвитку галузі відновлюваної генерації.

Пошук джерел енергії, зеленої енергії, які будуть задовольняти зростаючому попиту є одним із найбільших завдань на наступні півстоліття. Програми розвитку Європейських країн розраховані в основному до 2050 р. При написанні дипломної роботи були використані методи аналізу, узагальнення та програмного дослідження.

Об'єктом дослідження є особливості системи стеження за сонцем промислового та індивідуального типу.

Предмет дослідження розробка сонячного трекеру.

Мета – розробити сонячний трекер в якому реалізовано ефективний алгоритми стеження за сонцем для використання на території України.

Для досягнення поставленої мети було поставлено наступні завдання:

1. Проаналізувати актуальність застосування систем стеження за сонцем,
2. Провести порівняльний аналіз існуючих способів та засобів орієнтації сонячних панелей.
3. Сформувати класифікацію сонячних трекерів для виявлення найефективнішого типу в умовах використання на території України.

Наукова новизна – створення та використання алгоритмів систем стеження за сонцем з наступним визначенням більш ефективного типу для використання на території України з практичної точки зору.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Теоретичне обґрунтування застосування сонячного трекера

Сонячний трекер - система, яка позиціонує об'єкт під кутом до Сонця для збільшення та отримання максимальної ефективності. Найбільш поширеними областями застосування сонячних трекерів є позиціонування фотогальванічних панелей таким чином, щоб вони залишалися перпендикулярними до сонячних променів, та позиціонування космічних телескопів таким чином, щоб вони могли визначати напрям сонця. Сонце на небі. Якщо тримати панель перпендикулярно Сонцю, чим більше сонячного світла потрапляє на сонячну панель, тим менше світла відбивається, тим більше енергії поглинається [5].

Сонячне відстеження використовує складні прилади визначення положення Сонця стосовно об'єкту, який необхідно вирівняти. Ці прилади часто включають мікроконтролери, які можуть обробляти складні алгоритми, щоб дозволити системі відстежувати сонце, та датчики, які надають комп'ютеру інформацію про положення сонця або, при підключенні до сонячної панелі за допомогою простої друкованої плати, можуть відстежувати сонце без потреби. комп'ютер.

Дослідження показують, що кут освітлення впливає на потужність сонячної панелі. Сонячна панель, розташована точно перпендикулярно Сонцю, виробляє більше енергії, ніж сонячна панель, розташована не перпендикулярно. Малі перпендикулярні кути менше впливають на вихідну потужність ніж великі кути. Крім того, кут нахилу Сонця змінюється залежно від сезону з півночі на південь та зі сходу на захід щодня. Отже, хоча відстеження зі сходу на захід важливо, відстеження з півночі на південь має менший вплив [3].

Сонячні трекери пропонують значні переваги для відновлюваних джерел енергії. Завдяки сонячному відстеженню вироблення енергії може бути збільшено приблизно на 30-40%. Збільшення потужностей обіцяє відкрити нові ринки сонячної енергії. Проте сонячні трекери мають кілька істотних недоліків. Статичний фотомодуль може мати десятирічну гарантію та практично не потребує обслуговування. Сонячні трекери, з іншого боку, мають набагато коротші гарантії і вимагають одного або кількох приводів для переміщення панелі. Ці рухомі частини збільшують витрати на встановлення та знижують надійність; активні системи стеження також можуть споживати невелику кількість енергії (пасивні системи не потребують додаткової енергії). Програмувальні системи стеження значно дорожчі, та вимагають додаткового обслуговування і зношуються набагато швидше, ніж статичні сонячні панелі [1].

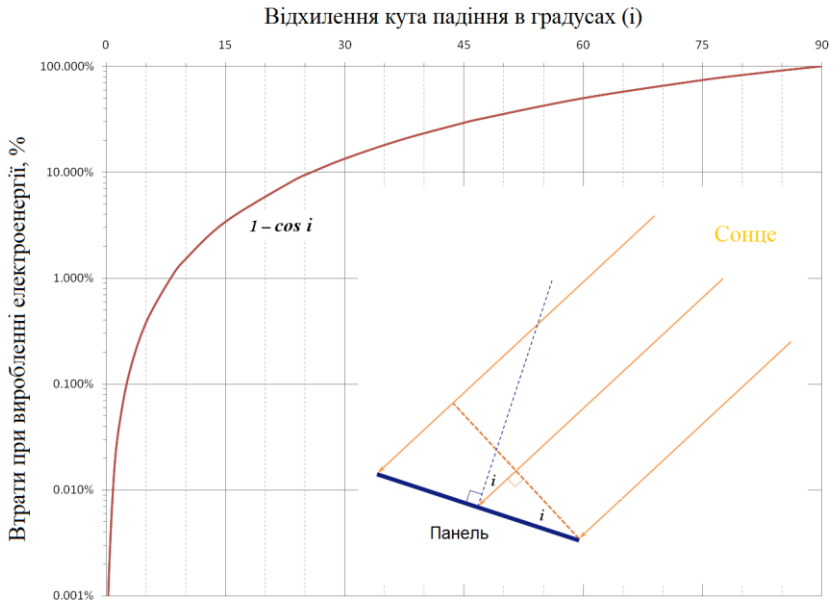


Рис 1.1. Величини втрат виробництва електроенергії від сонячних батарей залежно від кута нахилу

На даній діаграмі показана залежність величини втрат при виробництві електроенергії сонячними панелями від кута відхилення оптимального положення площини панелі. З графіка залежності видно, що трекер з точністю ±5° забезпечує уловлювання панеллю понад 99,6% енергії прямих променів та 100% розсіяного світла [1].

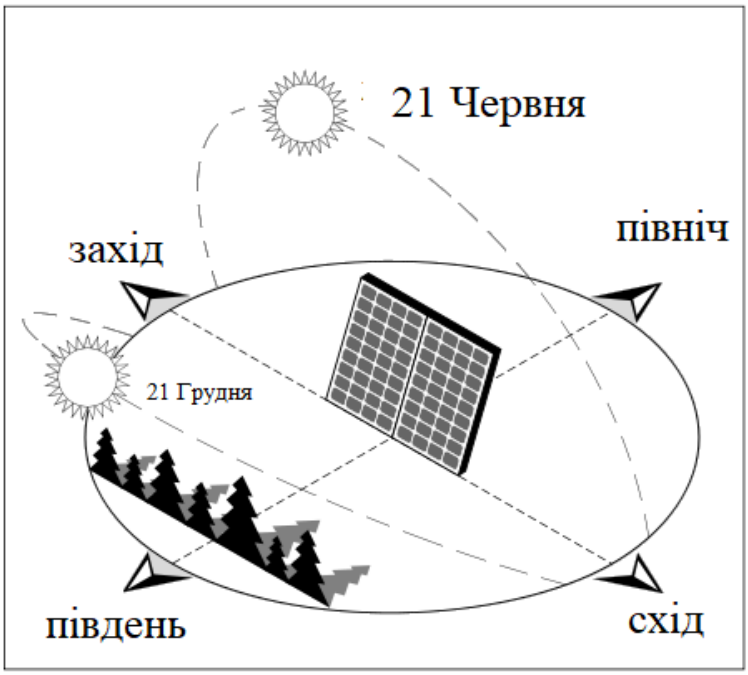


Рис. 1.2 Орієнтація панелі в розі вітрів.

З огляду на особливості добової траєкторії руху сонця можна сказати, що ефективний кут повороту панелей становить близько 150°. Панель, закріплена в напрямку рівно посередині між точками заходу та сходу сонця, втрачає до 75% максимально можливої потужності в ранковий та вечірній годинник. Поворот панелі зі сходу захід для мінімізації цих втрат називається однокоординатним відстеженням.

Окрім добового руху зі сходу на захід, сонце здійснює сезонне переміщення між північною та південною сторонами світла на 46°. Для врахування цих змін потрібне відстеження двох координат. Локатори сонячних

панелей бувають кількох конфігурацій, керуються різними алгоритмами при виборі напрямку та мають різні механізми приводу. Незважаючи на безліч можливих відмінностей трекерів, найчастіше їх поділяють на два типи – однокоординатні та двокоординатні [2]. Трекери потрібні для орієнтації робочої за поверхні сонцем.

Робочою поверхнею у цьому випадку є:

1) Батарея, що складається із сонячних фотоелектричних модулів:

2) Параболічне дзеркало-рефлектор, що фокусує сонячну енергію на двигун Стірлінга, що виробляє електрику.

3) дзеркало, що фокусує сонячну енергію на будь-який інший приймач сонячної енергії, яким може бути пристрій або теплоносій, залежно від типу системи.

4) оптичні пристрої та ін.

Для досягнення їх максимальної ефективності необхідна точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонці. При цьому завданням трекера є зменшення кута падіння сонця на робочу поверхню сонячних панелей.

1.2 Залежність ефективності сонячної панелі від кута нахилу та температури її поверхні

В останні роки попит на нові джерела енергії неухильно зростає у всьому світі через низку факторів, таких як швидке економічне зростання і зростання населення, особливо в країнах, що розвиваються. Згідно з річним звітом Міжнародного енергетичного агентства за 2002 рік, викиди CO_2 та загальний обсяг первинної енергії збільшиться приблизно вдвічі порівняно з рівнем 2000

року. Виявлено, що високе споживання енергії викликає ряд серйозних проблем, таких як глобальне потепління [2].

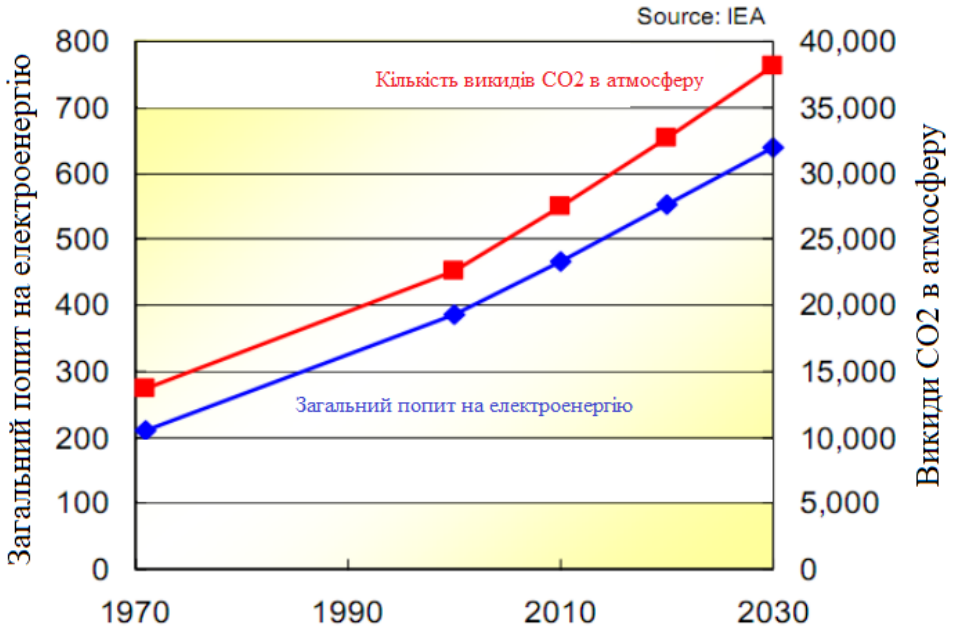


Рис.1.3. Тенденція викидів CO2 та первинної енергії у всьому світі.

Важливим заходом для обмеження глобального потепління є скорочення викидів парникових газів. Тому заміна традиційних видів палива новими, підвищує інтерес до використання відновлюваних джерел енергії.

Це підтверджується тим, що відновлювані джерела енергії є довгостроковими, невичерпними та надійними джерелами енергії, що не забруднюють довкілля. Вони виявилися особливо перспективними у низці областей, де використовуються фотоелектричні (PV) системи для прямого перетворення сонячної енергії на електрику. З цієї причини зусилля багатьох дослідницьких центрів спрямовані на постійне підвищення ефективності фотоелектричних систем.

Ефективність є ключовим показником сонячної батареї. З'ясувалося, що КПД багато в чому залежить від робочої температури осередку та нахилу фотоелектричної панелі по відношенню до сонячних променів.

Для підтвердження теоретичних даних на території Русенського університету, був проведений експеримент за визначенням залежності значення ККД від температури та кута нахилу сонячної панелі.

Сонце постійно змінює становище протягом дня та в різну пору року. Положення сонця також залежить від розташування, тому важливо знати широту та довготу. Положення зазвичай задається в термінах азимуту та кута піднесення.

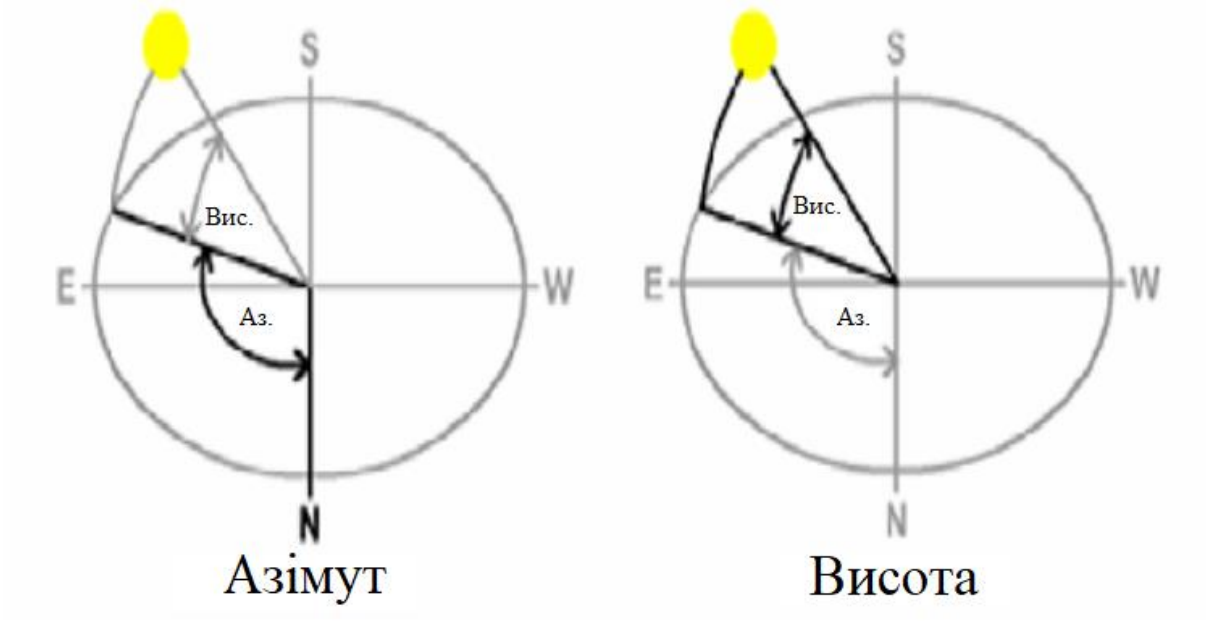


Рис.1.4. Кути, що визначають положення Сонця

Азимут - це горизонтальний кут сонця по відношенню до півночі.

Він завжди позитивний за годинниковою стрілкою від півночі та має значення в діапазоні (-180°<Аз<180°). Зважаючи на те, що висота - це вертикальний кут, який сонце утворює з горизонтальною поверхнею, і має значення (0° < Вис < 90°).

У даному експерименті використовується кілька методів оптимізації ефективності енергії, що виробляється фотоелектричним модулем, та представлені результати дослідження впливу температури фотоелектричної панелі та кута її вихідної потужності. Було запропоновано та використано кілька методів для вимірювання деяких значень енергії, що характеризують фотоелектричну систему (таблиця 1).

Основні величини для вимірювання: Табл.1.

Параметр	Опис
G, $W.m^{-2}$	Сонячная радіація
I_n, A	Номінальний струм
U_n, V	Номінальная напруга
T_{mod}, °C	Температура поверхні панелі
T_{amb}, °C	Температура повітря

На рис. 1.5. показано експериментальна конфігураційна установка вимірювальної системи. Вона складається з наступних елементів:



Рис.1.5. Експериментальна вимірювальна установка.

1)монокристалічний фотомодуль типу SUNSET AS 110 (табл. 2);

2) цифровий вольтметр для вимірювання номінальної напруги та напруги холостого ходу;

3) цифровий амперметр для вимірювання номінального струму та струму короткого замикання;

4) Цифровий люксметр типу PU550 для виміру освітленості. Використовується визначення перпендикулярності сонячного проміння до поверхні пластини;

5) термопара типу DT838 для вимірювання температури панелі;

6) Термометр для вимірювання температури повітря;

7) Спеціальний транспортир визначення нахилу фотомодуля.

Табл. 2.

Опис	Значення
Тип	SunSet
Максимальна потужність , P_{max}, W	110
Номінальний струм I_n, A	6.6
Номінальна напруга , U_n, V	16.7
Струм Короткого замикання I_{sc}, A	7.5
Напруга холостого ходу U_{oc}, V	20.7

На рис.1.6. представлена схема, що використовується в дослідженні системи.

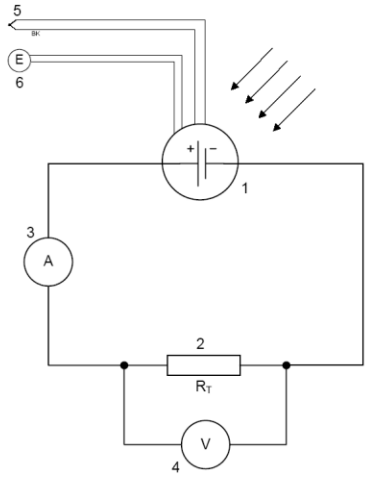


Рис. 1.6. Схема підключення

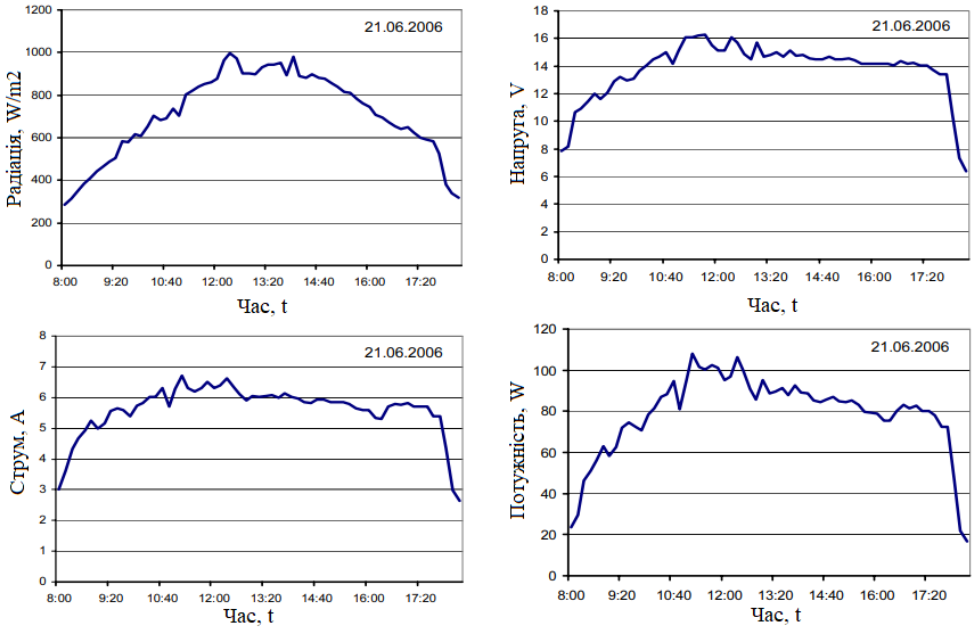


Рис. 1.7 Типові криві температури модуля, температури повітря та сонячної радіації для ясного сонячного дня.

1 - фотомодуль;

2 - опір навантаження (RT=2,5 Ом);

3 - амперметр;

4 - вольтметр;

5 - термопара;

6 - датчик люксметра.

Опора панелі дозволяє нахиляти фотоелектричний модуль. Досліди проводилися в:

1) фіксованому положенні: модуль орієнтований на південь із нахилом 30°;

2) Одноосьове обертання (схід-захід): по азимуту сонця;

3) Двохосьове обертання:

4) Одноосьове (схід-захід) обертання з панельним охолодженням.

5) Двохосьове обертання з панельним охолодженням.

6) Результати пошуку.

7) На рис. 1.7 показані типові характеристики сонячного випромінювання та щоденний тренд виміряної напруги, струму та потужності, що генерується системою.

Сонячна радіація має характер зміни, що настає за азимутом сонця.

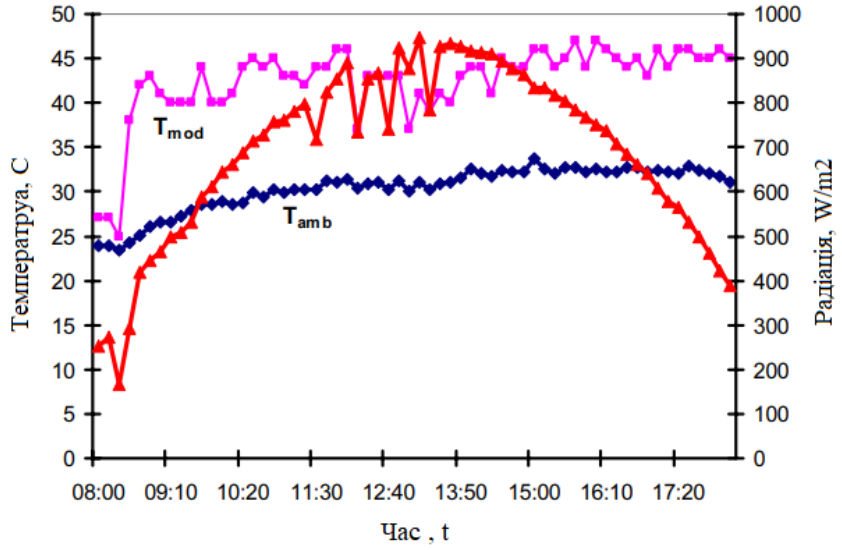


Рис.1.8. Зміна сонячної радіації та температури модуля та повітря в без хмарний сонячний день 21 червня 2006 р.

На рис. 1.9 ілюструє взаємозв'язок між інтенсивністю сонячного випромінювання та добовим виробленням енергії. Як видно з малюнка, енергія має тісний зв'язок із сонячним випромінюванням.

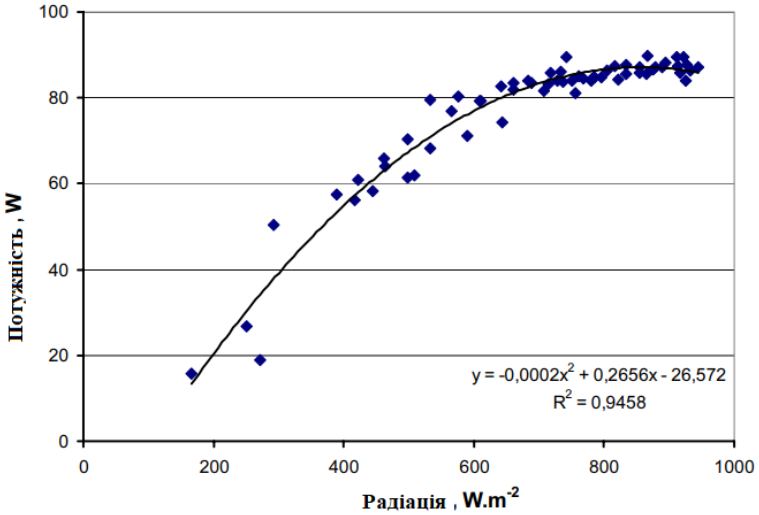


Рис.1.9. Залежність потужності, що виробляється від сонячної радіації

Максимальна потужність модулыв фотоелектричної панелі досягається між 10.30 та 16.30 годиною, її значення знаходиться в діапазоні (80 - 107,96) Вт та залишається відносно постійним протягом часу, коли сонячне випромінювання змінюється від 700 до 998 Вт.м-2. [4] На малюнку показано результати вимірювань при підключенні та моніторингу модуля. Порівнюючи потужність, що відбирається від фотоелектричного модуля з системою стеження і без неї, видно, що з такою системою потужність, що отримується, значно вища протягом більш тривалого періоду доби.

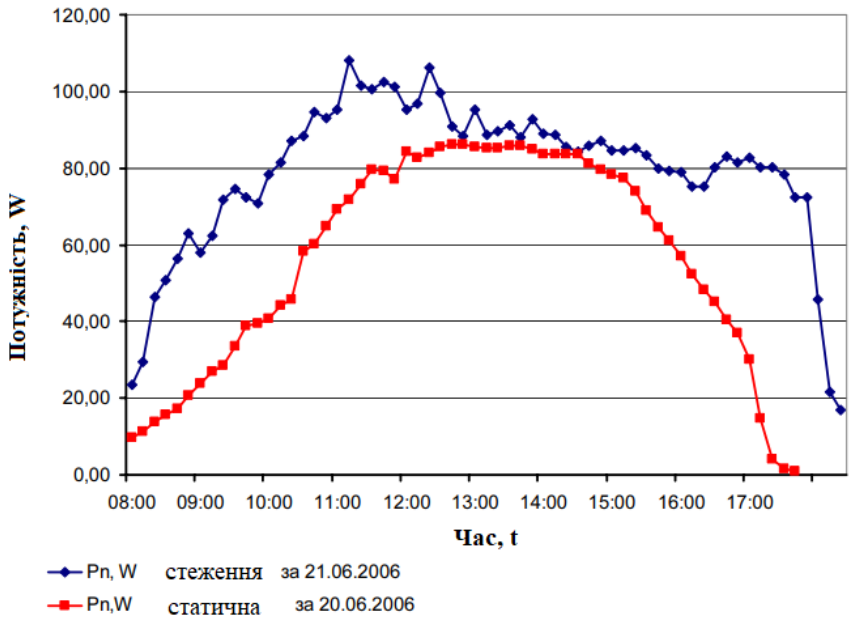


Рис.1.10. Зміна сонячної радіації , температури модуля та повітря в ясний сонячний день 21 червня 2006 року

У цілому нині зміна потужності має аналогічний характер, але за наявності системи стеження виходить значно більше потужності (енергії) [4]. Це з тим, що стаціонарні системи встановлюються під кутом, відповідним полуденному сонцю, й у час сонячні промені падають на фотоелектричний генератор під меншим кутом.

Це призводить до зниження ККД та терміну служби фотоелектричного генератора.

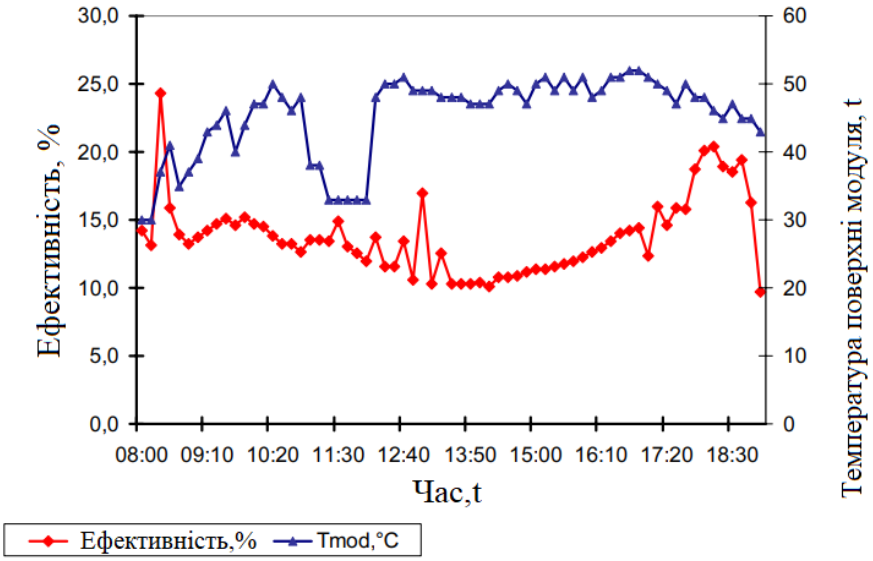


Рис.1.11. Добовий показник температури фотоелектричної панелі 23 червня 2006 року

Панель охолоджується щогодини з 10:00 до 15:00, а вимірювання проводяться кожні 10 хвилин. Аналіз зміни ефективності показує, що вона є найвищою на початку та в кінці дня. Це факт пояснює сильну температурну залежність фотоелектричного модуля [5].

В результаті охолодження температура модуля знижується в середньому з 10 до 14°C, що збільшує потужність, що виробляється з 10 до 13,9%. Це визначається основі аналізу даних.

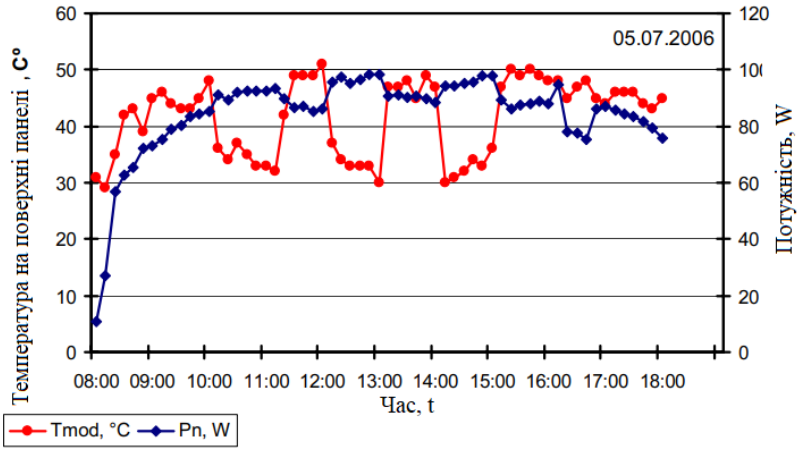


Рис.1.12. Зміна вихідної потужності в залежності від температури панелі

Отримані часові графіки для решти днів мають аналогічний характер змін. Візуалізація даних для окремих літніх днів свідчить, що інтенсивність сонячної радіації дуже близька до значень основного параметра, що визначає положення та форму кривої розподілу (літній період) [6].

Висновок. За результатами дослідження та отриманих результатів можна зробити такі основні висновки:

1. Оптимальний кут нахилу модуля по відношенню до горизонту сильно впливає на кількість виробленої потужності;

2. У ясні літні дні сонячна радіація швидко підвищує температуру модуля, що негативно впливає на потужність, що виробляється модулем;

3. Охолодження модуля дає значний ефект та збільшує потужність на 12%. Дослідження може бути використане для прогнозування витрати електроенергії харчування малопотужних споживачів від автономних фотоелектричних систем.

1.3 Затінення як причина низької ефективності сонячних панелей

Затінення може значно знизити продуктивність системи. У дослідженні 2005 року було ретельно вивчено 500 сонячних фотоелектричних систем. Половина систем відчувала затінення цілий рік.

Втрати електроенергії коливалися від 3 до 10 відсотків, а ще понад 80 відсотків перевірених систем постраждали в зимове півріччя. Екрануючі блоки на фотоелектричному модулі можуть призвести до втрати ефективності до десяти відсотків. Щоб це зрозуміти, потрібно заглибитися в технологію сонячних батарей.

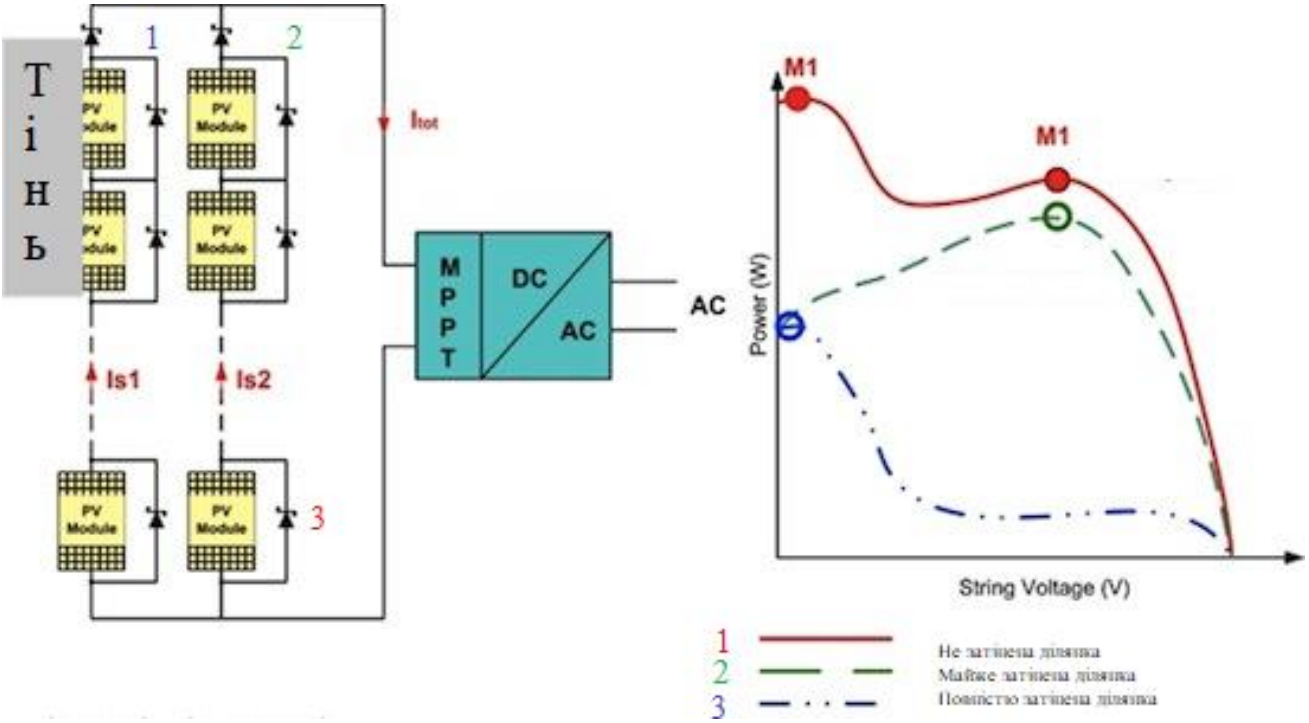


Рис. 1.13. Залежність по потужності системи сонячних панелей від часткового затінення.

Сонячні модулі складаються з кількох фотоелементів, зазвичай до 72 окремих блоків. Це велике число необхідно, тому що сонячні елементи мають низьку напругу, отже, має бути отримана напруга, сумісна з мережею.

Якщо невеликий відсоток цих сонячних елементів виходить із ладу через затінення, напруга всього сонячного модуля логічно знижується. Однак це не найбільша проблема[7].

По суті, ці затінені сонячні елементи діють як гальмо потоку електрики: вони не лише обмежують вироблення енергії, а й неприпустимо перешкоджають потоку енергії, що генерується незатіненими сонячними елементами. оскільки сонячні елементи зазвичай працюють за принципом послідовного з'єднання.



Рис. 1.14. Приклад часткового затінення сонячної електростанції

По суті, ці затінені сонячні елементи діють як гальмо потоку електрики: вони не лише обмежують вироблення енергії, а й неприпустимо перешкоджають потоку енергії, що генерується незатіненими сонячними елементами. оскільки сонячні елементи зазвичай працюють за принципом послідовного з'єднання.

Результат можна порівняти із зігнутим садовим шлангом, тому ми говоримо про принцип роботи садового шланга: завдяки екранованим елементам лише частина енергії, що ефективно виробляється незатіненими сонячними елементами, досягає ланцюга живлення.

З одного боку, це негативно впливає на загальну ефективність фотоелектричної системи, але може мати інші наслідки. Особливо небезпечним є накопичення електронів, які в гіршому випадку можуть пошкодити або навіть спалахнути чутливі фотогальванічні елементи. На жаль, багато тіней лягає на фотоелектричні модулі, що знижують ефективність усієї системи.

Щоб протидіяти цій потенційній небезпеці, необхідно чітко визначити форму можливих елементів затінення. На цю область впливають різні фактори:

1) Затінення, викликане розташуванням сонячних модулів, в основному пов'язане зі структурним станом будинку, сусідніх будівель або навколишнього середовища. Цими причинами затінення зазвичай є дерева, паркани, сусідні будівлі, димоходи, стовпи та лінії електропередач, супутникові тарілки або високі антени, а також громовідводи.

2) Затінення, пов'язане з будинком, здебільшого викликане власними виступаючими вікнами, камінами та верандами.

3) Фактором затінення може бути не тільки навколишнє середовище, а й сама сонячна панель, особливо якщо вона оснащена кронштейнами для кріплення на плоскому даху. Болти та хомути також можуть відкидати тінь на сонячні модулі.

4) Навіть якщо умови довкілля сприятливі і не очікується затінювання, воно все одно може статися через погодні умови та чистоту. Тому що бруд і погодні умови є фактором затінення, який не можна забувати.

Тимчасове затінення викликають туман, листя, що летить, дощ, град, сніг (невеликий висоти), сміття, пташиний послід та шари пилу. Активна система очищення, яка автоматично підтримує чистоту фотоелектричної системи, запобігає цьому, у той час як періодичне вологе очищення сама по собі може ще більше підвищити ефективність за рахунок зменшення затінювання [8].

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОРІЄНТУВАННЯ

2.1 Способи орієнтації сонячних фотоелектричних модулів

З технічного погляду, орієнтація фотоелектричної системи — це орієнтація модулів на всі боки світла. Повне вирівнювання модулів на південь є ідеальним, оскільки сонячне випромінювання найвище на півдні.

Орієнтація фотоелектричної системи часто описується азимутальним кутом. Це вказує наскільки велике відхилення від оптимальної південної орієнтації (кут азимуту 0°). Отже, повний схід має азимут 90 °, а захід має азимут -90 °. Система, встановлена під кутом 45° на південь (південний захід, південний схід), як і раніше, дає 95% максимально можливої продуктивності. На плоских дахах орієнтація схід-захід може бути ідеальною, оскільки системи схід-захід краще використовують площу даху. На плоскому даху з орієнтацією схід-захід можна досягти до 40% більшої ефективності, ніж із системою, зверненої на південь.

Фотоелектричні системи забезпечують максимальну потужність, коли сонячне світло падає перпендикулярно до сонячних модулів (90 градусів). Це означає, що площина, де розташовані панелі, має бути під кутом 90 ° до сонця. Однак сонце змінює своє становище протягом дня або року, а на даху постійно встановлені сонячні модулі. Тому, як правило, вибирається кут установки, найближчий до оптимального ухилу даху в середньому протягом року.

В Україні це нахил даху від 30° до 35° . У південних країнах оптимальний нахил трохи нижчий, адже чим ближче до екватора, тим вище сонце. Як і за вирівнювання, відхилення від оптимального ухилу часто викликає лише незначні втрати врожаю. Система, звернена на південь, як і раніше, забезпечує більше 90% максимально можливої потужності навіть при ухилі 10° або 60 °. Навіть у

системах, орієнтованих на південний схід або південний захід, зниження продуктивності незначне на схилі від 10º до 60 º. Як правило, чим південніше орієнтована система, тим вигідніше мати невеликий кут нахилу модулів.

Системи Схід-Захід можуть забезпечити високу вироблення енергії до 90% максимальної ефективності, особливо коли модулі нахилені від 0º до 20 º. Значні втрати енергії трапляються лише тоді, коли фотоелектрична система орієнтована на північний схід, північний захід або північ [7].

Системи дахів із ухилом понад 30 º забезпечують лише половину виробництва енергії порівняно із системою, орієнтованою на 30 º на південь. Сезон року також впливає на оптимальний кут нахилу. Взимку сонце низьке, тому система з крутішим ухилом даху забезпечує набагато більшу віддачу в зимові місяці. Коли влітку сонце високо, плоский дах є перевагою. Крім продуктивності, при виборі нахилу модулів слід враховувати снігове навантаження та самоочищення модулів. З 12-градусного ухилу модулі зазвичай очищаються самі, оскільки бруд тут може змитися дощем або снігом. Якщо нахил модулів менше 12º, можливо, захочете регулярно чистити модулі. Снігове навантаження особливо важливе для сонячних фотоелектричних систем в альпійських регіонах [6].

У регіонах із великим сніговим навантаженням слід передбачати додаткову покрівельну обшивку для систем на дахах із ухилом менше 30 º. Для цього є спеціальні системи кріплення, що дозволяють монтувати з додатковим ухилом на дах. Хоча 30-градусна фотоелектрична система, орієнтована на південь, є високоефективною, її ефективність залежить від кута нахилу сонця.

Щоб максимізувати віддачу від фотоелектричних систем, було розроблено системи стеження, у яких модулі відстежують положення сонця. Одновісні системи стеження можуть обертатися вертикально, двохосьові системи стеження можуть переміщатися вертикально та горизонтально. Залежно від системи

стеження, можливе збільшення продуктивності до 35%. Проте стежачі фотоелектричні системи дорожчі і вимагають більше місця. Тому вони практично не використовуються.

Фотоелектричні системи стеження найефективніші у південних регіонах з невеликим хмарним покривом та низькою часткою розсіяного випромінювання[9].

2.2 Різновиди та порівняння систем стеження за сонцем

Сонячні системи стеження можна класифікувати за типом руху. Є осі для рухомої поверхні: дві горизонтальні осі та одна вертикальна. Поверхню можна повертати навколо будь-якої осі, щоб отримати правильний кут для максим ального сонячного світла. Коли поверхня переміщується або коригується шляхом обертання осі, це називається одновісне відстеження.

Якщо, з іншого боку, поверхня одночасно обертається навколо осі, це називається двовісним відстеженням. Застосування одновісної системи стеження.

Вертикальні трекери зазвичай рухаються зі сходу на захід у напрямку сонця. Трекери з однією віссю мають лише один кут, який використовується як осі обертання. Цей тип трекера може збільшити виробництво енергії більш ніж 30%. Дані сонячні трекери пропонують ефективний, простий та недорогий спосіб підвищити продуктивність ваших сонячних систем. Крім того, цей трекер може оптимізувати сонячні характеристики влітку та навесні, коли сонце знаходиться вище в небі.

Однак корисність одновісних трекерів знижується в міру їхнього просування на північ. Це пов'язано з тим, що розкид кута падіння сонячного світла більше влітку та взимку. Крім того, продуктивність падає в іншу пору

року, коли сонце знаходиться горизонтально. Відстеження вертикальної осі краще працює у вищих широтах. Таким чином, сонячні системи або панелі можуть відстежувати становище сонця як узимку, так і влітку [8].

Двохосьові трекери мають два градуси осі обертання, звані «велика вісь» і «мала вісь». Вісь обертання може рухатися вгору або вниз протягом дня, щоб пристосуватися до сонця. Двохосьові системи стеження забезпечують найбільш точне вирівнювання сонячного пристрою та забезпечує на 40% більше потужності за рахунок поглинання енергії. Однак ці сонячні трекери складніші та дорогі.

Трекери з двома осями завжди звернені до сонця, оскільки вони можуть рухатися у двох різних напрямках. Існує два типи двоосьових трекерів на основі кута піднесення – похилий та азимутальний. Як правило, 2-осьове відстеження використовується для вирівнювання дзеркала та перенаправлення сонячного світла вздовж фіксованої осі на стаціонарний приймач. Оскільки ці трекери наслідують вертикальний і горизонтальний шлях сонця, вони допомагають максимально економити сонячну енергію.

Двохосні трекери з кутом місця по азимуту можуть вирішити обидві проблеми. Робота двоосьових трекерів залежить від вертикальних і горизонтальних поворотів, керованих контролером, подібно до сонячних телескопів. Вони досить дорогі, і їхнє використання зазвичай обмежується комерційними сонячними системами. Точне відстеження двоосьових сонячних трекерів також використовується в ефективних сонячних пристроях, таких як дзеркала, які спрямовують сонячні промені та перетворюють сонячне світло на тепло.

Основними відмінностями вважаються системи позиціонування, вони бувають: відкритого типу, з елементами позиціонування через датчики та

закритого типу (GPS, рух за певною програмою та ін.) Для визначення оптимального типу позиціонування в місті Ріу-дас-Острас , Бразилія ю.ш., 41,92° з.д.) у 2013 р. був проведений експеримент. Індекс сонячної радіації у регіоні становить близько 16 МДж м-2 день-1 або близько 1600 кВт м-2 рік-1 (Центр досліджень електрики [CEPEL], 2000). Загальне сонячне випромінювання було зібрано в горизонтальній площині за допомогою вимірювача сонячного випромінювання TES 1333R, який має вбудовану функцію реєстрації даних зі специфікаціями, показаними в таблиці 3 (TES Electrical Electronic Corp., 2013). Перевірки калібрування проводилися з використанням піранометра Campbell CMP3 з коефіцієнтом чутливості 12,15 x 10-6 VW-1 м-2 (Campbell Scientific, 2013).

Табл. 3.

Назва	Вимірюваний параметр
Спектр	р від 0 до 2000 Вт·м²
Точність	±10 Вт м-²
Пам'ять	32 000 зразків
Спектральний відгук	400 - 1100 нм
Температурний коефіцієнт	± 0,38 Вт м-² ºC-1
Коефіцієнт старіння	< ± 2% рік-1

Можливі кілька варіантів конструкції датчиків світла. На основі результатів, що спостерігаються в літературі, було розглянуто три конструктивні методології, а саме:

а) бічні розрізи;

б) центральна бічна шкіра;

с) з різним нахилом площин перетворювача (Hession & Bonwick, 1984; Prapas, Norton, & Proebert, 1986; Zogbi & Laplaze, 1984), як показано на малюнку 2.1. Як фоточутливі датчики використовуються світлочутливі резистори (LDR). Судячи з літературних даних, центральна бічна оболонка здається найбільш життєздатною альтернативою, оскільки має більш незалежні конструктивні параметри, такі як кут датчика і розмір оболонки [10].



Рис.2.1 Конструкції світлових датчиків (а) з бічною обшивкою (б) з центральною бічною обшивкою та (в) з різними нахилами в площинах датчиків.

В рамках цього дослідження було розроблено алгоритм управління системою стеження з розімкненим контуром для порівняння її продуктивності з продуктивністю системи, керованої датчиками LDR. У цьому алгоритмі змінна d використовується як критерій переналаштування панелі, тобто час. Оскільки значення цієї змінної перевищило задану межу, система потребує повторного калібрування:

$$d = \sqrt{\left(\gamma_s^{`} - \gamma_s\right)^2 + (\theta_z^{`} - \theta_z)^2}$$

де,

γ_S - сонячний азимутальний кут в останній переорієнтації системи, °;

$\gamma_S^{`}$ - фактичний кут сонячного азимуту, °;

θ_Z- зенітний кут в останній переорієнтації системи, °;

$\theta_Z^{`}$- фактичний зенітний кут, °.

Алгоритм, який використовується для переорієнтації на основі вимірювань LDR, представлений на малюнку 2.2

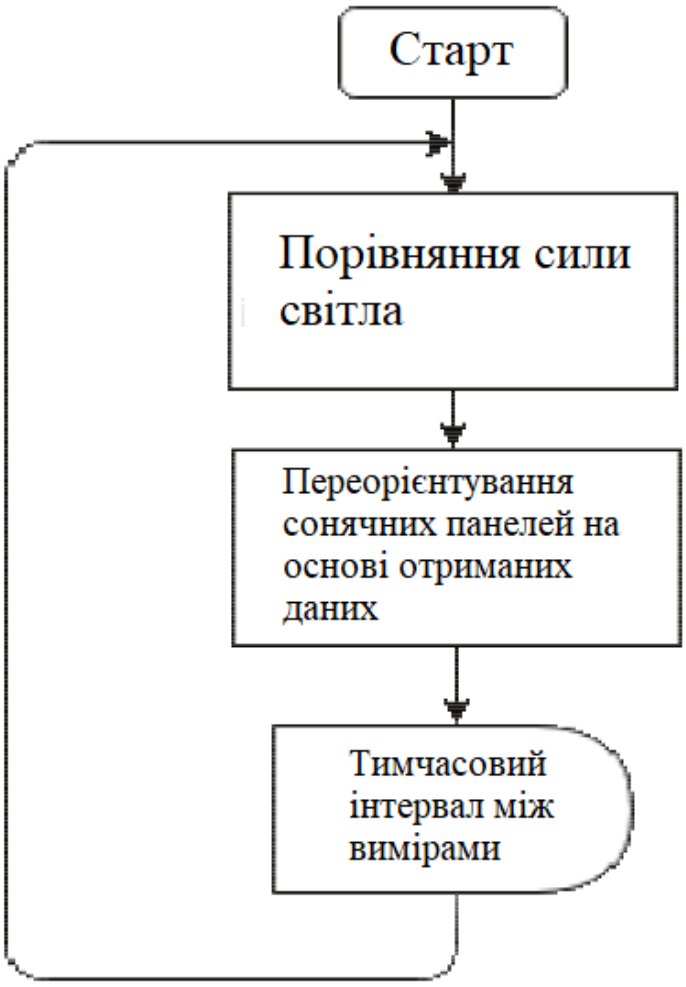


Рис.2.2. Спрощений алгоритм замкненого циклу.

Щоб оцінити продуктивність цього алгоритму без зворотного зв'язку для орієнтації сонячної фотоелектричної системи, цей алгоритм порівняли з простим і широко використовуваним алгоритмом відстеження, тобто зміною орієнтації панелі через фіксовані інтервали часу сходу та заходу сонця, обидва з однаковою кількістю переадресацій на день. Це порівняння зроблено з використанням змодельованого випромінювання, отриманого від поверхні сонячної панелі протягом одного року в умовах ясного неба.

Значення випромінювання у ясному небі на горизонтальній поверхні. Розрахункові значення радіусу, дифузного та повного випромінювання потім використовувалися в моделі анізотропного неба Переса, для моделювання випромінювання, що отримується від похилих поверхонь.

Спочатку два алгоритми, а саме алгоритм із фіксованим інтервалом часу та запропонований алгоритм без зворотного зв'язку, порівнювалися для міста Ріо-дас-Острас, де проводилися експерименти. Обидва алгоритми також порівнювалися з випромінюванням, отриманим від горизонталі та поверхні з широтним ухилом. Збільшення радіації лише на рівні поверхні також спостерігалося за двома алгоритмами при варіюванні середньої кількості щоденних переорієнтацій. Фіксований часовий інтервал та запропоновані алгоритми показані на блок-схемі на рис. 2.3.

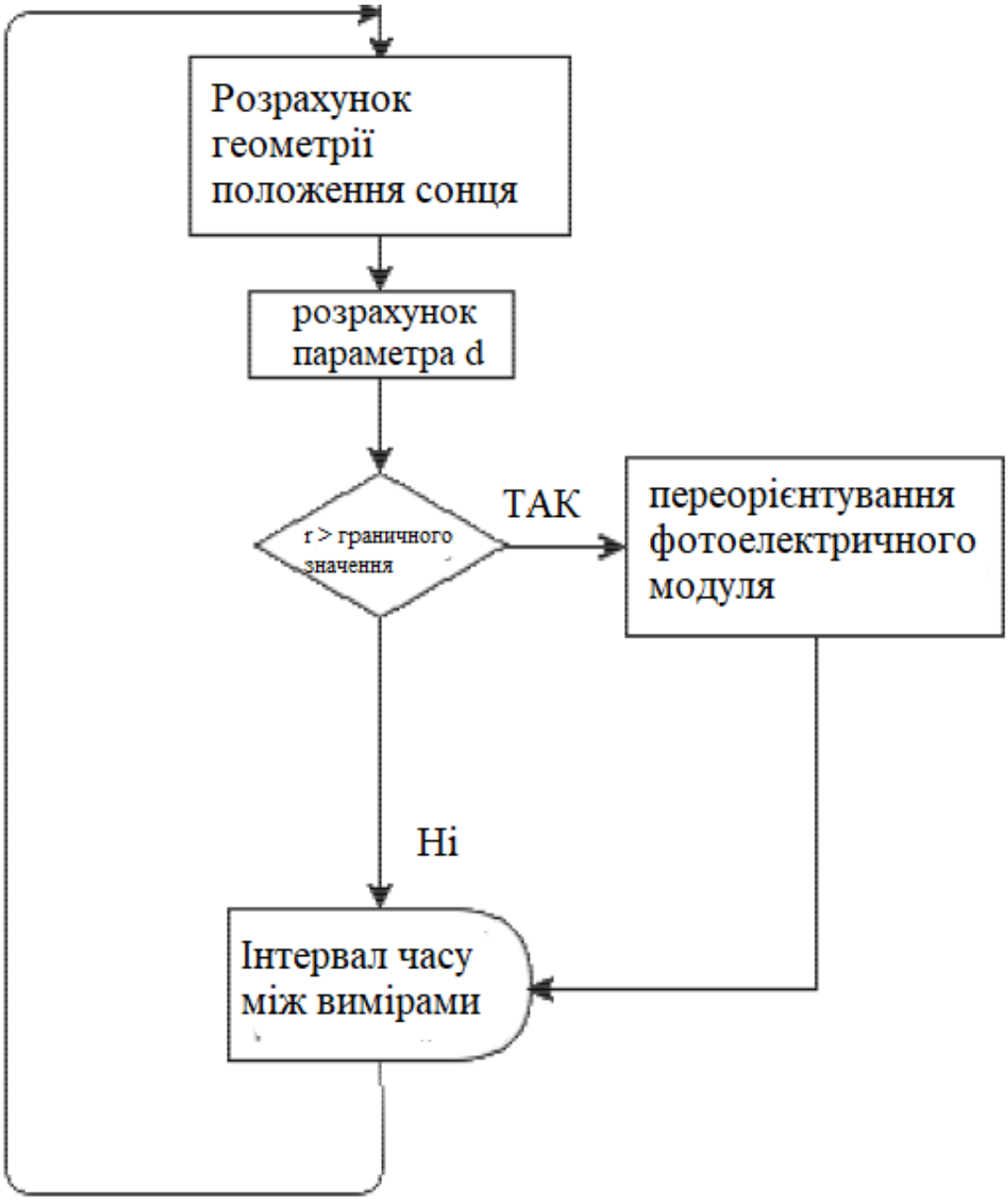


Рис.2.3.Запропонований алгоритм.

Збільшення радіації для різних широт спостерігалося шляхом моделювання річної радіації для п'яти місць розташування, як показано в Таблиці 4.

Табл. 4.

Місце знаходження	Широта (º)	Висота (м)
Медісон (США)	43,07 º північної широти	270
Мехіко (Мексика)	19,33 º північної широти	2268
Форталеза (Бразилія)	3,72º пд.ш.	21
Ріу-дас-Острас (Бразилія)	22,29º пд.ш.	13
Барилоче (Аргентина)	41,15º пд.ш.	836

Спочатку була отримана калібрувальна крива датчика радіації. Утворену криву можна побачити на рис. 2.4.

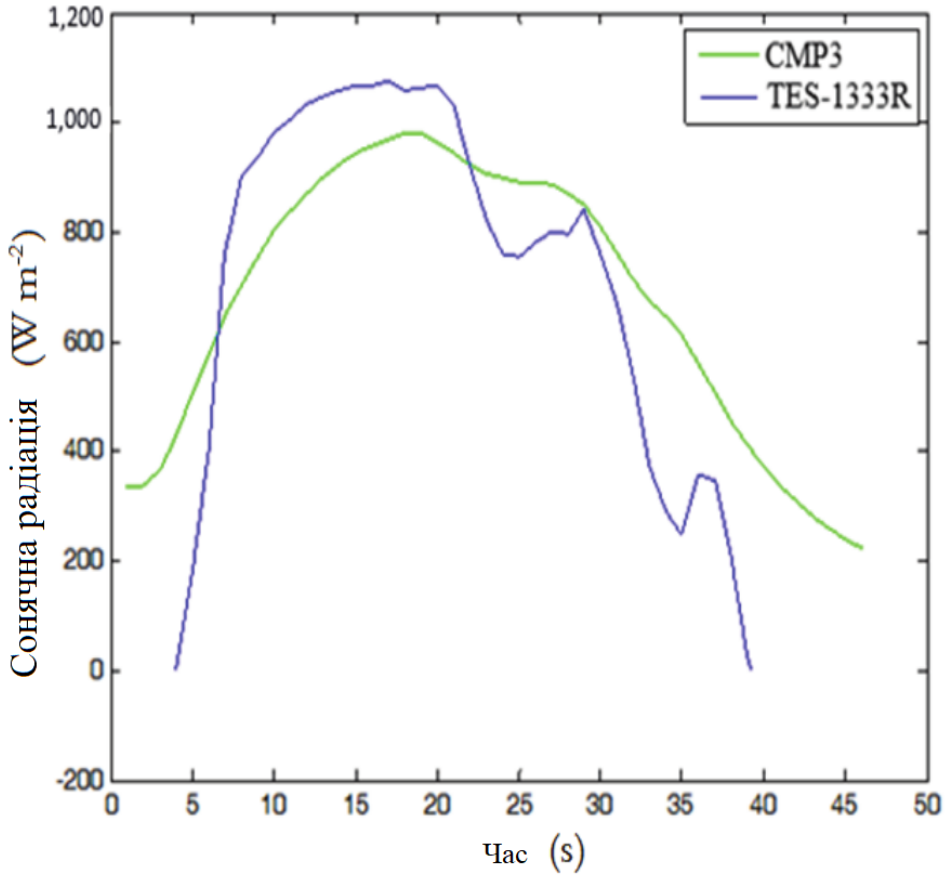


Рис.2.4. Вимірювання пірометром СМП3 (зелений) та вимірником ТЕС-1333Р (синій).

Даний параметр показує лінійну регресію тих самих даних. Як бачите, основна різниця у відгуку датчика пов'язана з часом інтегрування та відгуку кожного датчика:

$$r_x = 0.53 \cdot r_i$$

Де:

r_x - каліброване випромінювання (Вт м-²); а також

r_i - Випромінювання, виміряне вимірником TEC-1333P, (Вт м-²).

Алгоритм стеження за сонцем з фіксованим інтервалом часу та запропонований алгоритм були змодельовані для різної кількості середньодобових переорієнтацій. Щорічно враховувалася кількість середньодобових переорієнтацій [11].

На малюнку 2.5 показано збільшення випромінювання, що приймається, в розробленому розімкнутому пристрої стеження в порівнянні зі стаціонарною широтною системою. 2.5 червона лінія представляє виграш алгоритму з фіксованим інтервалом часу порівняно з фіксованою системою

Зелена лінія представляє фіксовану системою віддачу запропонованого алгоритму, як зазначалося, при середній кількості щоденних переорієнтацій більше 5, збільшення коефіцієнта посилення на поверхнях з нахилом по ширині становить менше 1,5%, і між двома алгоритмами немає істотної різниці.

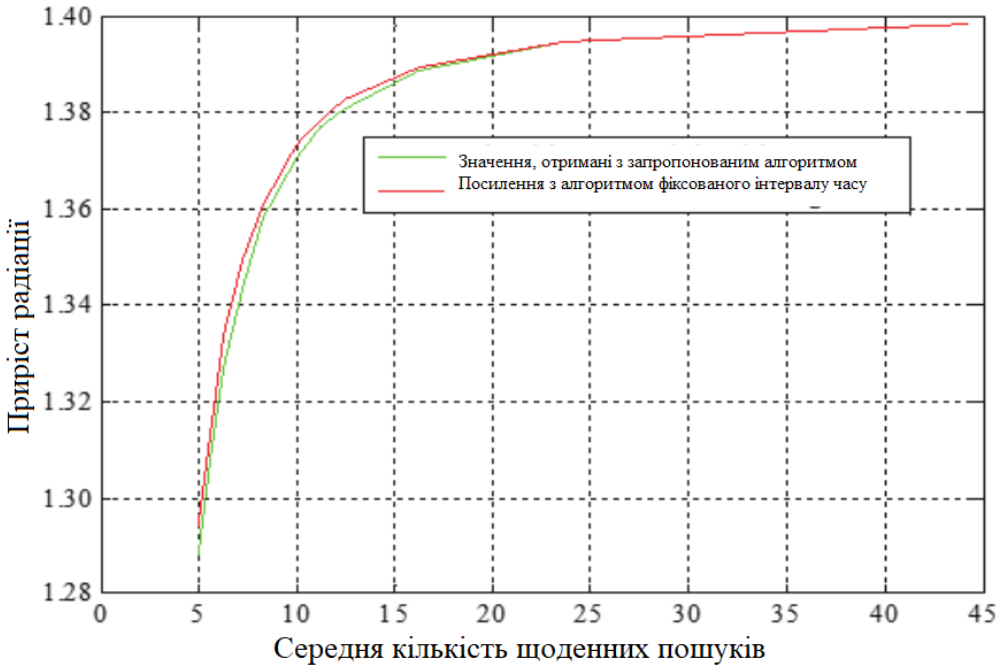


Рис.2.5. Приріст радіації як функція середньої кількості щоденних пошуків для алгоритму розімкнутого циклу з фіксованим інтервалом часу та запропонованого алгоритму розімкнутого циклу над фіксованою поверхнею з нахилом по широті.

Для обох алгоритмів збільшення продуктивності поверхні залежно від широти коливалося від 28 до майже 40%, при цьому середня кількість щоденних пошуків N коливалася від 5 до 44, що узгоджується з літературними даними (Kelly & Gibson, 2009).

Було помічено, що алгоритм з фіксованим інтервалом часу працював краще за середньої кількості пошуків на день близько 5, але зі збільшенням кількості пошуків різниця зменшувалася до того часу, поки N більше 23 запропонований алгоритм почав працювати краще. Відмінності між ними ніколи не перевищували 0,1%. Тому критерії переорієнтації були встановлені за $d \leq 22^{o}$ та оцінено збільшення за рік.

На рис. 2.6 показано зміну падаючого випромінювання для випадків фіксованої горизонтальної поверхні та похилої широти, а також для двох систем стеження, як для рівнодення, так і для сонцестояння. Знову ж таки, різниця між двома алгоритмами була незначною.

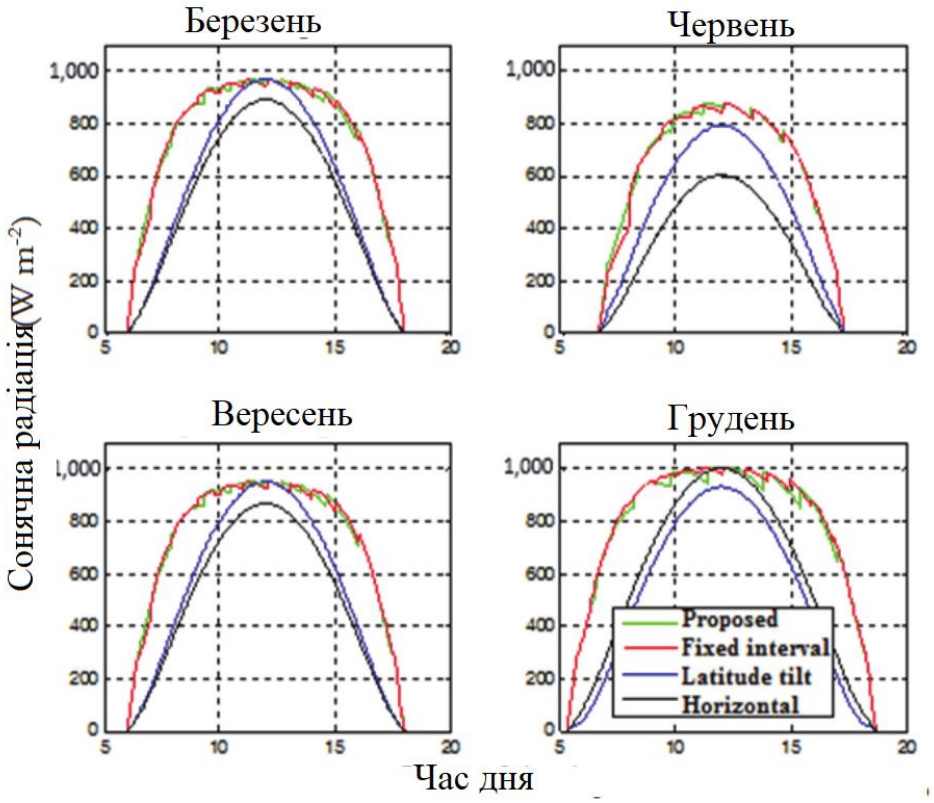


Рис.2.6. Випромінювання в дні сонцестоянь та рівнодень для горизонтального, похилого по широті, фіксованого часового інтервалу спостереження з розімкненим контуром та спостереження за допомогою запропонованого алгоритму з розімкненим контуром для міста Ріо-дас-Острас, 22,49ºю.ш., Бразилія.

Потім ми моделюємо найкраще збільшення радіації для областей, описаних у методології, і знову нас не хвилює різниця між встановленням годинного

інтервалу та пропозицією алгоритмів без зворотного зв'язку, як показано на рис. 2.7.

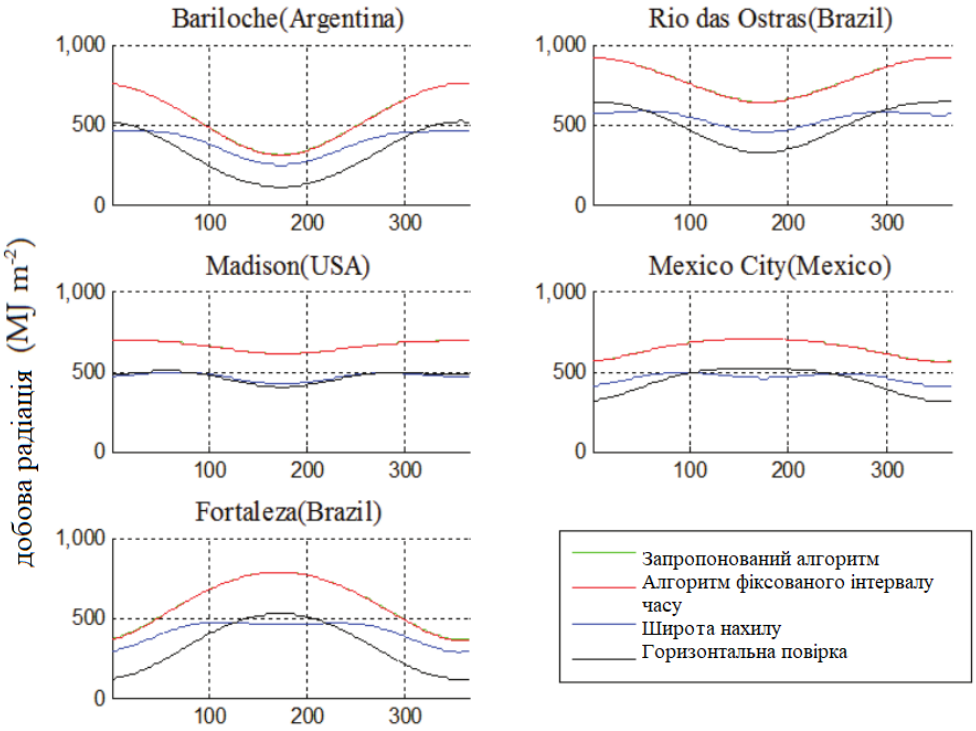


Рис.2.7. Випромінювання протягом року для п'яти різних місць для горизонтальної поверхні, з нахиленою по широті поверхнею, відстеження з фіксованим інтервалом часу без зворотного зв'язку і відстеження за допомогою запропонованого алгоритму без зворотного зв'язку.

Було невелике збільшення виграшу запропонованого алгоритму, порівняно з алгоритмом фіксованого інтервалу часу, тому що місцезнаходження знаходиться далі від екватора. [12] Результати приблизно на 1,4% вищі на широтах близько 40 º північної або південної широти. Один із побудованих прототипів можна побачити на малюнку 2.8.

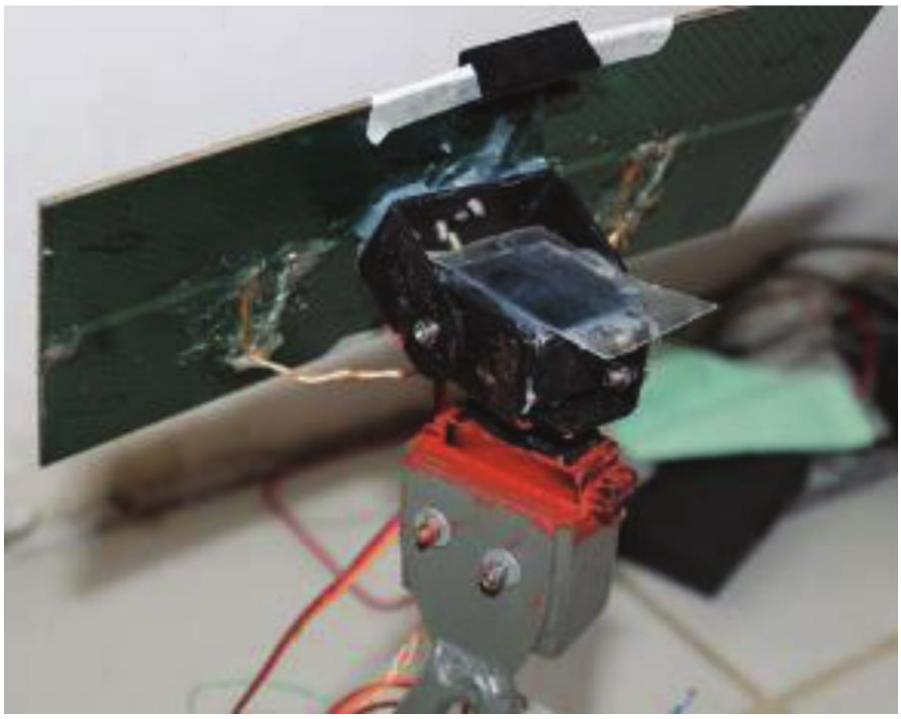


Рис.2.8. Прототип плоскопанельний трекер.

Він здатний рухатися нахилами від 0 до 90 градусів і до 200 градусів по азимуту.

Енергоспоживання відбувається тільки при переміщенні прототипів і споживає потужність в статичному режимі. Технічні характеристики трекера наведено у Таблиці 5.

Табл. 5.

Назва	Параметр
Середнє споживання енергії	1 Вт год-1
Максимальна кутова швидкість	120º с-1
Максимальне завантаження	0,250 кг

Сонячне випромінювання, виміряне з 28 серпня 2013 р. по 06 січня 2014 р., можна побачити на рисунках 2.9 та 2.10. Дані вимірювалися щохвилини, і для отримання погодинної радіації використовувалося просте середнє значення. На цих малюнках можна спостерігати мінливість сонячної радіації, спричинену наявністю хмар.

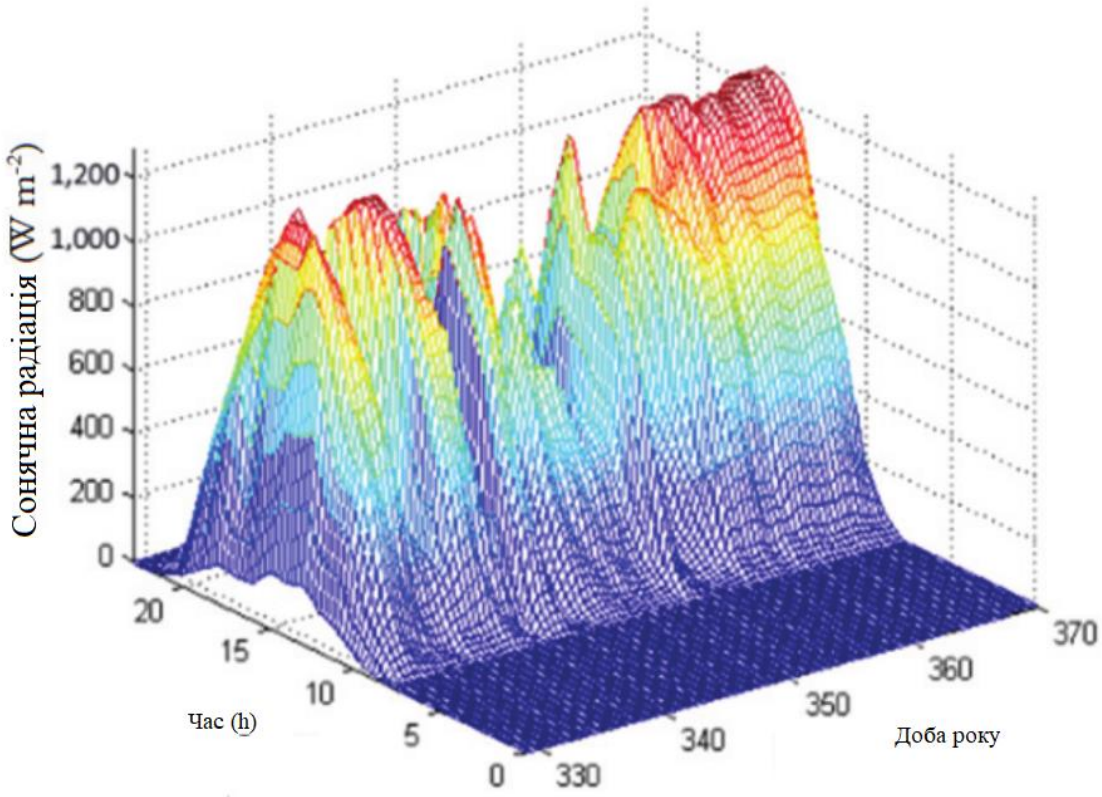


Рис.2.9. Сонячне випромінювання, що падає, в період з 28 серпня 2013 р. по 25 листопада 2013 р. для міста Ріу-дас-Острас, Бразилія, 22,49° пд.ш.

Проінтегрувавши потужність, вироблену за період виміру, і розділивши їх у відповідний період, можна було порівняти середні коефіцієнти посилення різних систем.

У розімкнутій системі було досягнуто середній виграш у 28,5 % проти системою з фіксованою широтою, а замкнутої системі було досягнуто 33,0 % проти системою з фіксованою широтою.

Експерименти проводилися у певні дні у різних умовах неба. Вибрані дні та їх стан піднебіння показані в таблиці 6, а потужність генератора для цих днів показана на рисунку 2.11.

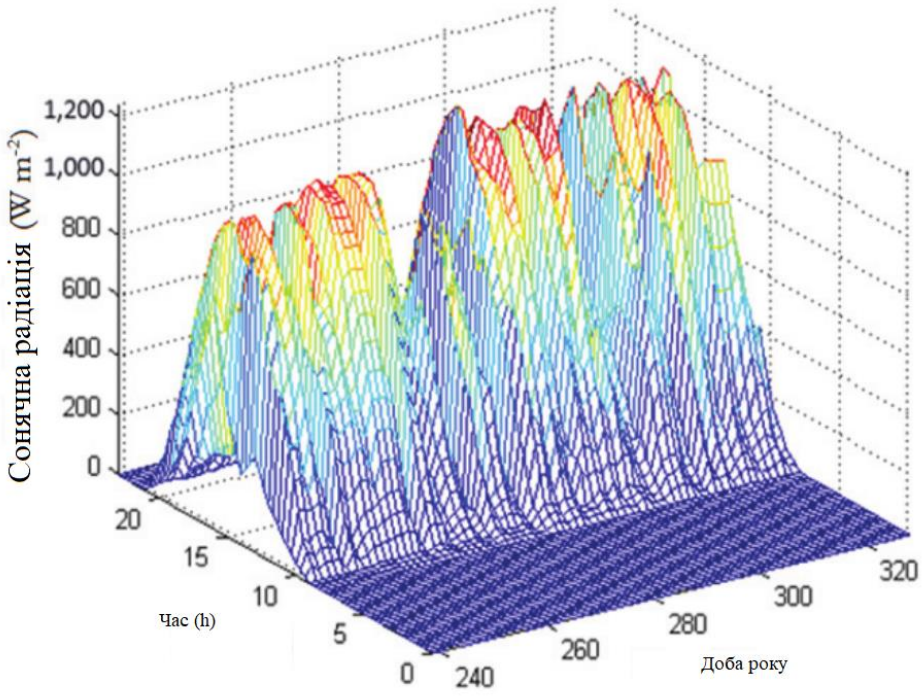


Рис.2.10. Сонячне випромінювання, що падає, між 26 листопада 2013 р. і 06 січня 2014 р. для міста Ріу-дас-Острас, Бразилія, 22,49° пд.ш.

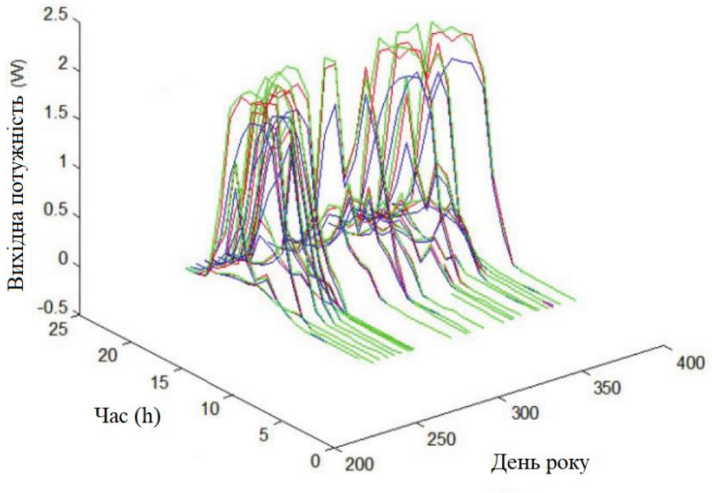


Рис.2.11. Вихідна потужність генератора у вибрані дні.

Табл.6

Вибраний день	Умова
14 вересня 2013 р.	Чисте небо
30 листопада 2013 р.	Чисте небо
10 грудня 2013 р.	Трохи хмар
26 грудня 2013 р.	Трохи хмар
29 серпня 2013 р.	В основному хмарно
18 вересня 2013 р.	В основному хмарно
28 жовтня 2013 р.	В основному хмарно
01 вересня 2013 р.	Мінлива хмарність
10 вересня 2013 р.	Мінлива хмарність
23 вересня 2013 р.	Мінлива хмарність
05.09.2013	Хмарно
30 жовтня 2013 р.	Хмарно
07.11.2013 р.	Хмарно

Запропонований алгоритм стеження за сонцем без зворотного зв'язку порівнювався з алгоритмом без зворотного зв'язку з фіксованим часом у вигляді двох наборів симуляцій. Моделювання показало, що обидва алгоритми мають приблизно однаковий приріст випромінювання, що приймається, з різницею між ними менше 1,5% для всіх випадків.

Продуктивність фотоелектричних систем із розімкненим контуром, замкнутим контуром, похило-широтним та горизонтальним фіксованим контуром вимірювалася протягом 25 вибраних днів, включаючи різні хмарні умови. У більшості випадків система стеження із замкнутим контуром працювала краще, ніж система стеження з розімкненим контуром, із середнім виграшем у 33,0 % від енергії, що виробляється похилою поверхнею на фіксованій широті, порівняно з 28,5 % для системи стеження з фіксованою широтою. де ланцюг розімкнений [12].

2.3 Розрахунок часу кута на кута нахилу сонячної панелі

Через вплив широти, погодних умов та місцевого рельєфу різні ділянки земної поверхні одержують різну кількість сонячної енергії. Інтенсивність сонячної радіації багато в чому залежить від геометричного розташування приймаючої (поглинаючої) поверхні – рис. 2.12.

Однак різниця в інтенсивності сонячного випромінювання по відношенню до площини, перпендикулярної до сонячних променів, для різних широт невелика. Це означає, що сонячну енергію можна використовувати у будь-якому регіоні світу, обравши правильний кут нахилу приймальних поверхонь.

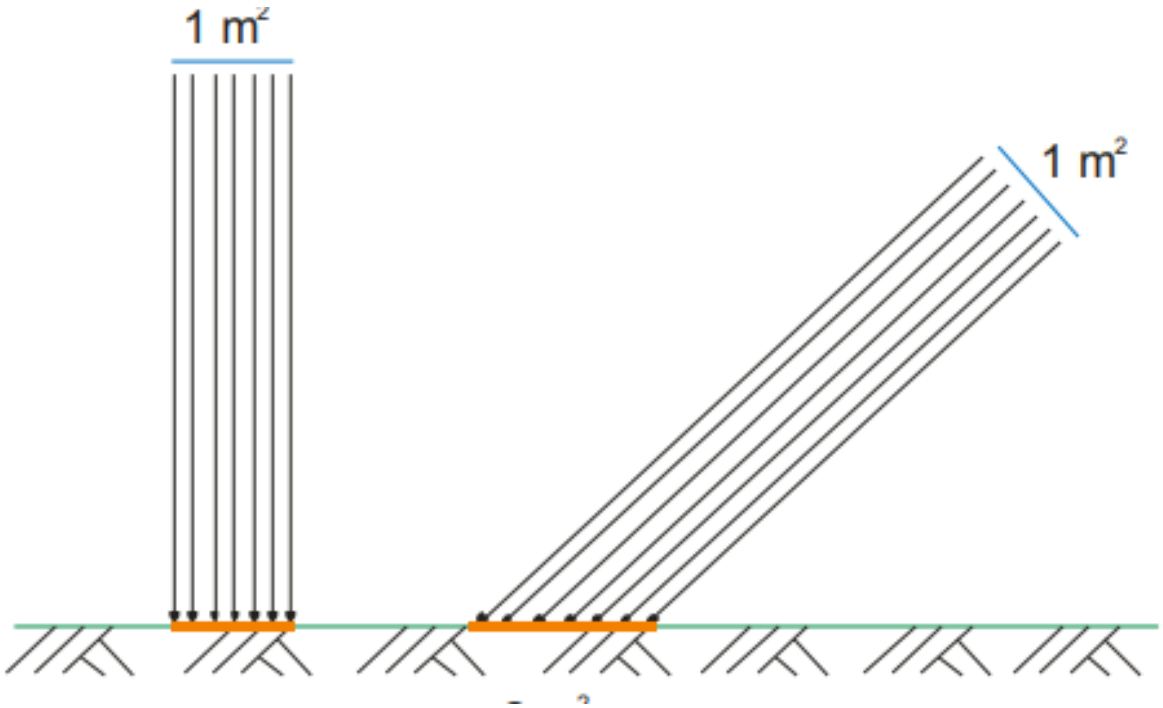


Рис. 2.12 Геометрична орієнтація сонячної радіації

У процесі перетворення енергії беруть участь та інші кліматичні фактори, такі як температура повітря, швидкість вітру, вологість тощо, які визначають різну ефективність перетворення сонячної енергії.

Це більшою мірою відноситься до процесів перетворення теплової енергії, ніж до фотогальваніки.

Рух Землі навколо Сонця поділяється на обертання та поступальний рух (рис. 2.13). Якщо знехтувати рухом полюсів, можна припустити, що має місце обертальний рух навколо нерухомої осі.

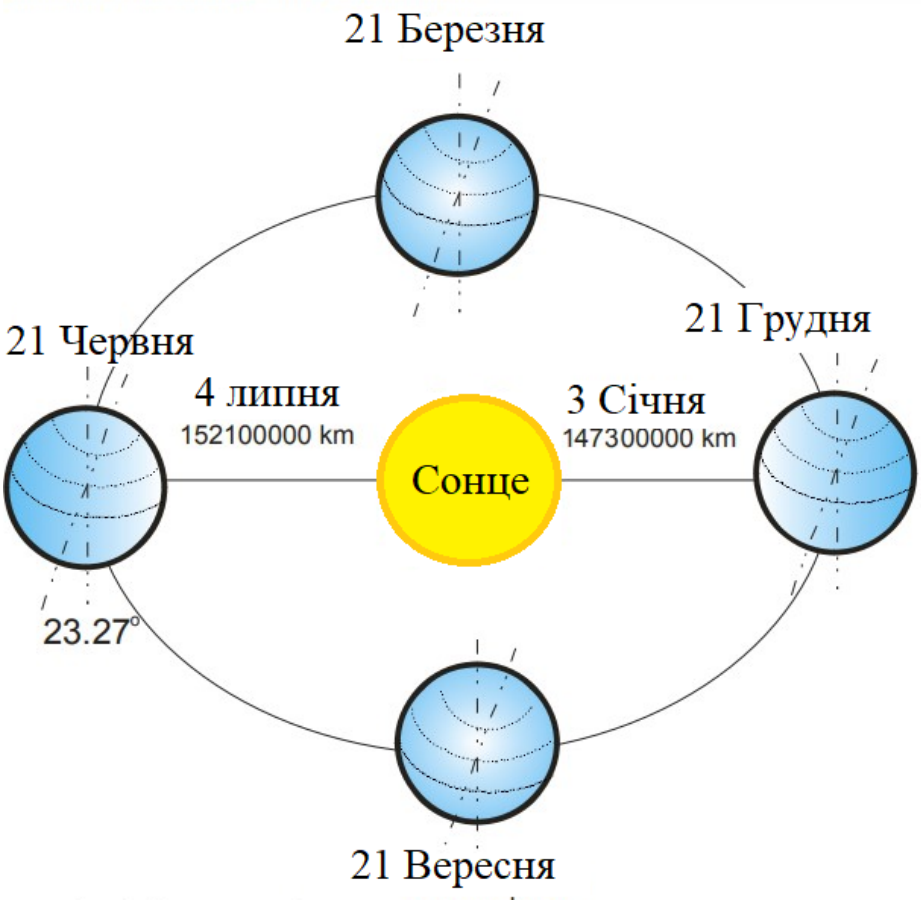


Рис.2.13. Рух Землі навколо Сонця.

Планета Земля рухається еліптичною орбітою навколо Сонця. Під час цього руху вона обертається довкола своєї осі. Відстань між Землею та Сонцем непостійна та становить 150 млн км у дні весняного та осіннього рівнодень (21 березня та 23 вересня). Зміна відстані між Землею та Сонцем становить 1,7% від середньої відстані. Земна вісь утворює приблизно постійний кут 23 ° 27 'з площиною земної орбіти [6].

Кут між напрямком сонячних променів та площиною екватора називається відмінюванням та позначається δ - рис. 2.14. Він (кут) коливається від +23 ° 27 '(літнє сонцестояння - 22 червня) до -23 ° 27 '(зимове сонцестояння - 22 грудня). Відмінювання обнулюється в дні рівнодення.



Рис.2.14. Схилення сонця

Для визначення значення відміни δ у градусах для кожного дня року можна використовувати таку формулу:

$$\delta = 23{,}45° \cdot sin\left[\frac{360°}{365} \cdot (N + 284)\right]$$

де N - порядковий номер дня, що відраховується з 1 січня. Земля постійно змінює своє геометричне положення щодо Сонця, що визначає постійну зміну напряму сонячного проміння [7].

Щоб правильно розрахувати сонячну радіацію, що падає, потрібно завжди знати напрям сонячних променів. Для цього необхідно, щоб у будь-який момент часу можна було обчислити геометричне положення Землі та, отже, напрямок сонячних променів.

У повсякденній практиці час визначається як конкретна дата (день року) та доба. Ці параметри необхідно перетворити на геометричні величини та використовувати для виконання необхідних розрахунків напрямки сонячних

променів. День року можна встановити з уже запровадженим відмінюванням (кут δ).

Рівняння для визначення значення відміни δ у градусах для кожного дня року встановлює відповідність між днем року та кутовим параметром δ. Інший параметр повинен бути встановлений, щоб вказати положення Землі в добовому циклі (встановити час доби). Цим параметром є "годинний кут" - ω. Це двостінний кут між площиною меридіана положення Землі у певний час доби та меридіаном місця, де знаходиться Сонце – рис. 2.15. Для визначення кута часу необхідно визначити справжній сонячний час [12]. Отримують із стандартного часу (часу) t_{st}, який повідомляється за меридіаном часу даного часового поясу, з поправкою на кутове відхилення між місцевим меридіаном та реперним меридіаном часового поясу та з поправкою на нестаціонарність кутової швидкості від Земля:

$$T_{sol}=t_{st}-4\cdot (l_{loc}-l_{st})+E$$

де l_{loc} і l_{st} - довгота місцевого меридіана і стандартного меридіана для часового поясу; E - Виправлення на нестаціонарне обертання Землі. Тимчасовий кут визначається:

$$\omega=15(T_{sol}-12)$$

Кут часу вважається нульовим, коли місцевий меридіан знаходиться на півдні (сонце знаходиться на південь від місцевого), негативним, коли сонце знаходиться на сході (ранок), і позитивним, коли сонце знаходиться на заході (полудні).). Годинний кут змінюється від 0 до 360 ° на добу. Оскільки 1 день дорівнює 24 годин, 1 година дня відповідає п'ятнадцятій зміні кута.



Рис.2.15. Годинний кут

Крім відмінювання і тимчасового кута, для визначення геометричних параметрів сонячних променів необхідно визначити широту місця - f. Для визначення положення сонця щодо нерухомого наземного спостерігача використовуються азимутальні координати сонця щодо південного напрямку Az та кут піднесення h-координат сонця.

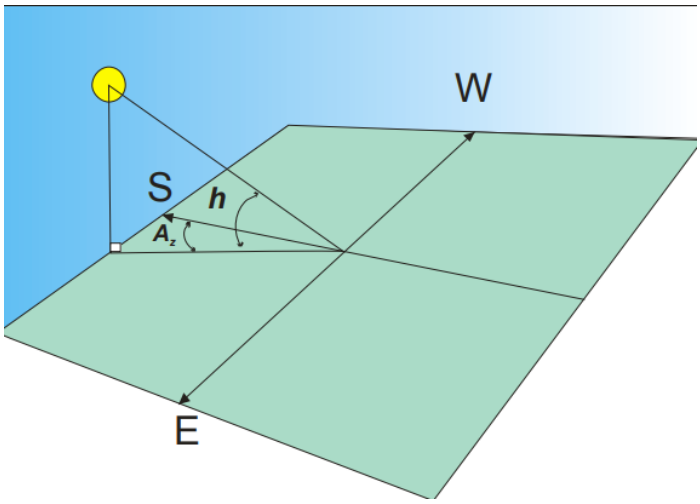


Рис.2.16. Кут висоти та азимут Сонця

Висота та азимут сонця постійно змінюються і визначаються відміною (вдень року), годинним кутом (часом доби) та широтою розглянутого місця розташування:

$$\sin h = sin\varphi \cdot sin\delta + cos\varphi \cdot cos\omega \cdot cos\delta$$

$$sinA_z = \frac{cos\delta \cdot sin\omega}{cosh}$$

На сході та заході сонця h = 0°; годинний кут і сонячний азимут Az негативні вранці і позитивні вдень; широта φ приймає позитивні значення для північної півкулі та негативні значення для південної півкулі. Для визначення потоку сонячної енергії, що падає на поверхню, необхідно знати кут між сонячним світлом, що падає, і нормаллю до площини Q. Кут падіння дану поверхню Q визначається як кут, який сонячні промені утворюють з нормальною поверхнею n.

При вугіллі падіння сонячного випромінювання Q = 0 сонячні промені падають перпендикулярно поверхні та інтенсивність сонячного випромінювання максимальна. Для визначення кута падіння Q косинуси напрямки сонячних

променів u, v, w та косинуси напрямку нормалі приймальної поверхні щодо системи координат k, l, m, утворені вертикальне небо, звернене до землі, та дві горизонтальні лінії, звернені на захід та південь:

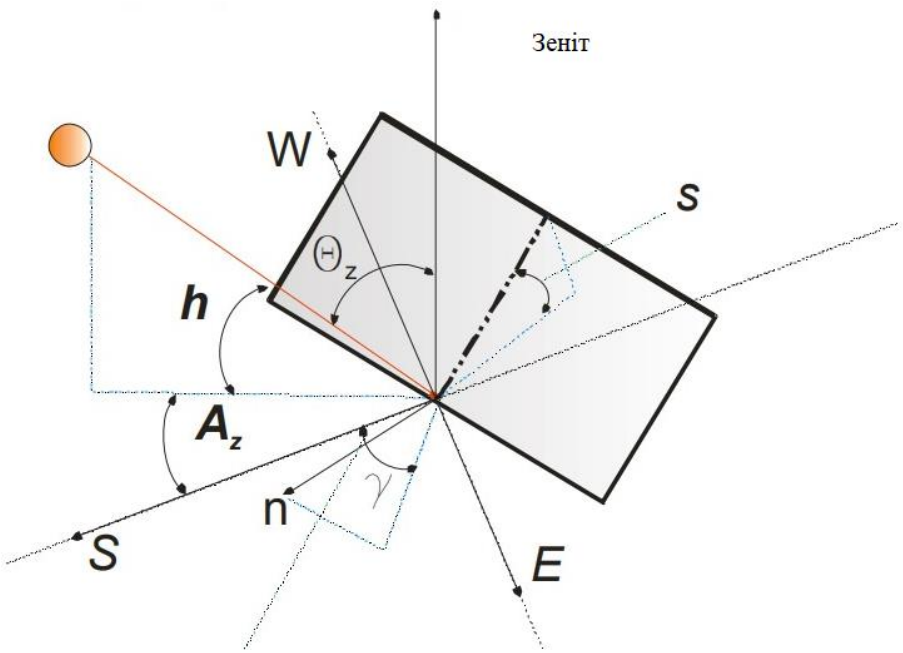


Рис.2.17. Геометричні характеристики приймальної поверхні

$$\cos u = \sin h = sin\,\varphi \cdot sin + cos\varphi \cdot cos\delta \cdot cos\omega,$$

$$cosv = sinA_z \cdot cosh = cos\delta \cdot sin\omega$$

$$cosw = cos\delta \cdot sin\varphi \cdot (cos\omega - \frac{tg\delta}{tg\varphi})$$

$$k = cosS$$

$$l = sin\gamma \cdot sinS$$

$$m = cos\gamma \cdot sinS$$

S – кут нахилу щодо горизонту приймальної поверхні (для вертикальної приймальної поверхні S = 90°), γ – азимутальний кут поверхні (для приймальної поверхні, зверненої на південь, γ = 0°, зверненої на схід, γ = - 90° на захід γ = + 90

°). Після обчислення напрямних косинусів сонячних променів та нормалі до приймаючої поверхні значення θ можна визначити за формулою:

$$cos\theta = k \cdot cosu + l \cdot cosv + m \cdot cosw$$

Так, для приймальної поверхні, зверненої на південь (g = 0°), коли Сонце знаходиться в зеніті (ω = 0°), для визначення оптимального значення кута нахилу S використовується така формула:

$$S = \varphi - \delta$$

Щоб максимальна сонячна енергія потрапляла на дану поверхню, що приймає, вона повинна бути орієнтована перпендикулярно сонячним променям, тобто S = 0°.

РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ООДНОСЕВИХ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ

3.1. Переваги одноосьових систем стеження за Сонцем

Технологія стеження не нова для ринку сонячної енергетики, але одноосьові рішення останнім часом стали стандартом у комунальних програмах. Berkeley Labs виявила, що 70% сонячних панелей, встановлених у 2018 році, використовують системи стеження [13].

«Я сказав би, що навіть вісім років тому трекери не існували на ринку комунальних послуг або становили лише невелику частину заводів, що будуються нині в США», — сказав Джефф Кранц, комерційний директор Array Technologies.

Одноосьові трекери споживають менше енергії на одиницю в порівнянні з двоосьовими трекерами, але з меншою висотою установки їм потрібно менше місця для позиціонування, що створює більш цілеспрямовану систему та просту модель в експлуатації та обслуговуванні.

Одноосні трекери поділяються на централізовані та децентралізовані. Централізовані або розподілені трекери використовують один двигун для приводу проміжного механізму, який переміщує весь сегмент панелей, як у некомерційних проектах. У децентралізованих системах по одному двигуну на лінію. Є також приклади трекерів з двигунами, присутніми в кожному наборі систем, щоб ранги можна було регулювати під час установки, а в деяких випадках можна було відстежувати незалежно від сусідніх модулів [14].

Одновісні сонячні трекери були спроектовані так, щоб діяти як жалюзі, при цьому ряди панелей переміщалися в унісон протягом дня. Тепер у програмне

забезпечення для відстеження були вбудовані міркування, що забезпечують компенсацію ліній панелей розсіяного світла, несприятливі вітрові умови, а також затінення ліній та горизонту. Окрім використання одновісних систем на сонячних електростанціях, технологія активно застосовується на вітчизняних електростанціях [9]. У похмурі дні сонячне світло не потрапляє на поверхню Землі у вигляді прямих променів — воно сприймається як розсіяне світло — панель, звернена до сонця, не обов'язково буде найвищою генерацією. Це може означати, що панелі згинаються горизонтально, щоб захопити навколишнє світло. Так само при сильному вітрі, трекери запрограмовані на горизонтальне розміщення рядів панелей. Більш нові моделі можуть компенсувати вищі вітрові навантаження, а в деяких випадках монітори системного рівня можуть визначити, які ряди панелей не схильні до вітрових явищ, і дозволити подальший моніторинг цих рядів.

Історично склалося так, що одновісні сонячні трекери з лінійним зв'язком не так просто встановити на крутій та гористій місцевості, де може знадобитися вирівнювання. Однак деякі моделі тепер можуть компенсувати нерівності рельєфу. Технології, які були широко поширені в холодному кліматі, починають проникати у ці регіони. Деякі стійки та алгоритми відстеження розраховані на облік двосторонніх панелей та їх двосторонню сонячну енергію. Інші одновісні моделі призначені для монтажу модулів у вертикальній орієнтації.

3.2. Розробка та аналіз програмного забезпечення для систем стеження за сонцем на основі теоретичних даних

Алгоритм з фіксованим часовим інтервалом

Враховуючи теоретичні дані з розділу 2.2, як перший метод орієнтування по сонцю, використовувався алгоритм з фіксованим годинниковим інтервалом. Для створення електронного обладнання для системи стеження за сонцем було вибрано мікроконтролер ATmega328 на базі платформи Arduino UNO.

Як механічний привод використовується лінійний актуатор з вбудованим енкодером для відстеження положення висувного валу, так як конструкція під вагою може давати не точне значення, а внаслідок чого і не правильний кінцевий кут. За час відповідав датчик часу DS3231 з термодатчиком корекції ходу в залежності від температури навколишнього середовища. Весь перелік елементів, що використовуються:

1) Arduino UNO ATmega328
2) Лінійний актуратор CAHB - 30.
3) Модуль годинника реального часу DS3231.
4) Драйвер для двигуна постійного струму – L298N

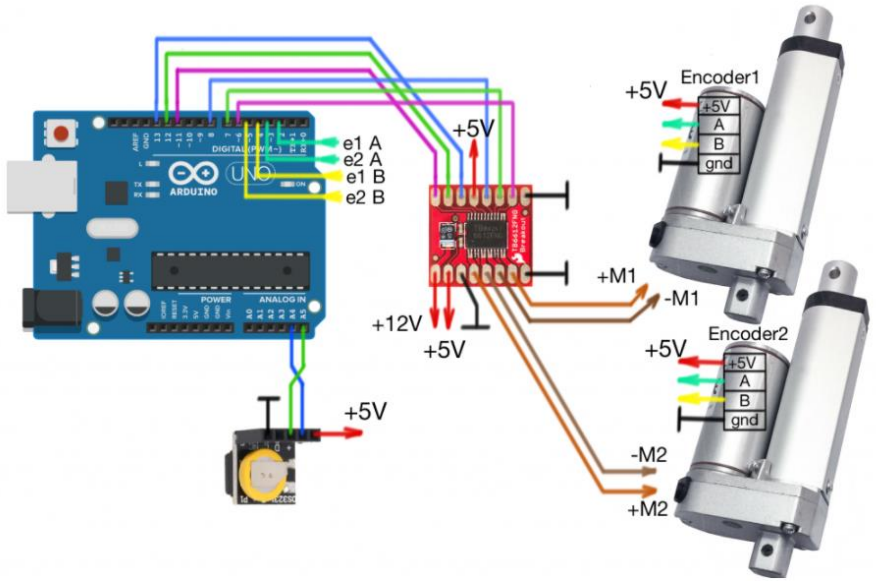
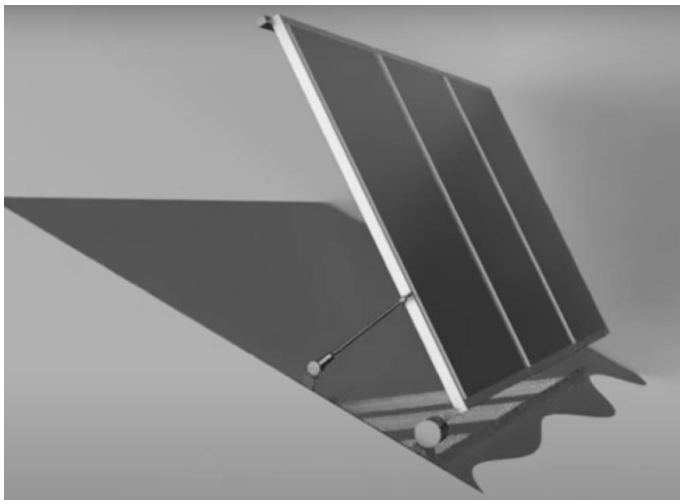


Рис.3.1 Схема з'єднання всіх вузлів системи стеження сонцем.

На даний трекер встановлюється 3 сонячні панелі по 250 Ватт та вагою 20 кг, таким чином сумарна навантажувальна вага системи дорівнює 60 кг.



3.2. Модель конструкції у зборі.

Алгоритм з фіксованим годинниковим інтервалом має на увазі поворот сонячної панелі на певний градус протягом усього світлового дня, залежно від положення сонця щодо горизонту [7].

Як уже говорилося раніше, використовувати часовий інтервал як основну логіку при побудові системи стеження за сонцем, є чи не найпростішою реалізацією сонячного трекера.

Використовуючи математичну модель обертання небесних тіл, або підібравши досвідченим шляхом необхідне положення механічної частини системи для початкового калібрування. Після підключення електронної частини необхідно виставити початкове положення актруаторів для фіксування крайніх значень. У коді також передбачена автоматична установка часу.

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 RTC;
 bool Motorrunning = false;
 bool NightTime = false;
const int akt1 = 10;
const int akt2 = 11;



void setup () {
    pinMode(akt1, OUTPUT);    // привод втягується при включенні
      pinMode(11, OUTPUT);  // привод висувається при включенні
    Serial.begin(57600);
    Wire.begin();
    RTC.begin();

  if (! RTC.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
  // наступний рядок встановлює RTC на дату та час компіляції цього ескізу
    RTC.adjust(DateTime(__DATE, TIME__));
```

```
  }
}
void loop () {
    DateTime now = RTC.now();
  if(now.hour() >= 21 && now.hour() <= 04 )
  {
    if(NightTime == false)
  {
  digitalWrite(akt1, HIGH);   // реле втягування ввімкнено
  delay(30000);               // Цей параметр відповідає за тривалість роботи двигуна постійного струму

  digitalWrite(akt1, LOW);    // реле втягування вимикається
   NightTime = true;
  }
}
  else
  {
    NightTime = false;
  if (now.minute() >= 59)  // Привід увімкнено кожну годину цієї хвилини
  {
```

```
   if(Motorrunning == false)
  {
digitalWrite(akt2, HIGH);   // привод висувається
delay(2500);              // на стільки часу буде подовжуватися привод
digitalWrite(akt2, LOW);    // привод зупиняється
   Motorrunning = true;
  }
 }
 else
 {
  Motorrunning = false;
 }
 Serial.print(now.year(), DEC);
 Serial.print('/');
 Serial.print(now.month(), DEC);
 Serial.print('/');
 Serial.print(now.day(), DEC);
 Serial.print(' ');
 Serial.print(now.hour(), DEC);
 Serial.print(':');
```

```
    Serial.print(now.minute(), DEC);
    Serial.print(':');
    Serial.print(now.second(), DEC);
    Serial.println();
  }
}
```

Перевагою використання модуля годинника реального часу, полягає в тому, що після вимкнення всієї системи, час продовжує йти, що забезпечує відновлення всієї роботи після відновлення живлення [13].

Важливо відзначити, що функція запам'ятовування часу працює відразу після прошивки мікроконтролера, тільки в такому разі ця функція має сенс. Надалі планується доробка програмного забезпечення з частковою заміною деяких компонентів системи.

Алгоритм відстеження положення сонця на підставі отриманих даних із фотоелектричних датчиків

Даний алгоритм так само застосовний до одноосьової системи стеження за Сонцем. Як фотоелектричні датчики використовувалися фоторезистори номіналом 10кОм.

Для реалізації механізму обертання застосовувалися сервопривід SG 90. Запропонована система вкрай малогабаритна і призначена для демонстрації алгоритму з подальшою можливістю проведення аналізу.

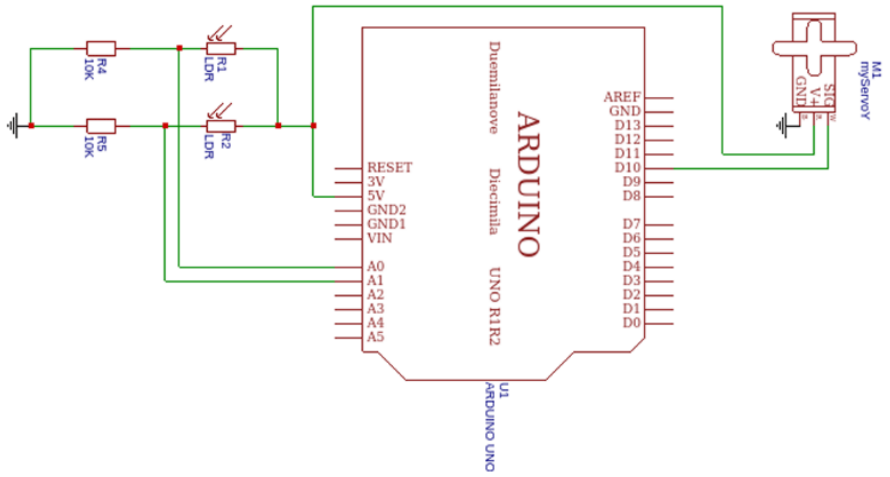
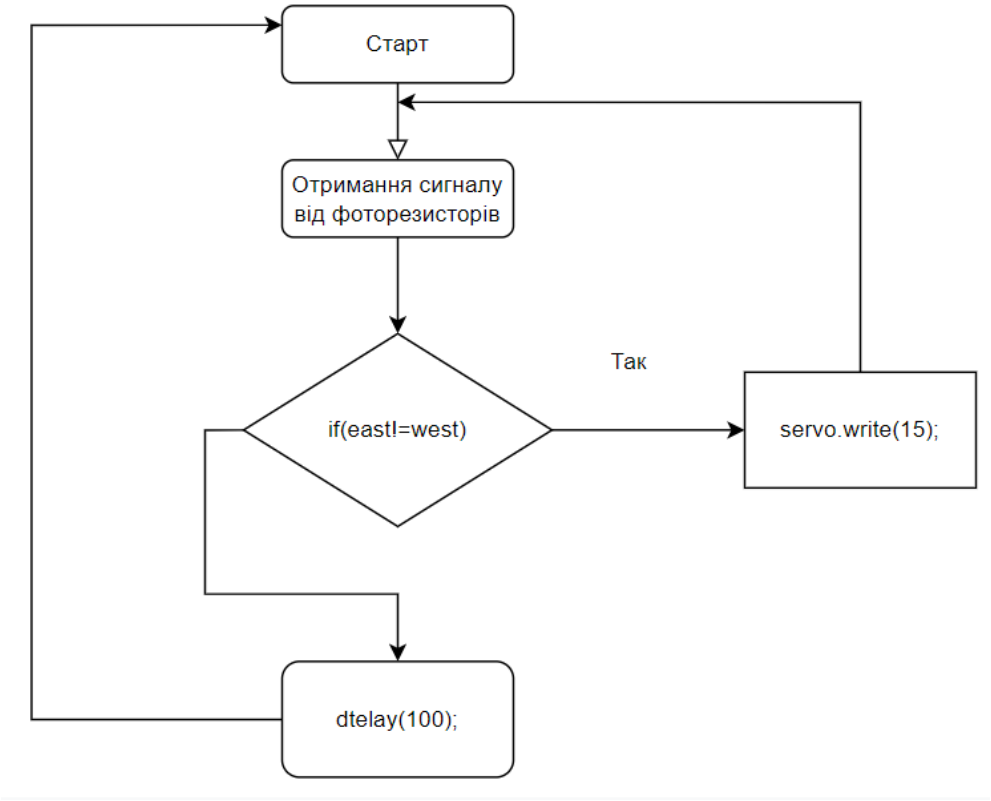


Рис.3.3. Принципова схема електронної частини системи стеження

За рахунок різниці значень, що посипаються, з фоторезисторів, які закріплені на різних сторонах сонячної панелі, можна визначити відношення фотоелектричної панелі щодо Сонця.

Якщо датчики дають однакові значення, це говорить про те, що сонячна панель перпендикулярна до сонячних променів, що в свою чергу і є рішенням завдання. Порівняно з алгоритмом з фіксованим часовим інтервалом, застосування цієї логічної системи має значну перевагу швидкості відгуку [13]. Так само важливо відзначити істотний недолік алгоритмів з використанням датчиків фотоелектричного типу, система спрацьовує на більш яскраве джерело світла, якщо на один з фоторезисторів потраплятиме сонячний відблиск, програма буде реагувати, внаслідок чого вести приймаючу поверхню сонячного панелі від сонячного світла.



3.4. Блок схема роботи алгоритму

```
#include <Servo.h>
Servos servos;
int eastldr = 0;
int Westldr = 1;
int East= 0;
int West = 0;
int Eeror = 0;
int Calibration = 600;
```

```
int Servoposition = 90;
void setup()
{
  servos.attach(9);
}
void loop()
{
  East= Calibration + analogRead(eastldr);
  West = analogRead(Westldr);
  if (East< 350 && West < 350)
  {
    while (Servoposition <= 150)
    {
      servoposition++;
      servos.write(servoposition);
      delay(100);
    }
  }
  Eeror = East- West;
  if (Eeror > 15)
  {
    if (Servoposition <= 150)
    {
      Servoposition++;
      servos.write(servoposition);
    }
  }
```

```
  else if (Eeror < -15)
  {
   if (Servoposition > 20)
   {
    servoposition--;
    servos.write(Servoposition);
   }
  }
  delay(100);
}
```

Порівняння та аналіз запропонованих алгоритмів роботи системи стеження за Сонцем

Важливим критерієм оцінки роботи будь-якої програми, а в даному випадку значним недоліком є швидкість обчислень математичних операцій.

В алгоритмі із застосуванням методу часового інтервалу використовується модуль годинника реального часу, що в свою чергу істотно впливає на кінцеву швидкість розрахунків, так як крім програмних аспектів впливу, так само слід враховувати апаратні, модуль який планується застосовувати в проекті має вбудований кварцовий генератор з частотою 32кГц .

Навколишнє середовище також впливає на роботу електронних компонентів, підвищення або зниження температурного режиму може суттєво спотворювати роботу електронних пристроїв. Для можливості коригування ходу, як було зазначено раніше, у модулі годинника реального часу, передбачений термодатчик.

Мікроконтролер на базі Arduino, має дуже широкий діапазон робочої температури, внаслідок чого менш схильний до зміни температури навколишнього середовища.

Враховуючи, що метод із застосуванням часового інтервалу використовує як основний інструмент, не апаратну, а саме програмну затримку, що говорить про лінійність виконання програми, можна стверджувати про порівняно не високу швидкість обчислень.

На відміну від ідеї затримки за часом застосування фотодатчиків як основного модуля для орієнтації по сонцю не вимагає використання великих обчислювальних потужностей, так як основна ідея полягає в порівнянні отриманих значень.

Для короткої оцінки актуальності застосування запропонованих алгоритмів було створено перелік, у якому зібрані основні недоліки та позитивні сторони запропонованих методів.

Алгоритм із застосуванням затримки за часом

Недоліки:

• Вимагає ручне налаштування механічної частини

• Використовує елементи, які змінюють температурний режим у навколишньому середовищі.

• Порівняно невелика швидкість обчислень.

Переваги:

• Відсутність датчиків дозволяє виключити спотворення в роботі, а як результат, і в кінцевому виробленні електроенергії із застосуванням такої системи.

• Простота у повторенні.

• Стабільність роботи.

Алгоритм із застосуванням фотодатчиків

Недоліки:

• Вимагає ручне налаштування механічної частини

• Ймовірність спрацьовування системи більш яскравий об'єкт.

• Не стабільна робота установки у хмарну погоду.

Переваги:

• Простота у повторенні.

• Переважне орієнтування за сонцем

• Швидкість обчислень.

Враховуючи вищезазначені плюси та мінуси, хочу звернути увагу на стабільність роботи системи стеження за сонцем на основі методу тимчасової затримки у хмарну погоду, оскільки саме від цього залежить відсоток збільшення до закінченого вироблення електроенергії. Ця перевага є основною та безпосередньо відноситься до концепції застосування будь-яких систем стеження за Сонцем.

ВИСНОВОК

У цій роботі було розглянуто як теоретичне та практичне обґрунтування використання систем стеження за Сонцем, як у промішених масштабах, так і для застосування у малогабаритних системах. Було визначено найефективніші системи орієнтування для застосування на території України.

Враховуючи теоретичні дані, які були приведені в роботи, можна зробити висновок, що незалежно від типу сонячного трекера, кінцева вироблення може перевищити більше 25% при правильному позиціонуванні.

На основі поставленого експерименту, у розділі 2.2, у ході якого було визначено оптимальні алгоритми, з погляду мінімізації енерговитрат та підвищення середнього вироблення сонячної енергоустановки, було розроблено програмне забезпечення для проведення теоретичного аналізу. Виходячи з отриманих результатів, система стеження за Сонцем із застосуванням алгоритму тимчасової затримки, дає ряд переваг перед системою позиціонування із застосуванням фотоелектричних датчиків.

ЛІТЕРАТУРА

1.Ігнасіо Луке-Ередіа та ін., «Сонячний трекер у фотогальваніці концентратора» в Крістобаль, А.Б., Марті, А., та Луке, А. Фотогальваніка наступного покоління, Springer Verlag, 2012. - 332с.

2. Гліберман А. Я. - Кремнієві сонячні батареї, Держенерговидав, 1961. - 74с.

3. Шиняков Ю.А., Шуригін Ю.А., Аркатова О.Є. Підвищення енергоефективності автономних фотоелектричних установок// Електроніка, Вимірювальна Техніка, Радіотехніка та Зв'язок. Доповіді ТУСУРу, № 2 (22), частина 2, грудень 2010 р. – С. 102.

4. Наумов А.В., Плеханов С.І. Розвиток енергії енергії з урахуванням тонкоплівкових елементів CIGS // Енергія: економіка, техніка, екологія. – М., 2013. – № 7. – С. 14.

5. Ст. А. Андрєєв, В. А. Грилікс, В. Д. Румянцев, Фотоелектричне перетворення концентрованого сонячного випромінювання, Наука, 1989. – 310с.

6. Умаров Р. Я., Єршов А. А., Сонячна енергетика, М., Знання, 1974. - 64 стор.

7. Антоніо Л. Луке, Антоніо Л. Луке, В'ячеслав М. Андрєєв, Концентратор фотовольтаїка, Springer-verlag Berlin Heidelberg, 2007. - 345с.

8. Ігнасіо Луке-Ередіа та ін., «Сонця відстеження у концентраційних фотовольтаїках» у Крістобаль, О. Б., Марті А., та Луке О. Фотоелектрична електроніка наступного покоління, Springer Verlag, 2012. – 332с.

9. Г-н Вішал Бхоте, професор Джайкаран Сінгх, Реалізація двоосьової моделі сонячного трекера з використанням мікроконтролера, Міжнародний журнал інженерних досліджень та загальних наук, том 2, випуск 4, червень-липень 2014. - Ст. 780 – 784 с.

10. Стівен Прата, Мова програмування C++. Лекції та вправи, 6-те видання // Вільямс, 2012. -С. 1244.

11. Уллі Соммер, Програмування мікроконтролерних плат Arduino/Freeduino, БХВ-Петербург, 2012. -С. 238.

13.Ю. Студенов, Сонячні трекери: [Електронний ресурс]. // URL-адреси: http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/ .

14. Ромі Кансал, автоматичне пристрій відстеження енергетичного випромінювання на основах ПІС, ТХАПАР УНІВЕРСИТЕТ, червень 2008. – 80с.

15. Вішал Бхот, проф. Джайкаран Сінгх, Впровадження підвійної сонячної батареї модель трекера для зручного мікроконтролера, International Journal of Engineering Том 2, Випуск 4, черв-липень 2014р. ISSN 2091-2730. - с. 780 – 784.