

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Приладів і системи орієнтації і навігації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 621.039.58+004.89

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності (спеціалізації) \_\_\_\_\_

(код і назва спеціальності)

151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: Слідкуюча цифрова система для сонячного трекера

Виконала: студентка 6 курсу, групи ПГ-91мп  
(шифр групи)

Афзель Сабіна Сохелівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник к.т.н. Півторак Д. О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант зі стартапу д.е.н. доц, Бояринова К.О

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма - Комп'ютерно - інтегровані технології та системи навігації і керування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студента  
Афзель Сабіні Сохелівні**

1. Тема дисертації «Слідкуюча цифрова система для сонячного трекера», науковий керівник дисертації Півторак Діана Олександрівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації «12» травня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження алгоритм стеження за положенням Сонця та сонячні трекери.

4. Предмет дослідження Слідкуюча цифрова система для сонячного трекера

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

- провести огляд та аналіз існуючих перетворювачів сонячної енергії; огляд алгоритмів керування для сонячних трекерів;
- синтез регулятора по вибраному критерію;
- провести моделювання одновісного трекеру;
- вибір елементної бази, написання програмного забезпечення;
- створення прототипу слідкуючої системи для сонячного трекера.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу  
презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 статті

## 8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4. Розробка стартап проекту «Слідкуюча цифрова система для сонячного трекара»	д.е.н. доц, Бояринова К.О		

9. Дата видачі завдання 11.03.2021 р.

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Проведення огляду та аналізу використання альтернативних джерел енергії, огляд алгоритмів керування для сонячних трекарів	23.03.2021 р.	
2	Класифікація існуючих перетворювачів енергії	23.03.2021 р.	
3	Моделювання одновісного трекара	30.03.2021 р.	
4	Обґрунтування вибору елементної бази	19.04.2022 р.	
5	Написання програмного забезпечення	23.04.2021 р.	
6	Створення прототипу слідкуючої системи для сонячного трекара. Перевірка працездатності	23.04.2021 р.	
7	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	10.05.2021	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сабіна АФЗЕЛЬ

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Діана ПІВТОРАК

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 98 сторінок, в ній міститься 53 ілюстрації, 33 таблиці та використано 40 джерел.

**Актуальність.** Останні роки все більш широкого поширення набуває дослідження та використання альтернативних джерел енергії. Оскільки ресурси планети обмежені, а кожна сфера діяльності нашого життя напряду залежить від електроенергії. Найбільш популярними та використовуваним у наш час є перетворення сонячної енергії. Даний вид отримання альтернативної енергетики являється доступним кожному, комфортним у використанні, а також дієвим. Для зменшення втрат відтворюваної енергії використовуються слідкуючі системи за Сонцем, що повертають сонячний перетворювач вслід за сонячним світлом, вони називаються – сонячні трекери. Отже основною ціллю даної магістерської дисертації є дослідження сонячної енергетики, створення моделі та розробка вдосконаленого одновісного сонячного трекара порівняльного аналізу.

Магістерська дисертація виконана відповідно до основних напрямків наукових досліджень кафедри.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертації є підвищення рівня генерації сонячної електроенергії за рахунок удосконаленого трекара та мінімізації не ефективних втрат за рахунок оптимального відстеження положення Сонця

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести огляд та аналіз існуючих перетворювачів сонячної енергії
2. Провести аналіз алгоритмів керування сонячними трекерами та обрати алгоритм для одновісного трекара

3. Розробити програмний алгоритм для керування трекером.
4. Провести моделювання одновісного трекера.
5. Розробити прототип сонячного трекера.
6. Провести експериментальні дослідження ефективності стеження за джерелом світла
7. Розробити стартап - проекту: «Слідкуюча цифрова система для сонячного трекера».

**Предмет дослідження** - Алгоритм стеження за положенням Сонця та сонячні тремери.

**Об'єкт дослідження** - слідкуюча цифрова система для сонячного трекера.

**Наукова новизна** магістерської дисертації полягає у вдосконаленні та підвищенні ефективності роботи сонячного трекера за рахунок використання чотирьох фоторезисторів та спеціальної програмної обробки інформації отриманої з них, що дозволяє точніше визначати положення Сонця і підвищити ефективність генерації енергії сонячною панеллю за рахунок максимізації потоку сонячних променів, які потрапляють на її поверхню

**Практична значущість** магістерської дисертації полягає в тому, що:

1. Результати дослідження можуть бути використані у розробці промислового зразку сонячного трекера.
2. Розроблено спеціальний алгоритм функціонування та програмне забезпечення для слідкуючої системи.

#### **Апробація результатів дисертації**

Результати роботи магістерської дисертації були оприлюднені на XV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» та XIV Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».

#### **Публікації:**

Основні результати досліджень викладені в 2 наукових працях, з яких:

Афзель С. С. Огляд сучасного стану перетворювачів сонячної енергії та перспективи їх розвитку / С. Афзель // XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2019.-с.22

Афзель С. С. Моделювання одновісного сонячного трекера / С. Афзель, Д.О. Півторак // XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2021.-с.

**Ключові слова:** одновісний сонячний трекер, альтернативна енергетика, сонячна енергетика, сонячна панель.

## ABSTRACT

The master's dissertation consists of 98 pages, it contains 53 figures, 33 tables and uses 40 sources.

**Topicality.** In recent years, research and the use of alternative energy sources have become increasingly common. Because the planet's resources are limited, and every area of our lives is directly dependent on electricity. The most popular and used today is the conversion of solar energy. This type of alternative energy is available to everyone, easy to use and efficient. To reduce the loss of reproducible energy, solar tracking systems are used, which rotate the solar converter after sunlight, they are called - solar trackers. Thus, the main purpose of this master's thesis is to study solar energy, create a model and develop an advanced uniaxial solar tracker of comparative analysis.

The master's dissertation is executed according to the basic directions of scientific researches of department.

**The purpose and objectives of the study.** The aim of the dissertation is to increase the level of solar electricity generation due to the improved tracker and minimize inefficient losses due to optimal tracking of the Sun's position.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. Review and analyze existing solar energy converters
2. Analyze the algorithms for controlling solar trackers and choose the algorithm for uniaxial tracker
3. Develop a software algorithm for tracker control.
4. Simulate a single-axis tracker.
5. Develop a prototype solar tracker.
6. Conduct experimental studies of the effectiveness of tracking the light source
7. Develop a startup - project: "Tracking digital system for a solar tracker."

**Subject of research** - Algorithm for tracking the position of the Sun and solar trackers.

**The object of research is a tracking digital system for a solar tracker.**

The scientific novelty of the master's dissertation is to improve and enhance the efficiency of the solar tracker through the use of four photoresistors and special software processing of information obtained from them, which allows to more accurately determine the position of the Sun and increase the efficiency of solar panel energy generation. its surface

**The practical significance of the master's dissertation is that:**

1. The results of the study can be used in the development of an industrial design of a solar tracker.
2. A special operation algorithm and software for the tracking system have been developed.

**Approbation of dissertation results**

The results of the master's dissertation were published at the XV All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency of engineering solutions in instrument making" and XIV scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Look into the future of instrument making".

**Publications:**

The main research results are presented in 2 scientific works, of which:

Afzal SS Review of the current state of solar energy converters and prospects for their development / S. Afzal // XIV Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists: "The effectiveness of engineering solutions in instrument making", Kyiv, 2019.-p.22

Afzal SS Modeling of uniaxial solar tracker / S. Afzal, DO Pivtorak // XV Scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists: "A look into the future of instrument making", Kyiv, 2021.-p.



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	15
1.1 Альтернативні джерела енергії .....	15
1.1.1 Сонячна енергетика.....	15
1.1.2 Історія використання сонячної енергії.....	17
1.2 Класифікація перетворювачів сонячної енергії.....	20
1.2.1 Фотоелектричні перетворювачі.....	21
1.2.2 Геліоелектростанції.....	28
1.2.3 Сонячні колектори.....	34
Висновки до розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА..	40
2.1 Структура та алгоритми керування сонячного трекера .....	40
2.2 Серводвигун та його характеристики.....	46
2.3 Розробка Simulink– моделі сонячного трекера.....	55
Висновки до розділу 2.....	60
РОЗДІЛ 3. ПРОТОТИПУВАННЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТЕЖЕННЯ ЗА ДЖЕРЕЛОМ СВІТЛА .....	61
3.1 Вибір елементної бази для сонячного трекера.....	61
3.2 Прототипування сонячного трекера. ....	71
3.3 Експериментальні дослідження ефективності стеження за джерелом світла.....	73
Висновки до розділу 3.....	81
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СЛІДКУЮЧА ЦИФРОВА СИСТЕМА ДЛЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА».....	82
4.1 Опис ідеї проекту.....	82
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	87
4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту та розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	94
4.4 Організація реалізації стартап-проекту.....	100
Висновки до розділу 3.....	104
ВИСНОВКИ.....	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	107

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ**

АЕС – автономна електростанція

ГЕЕС – геліоелектростанція

ГФП - геліо – фотоелектричні панелі

ККД – коефіцієнт корисної дії

СБ - Сонячна батарея

СЕС - сонячна електростанція

СКЕС - сонячна космічна електростанція

СК - сонячні колектори

ФЕП - фотоелектричний перетворювач

## ВСТУП

### Актуальність теми дослідження

Необхідність розробки слідкуючої цифрової системи для сонячного трекера пов'язана з тим, що в наш час відбувається неминучий технологічний прогрес, який приголомшує своєю швидкістю та інноваціями, автоматизується все більше видів праці, наслідком чого є створення нових підприємств, заводів та фабрик, що призводить до збільшення використання електроенергії, що негативно відображається на екології. Ця ситуація призвела до пошуку альтернативних методів видобутку енергії.

Дану проблему можливо вирішити за допомогою впровадження автономних систем альтернативної енергетики.

Найбільший потенціал має сонячна енергетика із-за своєї поширеності, масштабності і екологічної чистоти.

Використання сонячної енергії дозволяє вирішити соціально-економічні проблеми: енергопостачання житлових будинків, підприємств, фермерських господарств та ін.; зниження шкідливих впливів на природне середовище; забезпечення автономного енергопостачання в регіонах з низькою щільністю населення; стабілізація централізованого мережевого енергопостачання з дефіцитом потужності і значними втратами в сільському господарстві через нестабільність енергомережі живлення; підвищення надійності енергозабезпечення всіх регіонів країни за рахунок створення додаткових автономних (резервних) джерел.

Головною рисою, що характеризує практичне використання сонячної енергії, є висока вартість одержуваної теплової та електричної енергії в порівнянні з традиційними джерелами. Але з іншого боку, існує стійкий тренд на зниження вартості сонячних енергоустановок (СЕС), обумовлений науковими досягненнями в удосконаленні методів їх виробництва і використання, а також підвищення вартості традиційних викопних джерел енергії, викликаний їх дефіцитом і ускладненням технології видобутку. На доказ цього твердження можна вказати те, що темпи зростання сонячної

енергетики в світі вже декілька років поспіль складають 30% і більше, що перевищує темпи зростання традиційної вугільної та газової енергетики.

При використанні сучасних перетворювачів сонячної енергії неминучі її втрати та некоректний розподіл, що не дозволяє використовувати потенціал даного типу енергоутворення в повному обсязі. Саме ці проблеми вирішує пристрій просторового управління перетворювачем сонячної енергії. Він дозволяє керувати розподілом енергії, виявляти та контролювати втрати, що підвищує ефективність використання перетворювача.

Таким чином, удосконалення слідкуючої цифрової системи для сонячного трекера дозволить вирішити проблеми енергопостачання, а саме, зменшить втрати енергії і знизить ризик забруднення навколишнього середовища.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертації є підвищення рівня генерації сонячної електроенергії за рахунок удосконаленого трекера та мінімізації не ефективних втрат за рахунок оптимального відстеження положення Сонця

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

8. Провести огляд та аналіз існуючих перетворювачів сонячної енергії
9. Провести аналіз алгоритмів керування сонячними трекерами та обрати алгоритм для одновісного трекера
10. Розробити програмний алгоритм для керування трекером.
11. Провести моделювання одновісного трекера.
12. Розробити прототип сонячного трекера.
13. Провести експериментальні дослідження ефективності стеження за джерелом світла
14. Розробити стартап - проекту: «Слідкуюча цифрова система для сонячного трекера».

**Предмет дослідження** - Алгоритм стеження за положенням Сонця та сонячні трекери.

**Об'єкт дослідження** - сліdkуюча цифрова система для сонячного трекера.

**Наукова новизна** магістерської дисертації полягає у вдосконаленні та підвищенні ефективності роботи сонячного трекера за рахунок використання чотирьох фоторезисторів та спеціальної програмної обробки інформації отриманої з них, що дозволяє точніше визначати положення Сонця і підвищити ефективність генерації енергії сонячною панеллю за рахунок максимізації потоку сонячних променів, які потрапляють на її поверхню

**Практична значущість** магістерської дисертації полягає в тому, що:

3. Результати дослідження можуть бути використані у розробці промислового зразку сонячного трекера.

4. Розроблено спеціальний алгоритм функціонування та програмне забезпечення для сліdkуючої системи.

### **Апробація результатів дисертації**

Результати роботи магістерської дисертації були оприлюднені на XV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» та XIV Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».

### **Публікації:**

Основні результати досліджень викладені в 2 наукових працях, з яких:

Афзель С. С. Огляд сучасного стану перетворювачів сонячної енергії та перспективи їх розвитку / С. Афзель // XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2019.-с.22

Афзель С. С. Моделювання одновісного сонячного трекера / С. Афзель, Д.О. Півторак // XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2021.-с.

### **Структура і об'єм дисертації.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел (40 бібліографічних посилань). Повний обсяг роботи, в якому викладено її основний зміст, становить 98 сторінок, в тому числі 53 ілюстрацій та 33 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

#### 1.1 Альтернативні джерела енергії

##### 1.1.1 Сонячна енергетика

Проблема освоєння нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стає все більш актуальною. Нетрадиційні поновлювані джерела енергії включають сонячну, вітрову, геотермальну енергію, біомасу та енергію Світового океану.

Двісті років тому людство розпоряджалося трьома видами енергії. Першим джерелом було Сонце. Другим - енергія вітру, яка обертала крила вітряних млинів, на яких мололи зерно. Третім була енергія води. Для її використання необхідно було, щоб вода бігла вниз до моря від розташованого вище витoku, де річка наповняється за рахунок дощів.

В останнє десятиліття інтерес до цих джерел енергії постійно зростає, оскільки в вони є необмеженими та безпечними у застосування для планети та людства. У міру того як постачання палива стає менш надійним і більш дорогим, ці джерела стають все більш привабливими і більш економічними. Підвищення цін на нафту і газ послужило головною причиною того, що людина знову звернула увагу на альтернативні джерела енергії: воду, вітер і Сонце.

Використання всього 0,0005% енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоdnішні потреби світової енергетики, а 0,5% - повністю покрити потреби на перспективу [1].

Сонячна енергія - кінетична енергія випромінювання, що утворюється в результаті реакцій в надрах Сонця. Оскільки її запаси практично невичерпні (астрономи підраховали, що Сонце буде «горіти» ще кілька мільйонів років), її відносять до поновлюваних енергоресурсів. У природних екосистемах лише невелика частина сонячної енергії поглинається хлорофілом, що міститься в листях рослини, а також використовується для фотосинтезу, тобто для синтезу

органічних сполук з вуглекислого газу і води. Таким чином, вона поглинається та запасється у вигляді потенційної енергії органічних речовин. За рахунок їх розкладу задовольняються енергетичні потреби всіх інших компонентів екосистем [1].

Однак сонячна енергія покриває всю поверхню Землі, ніде не досягаючи особливої інтенсивності. Тому її потрібно використовувати на порівняно великій площі, сконцентрувати і перетворити в таку форму, яку можна використовувати для промислових, побутових і транспортних потреб. Крім того, треба вміти запасати сонячну енергію, щоб підтримувати енергопостачання і вночі, і в похмурі дні. Головне - використовувати сонячну енергію так, щоб її вартість була мінімальна або взагалі дорівнювала нулю. У міру вдосконалення технологій і подорожчання традиційних енергоресурсів ця енергія буде знаходити все нові сфери застосування.

Перші спроби використання сонячної енергії на комерційній основі відносяться до 80-х років XX століття. Найбільших успіхів у цій області досягла фірма Loose industries (США). У 1989 р. нею введена в експлуатацію сонячно-газова станція потужністю 80 МВт. У Каліфорнії в 1994 р. введено ще 480 МВт електричної потужності, причому вартість 1 кВт/год енергії - 7-8 центів. Це нижче, ніж на традиційних станціях. Електростанція в Каліфорнії продемонструвала, що газ і Сонце як основні джерела найближчого майбутнього здатні ефективно доповнювати один одного. У нічний час і взимку енергію дає газ, а влітку і в денний час - Сонце. Ефективний сонячний водонагрівач був винайдений в 1909 р. [1].

Сонце - джерело енергії дуже великої потужності. Всього 22 дня сонячного сяйва за сумарною потужністю, що приходить на Землю, рівні всім запасам органічного палива на планеті.



### 1.1.2 Історія використання сонячної енергії

На практиці сонячна енергія може бути перетворена в електроенергію безпосередньо чи опосередковано. Непряме перетворення може бути здійснено шляхом концентрації радіації за допомогою стеження дзеркал для перетворення води в пару і подальшого використання пара для генерування електрики звичайними способами. Така система може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями.

Пряме перетворення сонячної енергії в електричну може бути здійснено з використанням фотоелектричного ефекту. Елементи, виготовлені зі спеціального напівпровідникового матеріалу, наприклад, силікону, при прямому сонячному опроміненні виявляють різницю в вольтажі на поверхні, тобто наявність електричного струму.

Також одним з нових запропонованих методів використання сонячної енергії без використання системи акумуляторів, заснований на перетворенні різниці температур на поверхні і на глибині океану в електричну енергію.

Сонячна енергія може бути використана для теплопостачання (гарячого водопостачання, опалення), сушки різних продуктів і матеріалів, в сільському господарстві, в технологічних процесах у промисловості.

Сонячне теплопостачання отримало розвиток в багатьох зарубіжних країнах. Більшість установок сонячного теплопостачання обладнано сонячними колекторами. Тільки в США експлуатуються сонячні колектори площею 10 млн. м<sup>2</sup>, що забезпечують річну економію палива до 1,5 млн. т [2].

Енергія Сонця, як вважають експерти, - квінтесенція енергетики, оскільки фотоелектричні установки не впливають на природне середовище, безшумні, не мають рухомих частин, вимагають мінімального обслуговування, не потребують води. Їх можна монтувати у віддалених або посушливих районах, потужність таких установок становить від кількох Ват (портативні модулі для засобу зв'язку і вимірювальних приладів) до багатьох мегаВат (площа кілька мільйонів квадратних метрів) [2].

Технічно концентрацію сонячного випромінювання можна здійснити за допомогою різних оптичних елементів - дзеркал, лінз, світловодів і ін. Основним енергетичним показником концентратора сонячного випромінювання є коефіцієнт концентрації, який визначається як відношення середньої щільності сконцентрованого випромінювання до щільності променевого потоку, який падає на поверхню [2].

Національна безпека будь-якої держави пов'язана з його стійким розвитком, основою якого є надійне енергозабезпечення. Тому вчені всього світу працюють над різними енергопроектами, вивчають можливі енергетичні джерела, ґрунтуючись на їх порівнянні з нафтою, природним газом і вугіллям, тобто з невідновлюваними ресурсами. Їх частка в енергозабезпечення населення Землі в даний час складає відповідно 37,5- 38,0; 24,5 і 25,5% [3].

Частка ж поновлюваних джерел (Сонця, вітру, води) поки незначна. В даний час щорічний приріст світових запасів нафти за рахунок нововідкритих родовищ становить 0,8%, а щорічні витрати - 2%. Тоді нафти вистачить до 2070 р, а потім настане енергетична криза, яка негативно позначиться на долі кожної людини [4].

Пошуки екологічно чистих відновлюваних локальних джерел енергії, а також нових способів її передачі не менш актуальні. Відомий важливий з цієї точки зору аргумент на користь сонячної енергетики - катастрофічно парниковий ефект. Міжнародна спільнота дійшла до єдиної думки: головний винуватець парникового ефекту - збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, що є наслідком спалювання вуглецевого палива [5].

Найбільш економічна можливість використання сонячної енергії - направляти її на отримання вторинних видів енергії в сонячних районах земної кулі. Отримане рідке або газоподібне паливо можна буде перекачувати по трубопроводах або перевозити в інші райони.

Використання будь-якого виду енергії і виробництво електроенергії супроводжується утворенням багатьох забруднювачів води і повітря. Будь-

який вид людської діяльності неминуче впливає на природу, але ступінь цієї шкоди різний.

Перспективи сонячної енергетики. Використання сонячної енергії може бути корисним в декількох аспектах. По-перше, при заміні нею викопного палива зменшується забруднення повітря і води. По-друге, заміна викопного палива означає скорочення імпорту палива, особливо нафти. По-третє, замінюючи атомне паливо, ми знижуємо загрозу поширення атомної зброї. Нарешті, сонячні джерела можуть забезпечити людству деякий захист, зменшуючи його залежність від безперерйного постачання палива. Безсумнівно, деякий збиток навколишньому середовищу може наноситися також видобутком руди, виготовленням акумуляторних батарей і набагато більшою кількістю проводів і ліній передачі, необхідних для збору електроенергії від численних її джерел. Але в цілому, якщо врахувати всі витрати на охорону середовища, вони виявляться дуже малими. На рис.1.1 відображено карту сонячного потенціалу та установок (Укренерго) [6]

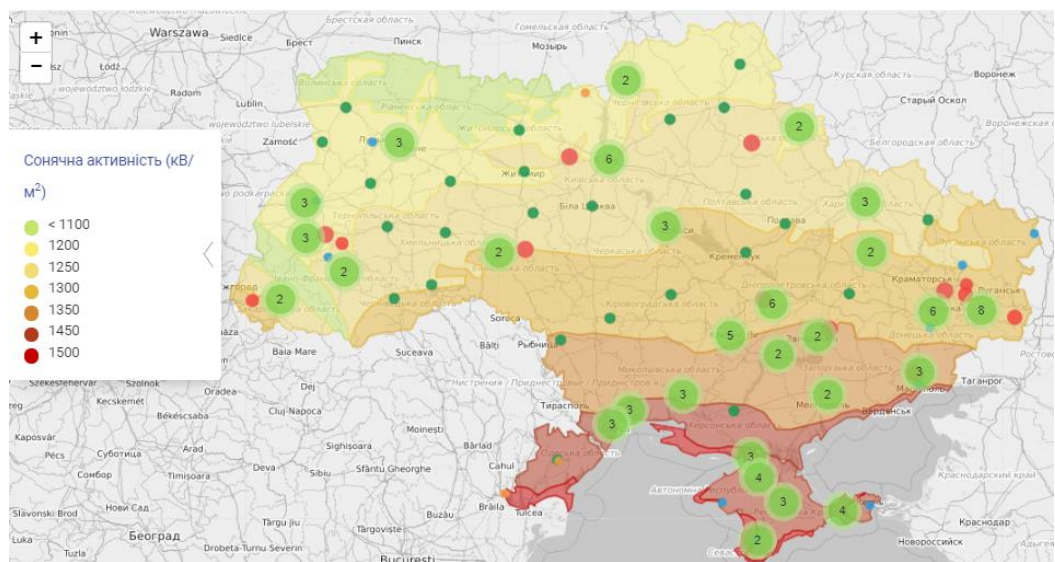


Рис. 1.1. Карта сонячного потенціалу та установок (Укренерго)

З рис.1.1 видно, що в Україні є великий потенціал у сонячній енергетиці, оскільки є ще досить багато не задіяних територій. Але порівняно з 2018 роком сонячна енергетика зростає в геометричній прогресії, з бази менш ніж 1 ГВт вона перейшла до 5 ГВт на початку 2020 року. Недавнє зростання було

зумовлене скороченням витрат на технологію PV (фотоелектричні системи), а також лояльною схемою місцевих тарифів на перетворення сонячної енергії [7].

Огляд різних альтернативних джерел енергії показує, що на порозі широкомасштабного промислового впровадження знаходяться вітротурбіни і сонячні батареї. Якщо додати до цього енергозбереження, є надія вирішити енергетичні проблеми, таким чином, будівництво нових атомних і теплових електростанцій є обов'язковим. З точки зору навколишнього середовища і сталого розвитку ці альтернативні джерела електрики цілком надійні.

За альтернативними джерелами енергії стоїть наше майбутнє. Необхідно об'єднати зусилля для боротьби за чисту планету, чисте повітря та чисту воду.

## 1.2 Класифікація перетворювачів сонячної енергії

Геліоенергетика (геліо ... [грецьк. Helios - сонце] - перша складова частина слова означає: що відноситься до сонця або сонячних променів) розвивається швидкими темпами в різноманітних напрямках. Сонячними батареями у повсякденні називають електричні і нагрівальні пристрої.

Розрізняють три основних види перетворювачів сонячної енергії в електричну [8]:

1. **Фотоелектричні перетворювачі - ФЕП**- напівпровідникові пристрої, що перетворюють сонячну енергію в електрику. Кілька об'єднаних ФЕП називаються сонячною батареєю (СБ).
2. **Геліоелектростанції (ГЕЕС)** - сонячні установки, що використовують висококонцентроване сонячне випромінювання в якості енергії для приведення в дію теплових та ін. машин (паровий, газотурбінної, термоелектричної і ін.).
3. **Сонячні колектори (СК)** - сонячні нагрівальні низькотемпературні установки.

### 1.2.1 Фотоелектричні перетворювачі

Найбільш ефективними з енергетичної точки зору пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну (тому що це прямий, одноступінчатий перехід енергії) є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). При характерній для ФЕП рівноважної температурі близько 300-350 кельвінів, їх граничний теоретичний ККД  $> 90\%$ . Це означає, що, в результаті оптимізації структури і параметрів перетворювача, спрямованих на зниження необоротних втрат енергії, цілком реально вдасться підняти практичний ККД до 50% і більше (в лабораторіях вже досягнуто ККД 40%) [8]. На рис. 1.2 наведено сучасний фотоелектричний перетворювач.

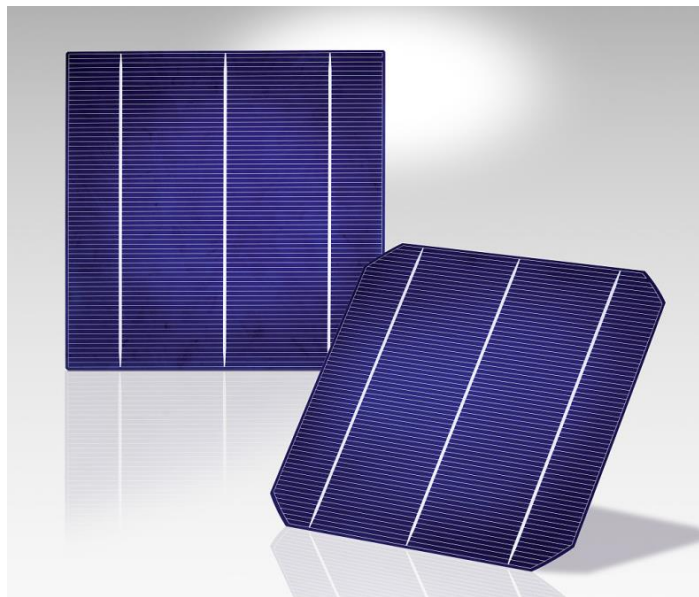


Рис. 1.2. Фотоелектричний перетворювач

Теоретичні дослідження і практичні розробки, в області фотоелектричного перетворення сонячної енергії підтвердили можливість реалізації таких високих значень ККД з ФЕП і визначили основні шляхи досягнення цієї мети.

Перетворення енергії в ФЕП засновано на фотовольтаїчному ефекті, який виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах при впливі на них сонячного випромінювання. Неоднорідність структури ФЕП може бути

отримана легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (створення р - n-переходів) або шляхом з'єднання різних напівпровідників з неоднаковою шириною забороненої зони-енергії відриву електрона з атома (створення гетеропереходів), або ж за рахунок зміни хімічного складу напівпровідника, що приводить до появи градієнта ширини забороненої зони (створення варізонних структур).

Принцип роботи ФЕП можна пояснити на прикладі перетворювачів з р-n переходом, які широко застосовуються в сучасній сонячній та космічній енергетиці. Електронно - дірковий перехід створюється шляхом легування пластинки монокристалічного напівпровідникового матеріалу з певним типом провідності (тобто або р - або n - типу) домішкою, що забезпечує створення поверхневого шару з провідністю протилежного типу. Концентрація легуючої домішки в цьому шарі повинна бути значно вище, ніж концентрація домішки в базовому (первинному монокристалі) матеріалі, щоб нейтралізувати наявні там основні вільні носії заряду і створити провідність протилежного знака. Біля кордону n- і р- шарів в результаті перетікання зарядів утворюються збіднені зони з некомпенсованого об'ємним позитивним зарядом в n - шарі і об'ємним негативним зарядом в р-шарі. Ці зони в сукупності і утворюють р - n перехід. На переході виникає потенційний бар'єр (контактна різниця потенціалів) перешкоджає проходженню основних носіїв заряду, тобто електронів з боку р - шару, але безперешкодно пропускають неосновні носії в протилежних напрямках. Ця властивість р-n переходів і визначає можливість отримання фото - ЕРС при опроміненні ФЕП сонячним світлом. Створені світлом в обох шарах ФЕП нерівноважні носії заряду (електронно - діркові пари) поділяються на р - n переході: неосновні носії (електрони) вільно проходять через перехід, а основні (дірки) затримуються. Таким чином, під дією сонячного випромінювання в обох напрямках через р-n перехід буде протікати струм нерівноважних неосновних носіїв заряду - фотоелектронів і фотодірок, що і потрібно для роботи ФЕП. Якщо замкнути зовнішній ланцюг, то електрони з n - шару, зробивши роботу на навантаженні, будуть повертатися

в р-шар і там рекомбінуватись (об'єднуватися) з дірками, що рухаються усередині ФЕП в протилежному напрямку, принцип роботи ФЕП відображений на рис.1.3 [2]. Для збору і відводу електронів в зовнішній ланцюг на поверхні напівпровідникової структури ФЕП є контактна система. На передній, освітленій поверхні перетворювача контакти виконуються у вигляді сітки або гребінки, а на тильній стороні можуть бути суцільними [9].

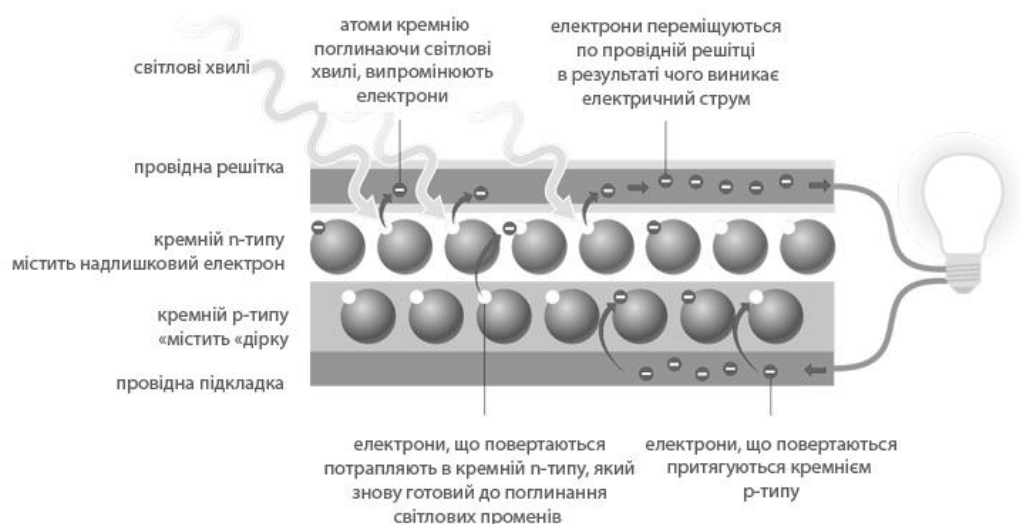


Рис. 1.3. Принцип роботи фотоелектричного перетворювача [9]

Основні незворотні втрати енергії в ФЕП пов'язані з:

- відображенням сонячного випромінювання від поверхні перетворювача,
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання в ньому,
- розсіюванням на теплових коливаннях сітки надлишкової енергії фотонів,
- В наслідок рекомбінації утворилася фотопара на поверхнях і в обсягах ФЕП,
- внутрішнім опором перетворювача,
- і деякими іншими фізичними процесами.

Для зменшення всіх видів втрат енергії в ФЕП розробляються і успішно застосовується різні заходи. До їх числа відносяться:

- використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони;
- спрямоване поліпшення властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;
- перехід від гомогенних до гетерогенних і варізонних напівпровідникових структур;
- оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання р-п переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки і ін.);
- застосування багатофункціональних оптичних покриттів, які забезпечують просвітлення, терморегулювання і захист ФЕП від космічної радіації;
- розробка ФЕП, прозорих в довгохвильовій області сонячного спектра за краєм основної смуги поглинання;
- створення каскадних ФЕП із спеціально підібраних по ширині забороненої зони напівпровідників, що дозволяють перетворювати в кожному каскаді випромінювання, що пройшло через попередній каскад, та ін [10] .

Також істотного підвищення ККД ФЕП вдалося добитися за рахунок створення перетворювачів з двосторонньою чутливістю (до +80% до вже наявного ККД одного боку), застосуванням люмінесцентних перевипромінюючих структур, попереднього розкладу сонячного спектра на дві або більше спектральні області за допомогою багатошарових плівкових світлоділителей (дихроїчних дзеркал) з подальшим перетворенням кожної ділянки спектру окремим ФЕП і т.д.

У системах перетворення енергії СЕС (сонячних електростанцій) можуть бути використані будь - які створені і розроблені в даний час типи ФЕП, різної структури на базі різноманітних напівпровідникових матеріалів, однак не всі вони задовольняють комплексу вимог до цих систем [10]:

- висока надійність при тривалому (десятки років!) ресурсі роботи;



- доступність вихідних матеріалів в достатній для виготовлення елементів системи перетворення кількості і можливість організації їх масового виробництва;
- прийнятні з точки зору термінів окупності енерговитрати на створення системи перетворення;
- мінімальні витрати енергії і маси, пов'язані з управлінням системою перетворення і передачі енергії (космос), включаючи орієнтацію і стабілізацію станції в цілому;
- зручність техобслуговування.

Так, наприклад, деякі перспективні матеріали важко отримати в необхідних для створення СЕС кількостях через обмеженість природних запасів вихідної сировини і складності її переробки. Окремі методи поліпшення енергетичних і експлуатаційних характеристик ФЕП, наприклад, за рахунок створення складних структур, погано сумісні з можливостями організації їх масового виробництва при низькій вартості і т.д. Висока продуктивність може бути досягнута лише при організації повністю автоматизованого виробництва ФЕП, наприклад, на основі стрічкової технології, і створенні розвинутої мережі спеціалізованих підприємств відповідного профілю, тобто фактично цілої галузі промисловості, сумірною за масштабами з сучасною радіоелектронною промисловістю.

ФЕП (фотоелектричні перетворювачі) на основі сполуки миш'яку з галієм (GaAs), як відомо, мають більш високий, ніж кремнієві ФЕП, теоретичний ККД, так як ширина забороненої зони у них практично збігається з оптимальною шириною забороненої зони для напівпровідникових перетворювачів сонячної енергії = 1,4 еВ. У кремнієвих цей показник = 1,1 еВ [9].

Завдяки стійкості до високих температур арсенід - галієві ФЕП дозволяють застосовувати до них концентратори сонячного випромінювання. Робоча температура ГФП (гелію – фотоелектричні панелі) на GaAs доходить до 180°C, що вже є цілком робочими температурами і для теплових двигунів.

Таким чином, до 30 - відсотковому власному ККД арсенід-галієвих ГФП (при 150°C) можна додати ККД теплового двигуна, що використовує скидне тепло охолоджуючої фотоелементи рідини. Тому загальний ККД установки, яка до того ж використовує і третій цикл відбору низькотемпературного тепла від охолоджуючої рідини після турбіни на обігрів приміщень - може бути навіть вище 50 - 60%.

В цілому можна зробити висновок, що енергетичні, масові та експлуатаційні характеристики ГФП на основі GaAs більшою мірою відповідають вимогам СЕС та СКЕС (космічні), ніж характеристики кремнієвих ФЕП. Технологія виготовлення кремнієвих ФЕП добре відпрацьована і безперервно удосконалюється. Існує реальна перспектива зниження вартості кремнієвих ФЕП на один - два порядки при впровадженні нових автоматизованих методів виробництва, що дозволяють зокрема, отримувати кремнієві стрічки, сонячні елементи великої площі і т.п.

Ціни на кремнієві фотоелектричні батареї знизилися за 25 років в 20-30 разів з 70-100 дол/ват в сімдесятих роках аж до 3,5 дол/ват в 2000 р і продовжують знижуватися далі. На Заході очікується переворот в енергетиці в момент переходу ціни 3 – доларової межі. За деякими розрахунками, це може статися вже зовсім скоро, а для України з нинішніми енерготарифами цей момент настане при ціні 1 вата СБ 0,3 - 0,5 долара, тобто, на порядок нижчою ціною. [10].

Інвертори або перетворювачі постійного струму в змінний струм, призначені для забезпечення якісного електроживлення різної апаратури і приладів в умовах відсутності або низької якості електромережі змінного струму частотою 50 Гц напругою 220 В, різних аварійних ситуаціях і т.п.

Інвертор представляє собою імпульсний перетворювач постійного струму напругою 12 (24, 48, 60) в змінний струм зі стабілізованою напругою 220 В частотою 50 Гц. Більшість інверторів має на виході стабілізовану напругу синусоїдальної форми, що дозволяє використовувати їх для електроживлення практично будь-якого обладнання і приладів [11].

Стабілізовану напругу на виході інвертора дозволяє забезпечити якісне електроживлення навантаження при змінах або коливаннях напруги на вході, наприклад при розряді, або коливаннях струму, споживаного навантаженням. Гарантована гальванічна розв'язка джерела постійного струму на вході і ланцюги змінного струму з навантаженням на виході інвертора дозволяють не робити додаткових дій для забезпечення безпеки праці при використанні різних джерел постійного струму або будь - якого електроустаткування. Примусове охолодження силової частини і низький рівень шуму при роботі інвертора дозволяють, з одного боку, забезпечити якісні показники малогабаритного приладу, з іншого боку, при даному типі охолодження не створюють незручностей при експлуатації у вигляді шуму.

Переваги фотоелектричних перетворювачів [12]:

- фотоелектричні системи не виробляють так званих «парникових газів», токсичних компонентів або пилових забруднювачів; робота фотоелектричних перетворювачів безшумна;
- фотоелектричні системи можуть служити допоміжними джерелами електроенергії. Використання фотоелектричної системи разом з вітряної електростанцією і / або малої ГЕС дозволяє домогтися незалежності від комунальних електромереж. Типова мала фотоелектрична система має компактні розміри;
- фотоелектрична система проста в установці і експлуатації і практично безвідмовна; фотоелектрична система практично не вимагає догляду.

Недоліки фотоелектричних перетворювачів:

- Фотоелектричні елементи виробляють електроенергію тільки в тому випадку, коли вони освітлені в достатній мірі. У місцях, де недостатньо прямого сонячного світла, спорудження малих фотоелектричних систем рідко виявляється рентабельним;
- Якщо сонячні панелі занесе снігом або сміттям (опалим листям, наприклад), їх треба очистити, інакше система не зможе працювати;

Може виникати проблема нерівномірності навантаження, якщо сонячна батарея освітлена нерівномірно.

### 1.2.2 Геліоелектростанції.

Геліоенергетичні програми прийняті більш ніж в 70 країнах - від північної Скандинавії до випалених пустель Африки. Пристрої, що використовують енергію сонця, розроблені для опалення, освітлення та вентиляції будівель, хмарочосів, опріснення води, виробництва електроенергії. Такі пристрої використовуються в різних технологічних процесах.

У промислових установках сонячні промені фокусують за допомогою увігнутого дзеркала. Воно є основною частиною геліоконцентратора, приладу, в якому паралельні сонячні промені збираються за допомогою увігнутого дзеркала. Якщо в фокус дзеркала помістити трубу з водою, то вона нагріється. Такий принцип дії сонячних перетворювачів прямої дії. На рис. 1.4 зображена сучасна геліоелектростанція.



Рис. 1.4. Сонячна геліоелектростанція [8]

Найбільш ефективно їх можна використовувати в південних широтах, але і в середній смузі вони знаходять застосування. Дзеркала в установках використовуються або традиційні - скляні або з полірованого алюмінію.

Технічно концентрацію можна здійснювати за допомогою різних оптичних елементів - дзеркал, лінз, світловодів і ін. Однак при високих рівнях потужності концентруючого випромінювання практично доцільно використовувати лише дзеркальні відбивачі.

Основним енергетичним показником концентратора сонячного випромінювання є коефіцієнт концентрації, який визначається як відношення середньої щільності сконцентрованого випромінювання до щільності променевого потоку, падаючого на поверхню, що відбиває за умови точної орієнтації на Сонце.

Концентруюча здатність реальних систем значно нижче, але також визначається насамперед геометрією концентратора і кутовим радіусом сонячного диска. Істотно на неї впливає і відбивна здатність дзеркальної поверхні, особливо в разі багаторазових відображень.

Високопотенціальні системи концентрації повинні мати конфігурацію, близьку до форми поверхонь обертання другого порядку - параболоїда, еліпсоїда, гіперболоїда або півсфери. Тільки в цьому випадку може бути досягнута щільність випромінювання, в сотні і тисячі разів перевищує сонячну постійну.

Найбільш ефективні концентратори сонячного випромінювання мають форму: циліндричного параболоїда; параболоїда обертання; плоско-лінійної лінзи Френеля. Параболоїдна конфігурація має явну перевагу перед іншими формами по величині концентруючої здатності. Тому саме вони настільки широко поширені в геліотехнічних системах. Оптимальний кут розкриття реальних параболоїдних концентраторів, на відміну від кута ідеального параболоїдного концентратора (45 град.), близький до 60 град. Сонячна енергія може безпосередньо перетворюватися в механічну. Для цього використовується двигун Стірлінга (двигун зовнішнього згорання). Якщо у фокусі параболічного дзеркала діаметром 1,5 м встановити динамічний перетворювач, що працює за циклом Стірлінга, одержуваної потужності достатньо, щоб піднімати з глибини 20 метрів 2 куб.м. води в годину. У

реальних геліосистемах плоско - лінійна лінза Френеля використовується рідко через її високу вартість [14].

В даний час будуються сонячні електростанції в основному двох типів: СЕС баштового типу і СЕС розподіленого (модульного) типу.

Ідея, що лежить в основі роботи СЕС баштового типу, була висловлена понад 350 років тому, проте будівництво СЕС цього типу почалося тільки в 1965 р., а в 1980-х роках був побудований ряд потужних сонячних електростанцій в США, Західній Європі, СРСР і в інших країнах.

У 1985 р. в с. Щолкіно була введена в експлуатацію перша в СРСР сонячна електростанція СЕС-5 електричною потужністю 5 МВт; 1600 геліостатів (плоских дзеркал) площею  $25,5 \text{ м}^2$  кожен, мають коефіцієнт відображення 0,71, концентрують сонячну енергію на центральний приймач у вигляді відкритого циліндра, встановленого на вежі висотою 89 м і службовця парогенератором [15].

У баштових СЕС використовується центральний приймач з полем геліостатів, що забезпечує ступінь концентрації в кілька тисяч. Система слідування за Сонцем значно складніша, так як потрібно обертання навколо двох осей. Управління системою здійснюється за допомогою ЕОМ (електронно – обчислювальна машина). Як робоче тіло в тепловому двигуні зазвичай використовується водяна пара з температурою до  $550^\circ\text{C}$ , повітря та інші гази - до  $1000^\circ\text{C}$ , низькокиплячі органічні рідини (в тому числі фреони) - до  $100^\circ\text{C}$ , рідкометалічні теплоносії - до  $800^\circ\text{C}$ .

Головним недоліком баштових СЕС є їх висока вартість і велика площа, яку вони займають. Так, для розміщення СЕС потужністю 100 МВт потрібна площа в 200 гектарів, а для АЕС потужністю 1000 МВт - всього 50 гектарів. Баштові СЕС потужністю до 10 МВт нерентабельні, їх оптимальна потужність дорівнює 100 МВт, а висота вежі 250 м.

У СЕС розподільного (модульного) типу використовується велика кількість модулів, кожен з яких включає параболо-циліндричний концентратор сонячного випромінювання і приймач, розташований у фокусі

концентратора і використовуваний для нагрівання робочої рідини, яка подається в тепловий двигун, який з'єднаний з електрогенератором.

Принцип роботи геліоелектростанції відображений на рис.1.5 [15].

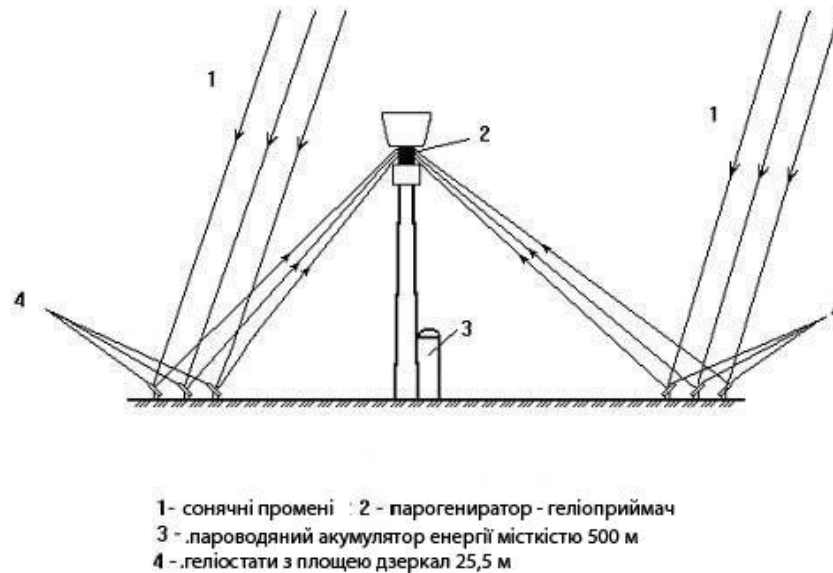


Рис.1.5. Принцип роботи геліоелектростанції [15]

При невеликій потужності СЕС модульного типу більш економічні, ніж баштові. У СЕС модульного типу зазвичай використовуються лінійні концентратори сонячної енергії з максимальним ступенем концентрації близько 100.

Відповідно до прогнозу в майбутньому СЕС займуть площу 13 млн. км<sup>2</sup> на суші і 18 млн. км<sup>2</sup> в океані [15].

СЕС на базі сонячних ставків значно дешевше СЕС інших типів, так як вони не вимагають дзеркальних відбивачів зі складною системою орієнтації, проте їх можна споруджувати тільки в районах з жарким кліматом.

У сонячному ставку відбувається одночасне уловлювання та накопичення сонячної енергії в великому обсязі рідини. Виявлено, що в деяких природних солоних озерах температура води у дна може досягати 70°C. Це обумовлено високою концентрацією солі. У звичайному водоймищі поглинається сонячна

енергія нагріває в основному поверхневий шар і ця теплота досить швидко втрачається. Принцип роботи сонячного ставка відображений на рис.1.6 [16].

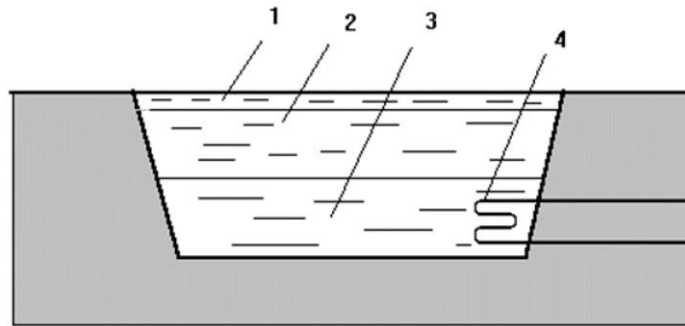


Схема сонячного ставка

1 - прісна вода; 2 - ізолюючий шар концентрацією, що збільшується донизу; 3 - шар горячого розчину;  
4 - теплообмінник;

Рис. 1.6. Принцип роботи сонячного ставка [16]

Особливо в нічні години і при холодній похмурій погоді через випаровування води і теплообмін з навколишнім повітрям. Сонячна енергія, яка проникає через всю масу рідини в сонячному ставку, поглинається забарвленим в темний колір дном і нагріває прилеглі шари рідини, в результаті чого температура її може досягати 90-100°C, в той час як температура поверхневого шару залишається на рівні 20 °C. Завдяки високій теплоємності води в сонячному ставку за літній сезон накопичується велика кількість теплоти, і внаслідок низьких теплових втрат падіння температури в нижньому шарі в холодний період року відбувається повільно, так що сонячний ставок служить сезонним акумулятором енергії. Теплота до споживача відводиться з нижньої зони ставка.

Зазвичай глибина ставка становить 1-3 м. На 1 м<sup>2</sup> площі ставка потрібно 500-1000 кг кухонної солі, її можна замінити хлоридом магнію [16].

Описаний ефект досягається завдяки тому, що за глибиною сонячного ставка підтримується градієнт кухонної солі, спрямований зверху вниз, тобто весь обсяг рідини як розділений на три зони, концентрація солі за глибиною поступово збільшується і досягає максимального значення на нижньому рівні.



Товщина цього шару складає  $2/3$  загальної глибини водойми. У нижньому конвекційному шарі концентрація солі максимальна і рівномірно розподілена в об'ємі рідини. Отже, щільність рідини максимальна на дні ставка і мінімальна у його поверхні відповідно до розподілу концентрації солі. Сонячний ставок служить одночасно колектором і акумулятором теплоти і відрізняється низькою вартістю в порівнянні зі звичайними колекторами сонячної енергії. Відведення теплоти з сонячного ставка може здійснюватися або за допомогою змійовика, розміщеного в нижньому шарі рідини, або шляхом відведення рідини з цього шару в теплообмінник, в якому циркулює теплоносій. При першому способі менше порушується температурне розшарування рідини в ставку, але другий спосіб теплотехнічний більш ефективний і економічний.

Сонячні ставки можуть бути використані в геліосистемах опалення і гарячого водопостачання житлових і громадських будівель, для отримання технологічної теплоти, в системах конденсуючих повітря абсорбційного типу, для виробництва електроенергії [16].

Плюси і мінуси геліоелектростанцій [17]:

Плюсами є те, що:

- Для організації енергопостачання не потрібні дорогі лінії електропередач, сховища палива і багато іншого;
- Геліоенергетика екологічна: немає ні отруйних викидів, ні шкідливих побічних ефектів;
- Незважаючи на відносно велику вартість, вона досить швидко окупається і постачає безкоштовну електрику високої якості;
- Вимагає мінімального догляду і може розміщуватися так, що практично не буде займати місця.

Однак є й мінуси:

- Сонце не світить 24 години на добу, і ночами сонячні панелі простоюють;

- Дощі, снігопади, туман - знижують ефективність сонячних панелей.;
- До недоліків геліоенергетики зазвичай відносять і низький ККД фотоелектричних елементів.

### 1.2.3 Сонячні колектори

У Центральній Азії на кожен квадратний метр поверхні, що знаходиться перпендикулярно сонячним променям, падає 800-1000 Ватт енергії за 1 годину, тобто приблизно 1 кВт / год. На рис.1.7 відображено найбільш використовуваний тип сонячного колектора - сонячний водонагрівач.



Рис. 1.7. Сонячний водонагрівач

Особливість сонячних колекторів полягає в тому, що поверхня, яка поглинає сонячні промені оброблена компонентами, які забезпечують максимальне сприйняття тепла, оскільки вони дуже вибагливі до теплового спектру сонячного потоку і проводять нагрів теплоносія. Принцип роботи сонячного колектора відображений на рис.1.8 [18].

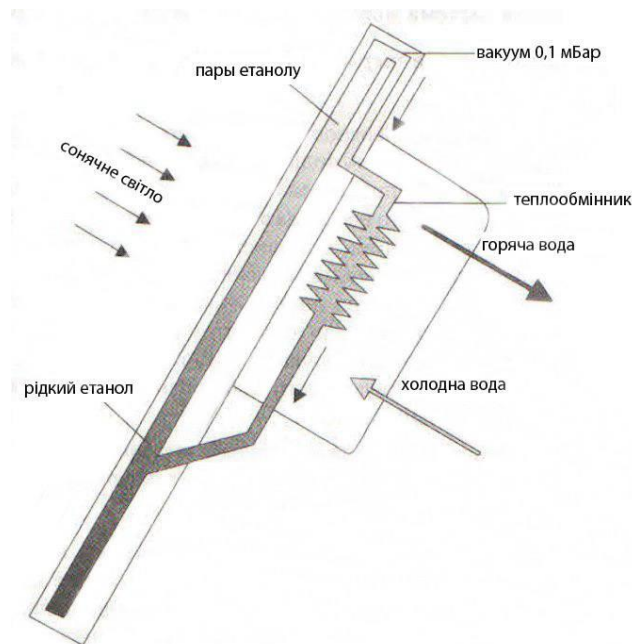


Рис. 1.8. Принцип роботи сонячного колектора [18]

Сонячний водонагрівач - колектор складається з короба зі змійовиком, бака холодної води, бака - акумулятора і труб. Короб стаціонарно встановлюється під кутом  $30-50^\circ$  з орієнтацією на південну сторону. Холодна вода постійно надходить в нижню частину короба, там вона нагрівається і відтік надходить в бак-акумулятор.

Для нагріву 100 літрів води сонячна установка повинна мати  $2 - 3 \text{ м}^2$  сонячних колекторів. Така водонагрівальна установка в сонячний день забезпечить нагрів води до температури  $90^\circ\text{C}$ . У зимовий період до  $50^\circ\text{C}$ .

У кліматичних умовах Центральної Азії сонячні водонагрівачі-колектори особливо ефективні.

Плоский сонячний водонагрівач-колектор - пристрій з поглинаючою панеллю плоскою конфігурації і плоскою прозорою ізоляцією для поглинання енергії Сонця.

Це плоска теплосприймаюча панель - абсорбер, площею  $1 - 2 \text{ м}^2$ , в якій є канали для рідини. Поверхня цієї панелі, звернена до Сонця - чорна, для кращого нагріву. Для зниження теплових втрат вона встановлюється в корпус, виконаний у вигляді плоскої рами. Знизу панель теплоізолювання, а зверху

захищена прозорою ізоляцією - спеціальним склом, пластиком або плівкою [18].

Як теплосприймаючу панель можна використовувати будь-який металевий або пластмасовий лист з каналами для теплоносія. Металеві абсорбери виготовляються з алюмінію або сталі двох типів: лист-труба і штамповані панелі (труба в листі). Пластмасові панелі не знаходять широкого застосування через швидке старіння під дією сонячних променів і малої теплопровідності.

Для досягнення більш високих температур теплоносія поверхню панелі покривають спектрально-селективними шарами, активно поглинаючими короткохвильове випромінювання сонця і знижують її власне теплове випромінювання в довгохвильовій частині спектра. Шари створюються на основі «чорного нікелю», «чорного хрому», окису міді на алюмінії, окису міді на міді.

Іншим способом поліпшення характеристик плоских колекторів є створення вакууму між теплосприймаючої панеллю і прозорою ізоляцією для зменшення теплових втрат (вакуумні сонячні колектори четвертого покоління).

Вакуумний сонячний водонагрівач - колектор. У вакуумному водонагрівачі - колекторі об'єм, в якому присутня чорна поверхня, що поглинає сонячне випромінювання, відокремлена від навколишнього середовища вакуумованим простором, що дозволяє практично повністю усувати втрати теплоти в навколишнє середовище за рахунок теплопровідності і конвекції. Втрати на випромінювання в значній мірі подавляються за рахунок застосування селективного покриття. Так як повний коефіцієнт втрат у вакуумному колекторі малий, теплоносій в ньому можна нагрівати до температур 120 - 160 °С.

Існує кілька типів вакуумних сонячних водонагрівачів-колекторів.

1. Вакуумний сонячний водонагрівач-колектор низького тиску (відкритий контур) з термосифонною системою.

На рис. 1.9. представлено принцип роботи сонячного – водонагрівача - колектора низького тиску з термосифонною системою [19].

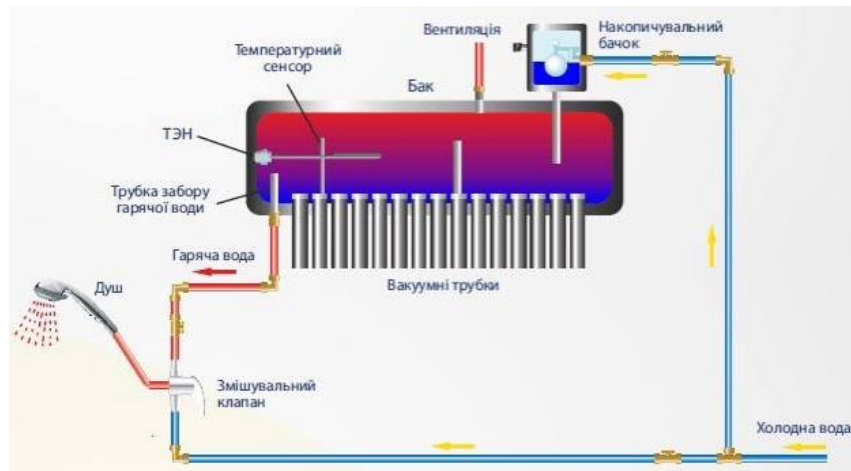


Рис. 1.9. Принцип роботи сонячного - водонагрівач-колектор низького тиску з термосифонною системою

Термосифонні системи працюють за принципом явища природної конвекції, коли тепла вода рухається вгору. У термосифонних системах бак повинен бути розташований вище колектора. Коли вода в трубках колектора нагрівається, вона стає легше і природно піднімається у верхню частину бака. Тим часом, більш прохолодна вода в баці тече вниз в трубки, таким чином починається циркуляція у всій системі. У маленьких системах, бак об'єднаний з колектором і не розрахований на магістральний тиск, тому термосифонні системи потрібно використовувати або з подачею води з вищерозташованої ємності, або через редуктори, що зменшують тиск.

## 2. Вакуумний сонячний водонагрівач-колектор магістрального тиску, термосифон з вбудованим теплообмінником.

Термосифон з вбудованим теплообмінником забезпечує можливість роботи при магістральному тиску. Нагрівається теплоносієм через теплообмінник з спіральної мідної труби, розташований всередині теплоаккумулятора. Принцип роботи цього типу сонячного водонагрівача такий же як і у звичайного термосифона низького тиску. Але замість того, щоб використовувати воду безпосередньо в теплоаккумуляторі, колектор



контролер може включати додатковий електронагрівач, встановлений в теплоаккумуляторі.

Переваги та недоліки сонячних колекторів [22]:

- До переваг можна віднести:
- Автономність та незалежність від централізованих тарифів;
- Довгий срок служби - до 30 лет;
- Довготривала роботоспроможність;
- Швидка окупність - близько 3-5 років;
- Екологічність - відсутність викидів та відходів;
- Зниження навантаження на домашню електромережу;
- Легкість впровадження в уже існуючу систему опалення.

Недоліки:

- Великі первинні витрати на закупівлю та установку;
- Вплив на ККД різних факторів: клімату, довжини світового дня та особливостей ландшафту.

З наведених вище переваг та недоліків сонячних колекторів можна зробити висновок, що вони являються дуже надійними та вигідними у використанні будь-якому місці та для будь-яких цілей. Вони можуть бути використані, як у побуті, так і на підприємствах та виробництвах.

## **Висновки до розділу 1**

У даному розділі було розглянуто альтернативні джерела відтворення енергії, а саме: сонячна енергетика. Були розглянуті актуальні на сьогоднішній день перетворювачі сонячної енергії, а саме: фотоелектричні перетворювачі, геліоелектростанції та сонячні колектори. Приведені їх характеристики, принцип роботи та визначені переваги та недоліки кожного виду сонячного перетворювача.

## **РОЗДІЛ 2.**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА**

Сонячна енергія набуває все більшого попиту та стає більш популярним способом генерації енергії в порівнянні з іншими методами. Даний вид генерації енергії зазнав розповсюдження завдяки збільшенню потреби на чисту енергію та завдяки можливості локального виробництва електроенергії.

Сонячна енергія напряму залежить від сонячного світла і освітленості панелі. Рівень освітленості панелі не постійний, він змінюється протягом дня в залежності від положення Сонця, саме тому панель має змінювати своє положення відповідно до кута падіння сонячного світла. Звичні, стаціонарні сонячні панелі не можуть в повній мірі використовувати всю доступну сонячну енергію.

Для підвищення ефективності поглинання світла та в наслідок виробництва електроенергії з меншими втратами, необхідно використовувати метод відстеження сонячного світла. В основі даного методу лежить відстеження руху Сонця протягом дня [22].

#### **2.1. Структура та алгоритми керування сонячного трекера**

Для підвищення ефективності поглинання світла використовують сонячні трекери. В даному розділі описується моделювання та процес розробки одновісного сонячного трекера.

Сонячний трекер - це пристрій, за допомогою якого відстежується положення Сонця і орієнтується платформа так, щоб сонячні батареї мали найбільший ККД. На трекері розміщені датчики, які дозволяють визначити найбільш оптимальну орієнтацію сонячних панелей, а серводвигун, відповідно, повертає панель в потрібне положення. Слідкуюча система використовується для виставки сонячної панелі під таким кутом, щоб потік світла був перпендикулярний панелі [23].

Одновісний трекер - це система, що може вільно обертатися навколо однієї осі, коли інша вісь зафіксована на визначений кут. Одноосьові трекери



мають одну степінь свободи — обертання навколо осі. Вісь обертання одновісного трекера, як правило, орієнтована уздовж осі дотичної до меридіана (північ-південь). У загальному випадку можлива орієнтація вісі обертання в будь-яких координатних напрямках з використанням алгоритму SPA (Solar Position Algorithm)

Розрізняють декілька видів одновісних трекерів:

- Горизонтальний одновісний трекер (HSAT).
- Вертикальний одновісний трекер (VSAT).
- Одновісний трекер з похилою віссю обертання (TSAT).
- Одновісний трекер з полярно-орієнтованою віссю обертання (PASAT).

**Трекери з горизонтально орієнтованою віссю (HSAT).** Вісь обертання для HSAT горизонтальна по відношенню до земного горизонту .

Конструкція HSAT є дуже гнучкою. Проста геометрія HSAT вимагає, щоб всі осі обертання були паралельні один одному. Вірно підібраний інтервал між осями дозволяє максимізувати вироблення електроенергії, що залежить від рельєфу місцевості, тіні і часу доби.

**Трекери з вертикальною віссю обертання - Vertical single axis tracker (VSAT).** Вісь обертання для VSAT вертикальна відносно земного горизонту. Ці трекери обертаються зі сходу на захід протягом доби. Такі трекери більш ефективні на високих широтах, ніж HSAT. У конструкціях трекерів повинно бути враховано затінення від сусідніх трекерів, щоб уникнути непотрібних втрат енергії і оптимізувати землекористування.

VSAT зазвичай мають робочу поверхню (з фотоелементами) нахилену під кутом по відношенню до осі обертання на певний фіксований кут.

**Трекери з похилою віссю обертання - Tilted single axis tracke (TSAT).** Трекери, що мають вісь обертання орієнтовану між горизонтальною і вертикальною площиною, називають TSAT.

**Трекери з полярно орієнтованою віссю обертання - Polar aligned single axis trackers (PASAT).** Цей метод відомий, як стандартний метод

монтажу системи телескопа. Трекери PASAT вирівнюються по полярній зірці. У зв'язку з цим їх ще називають трекерами з полярно виставленою віссю. У кожному конкретному даному випадку для PASAT кут нахилу платформи дорівнює широті установки. Для таких трекерів вісь обертання паралельна вісі обертання Землі.

Іншим різновидом сонячних трекерів є **трекери з двома осями обертання - Dual axis trackers (DAT)**. Вони мають два степені свободи, які формуються осями обертання. Ці осі, як правило, не зв'язані одна з одною, але працюють разом. Вісь, орієнтація якої фіксується відносно до Землі, може розглядатися як основна вісь. Інша вісь може розглядати як вторинна, і навпаки [24].

На рис. 2.1. зображено одновісний сонячний трекер [24].

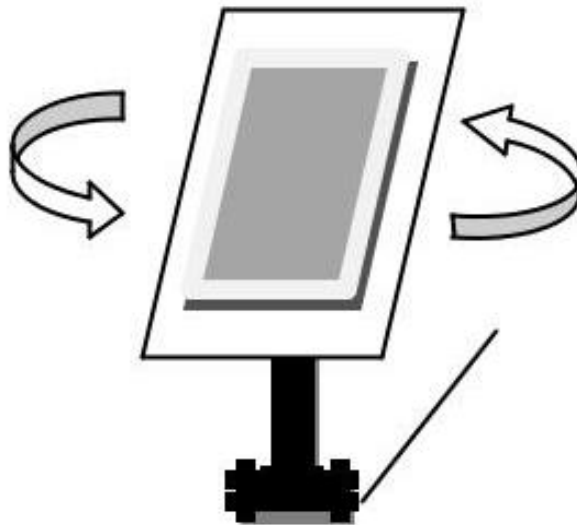


Рис. 2.1. Сонячний одновісний трекер

З рис.2.1 видно, що сонячна панель має нахил на кут  $\alpha$  - фіксований кут нахилу панелі до площини горизонту. Одновісний сонячний трекер повертається зі сходу на захід протягом дня, відстежуючи азимутальний кут положення Сонця.

На рис. 2.2. зображено сонячний трекер з двома осями обертання [9].

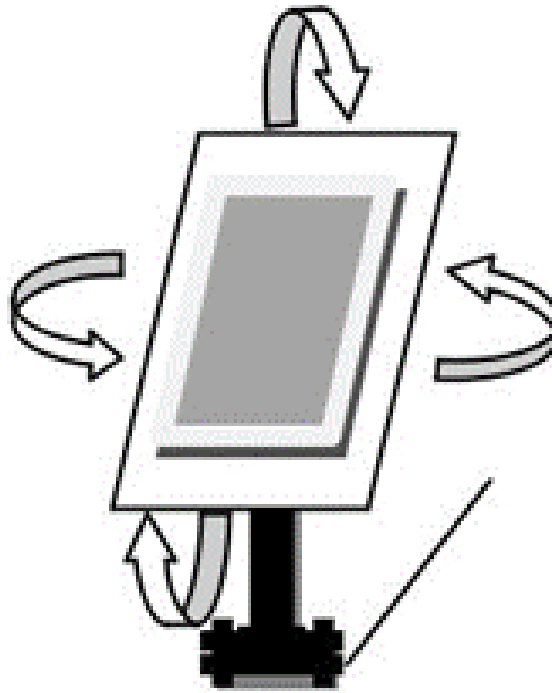


Рис 2.2. Двохосьовий сонячний трекер

Двохвісні сонячні трекери є високо ефективними.. Оскільки трекер має здатність повертатися за Сонцем одразу в двох напрямках, це дозволяє йому підвищити ефективність роботи сонячної панелі та зменшити втрати енергії. Перевагою є те, що вони не піддаються впливу коливань температури та вологості. Це означає, що їх можна використовувати в будь-яку погоду.

Але трекер DAT має більш складну конструкцію в порівнянні з одновісним трекером. У таких системах можуть з'являтися додаткові похибки викликані наявністю двох осей обертання та відповідними похибками виставки [25].

Сонячні трекери на базі одновісних систем забезпечують тільки одну вісь свободи, в наслідок чого відбувається менше споживання енергії та наявність більш простої конструкції ніж багатокоординатні системи.

Необхідно розглянути існуючі алгоритми функціонування сонячних трекерів.

У роботі [26] Хуангом Б. Ж був побудований одновісний 3-х позиційний сонячний трекер, який може бути вбудований у стіну будинку. Його конструкція дозволяє працювати тільки в 3-х положеннях, як показано на рис. 2.3. Сам трекер складається з простої конструкції та двигуна постійного струму для повороту монтажної рами. Алгоритм роботи полягає в тому, що універсальна інтегральна схема подає часовий сигнал, щоб викликати поворот двигуна під заданим кутом. Функції вимірювання руху трекера, генерації сонячного перетворювача та алгоритми управління реалізовані за допомогою мікроконтролера PIC18F452.

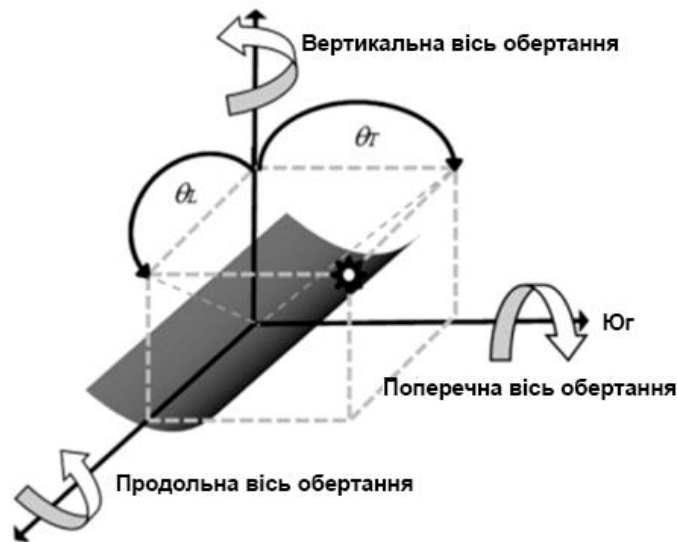


Рис.2.3. Принцип роботи 3-х позиційного сонячного трекера [26]

Чіном Ц.С. та його командою [27] був розроблений автономний сонячний одновісний трекер, який складався з сонячної панелі, серводвигуна, акумулятора, зарядного пристрою, двох фоторезисторів та мікроконтролера. Трекер був розроблений, використовуючи обертання зі Сходу на Захід, а двигун встановлений таким чином, щоб слідкуюча система трекера мала змогу обертатися по одній осі. Інтенсивність сонячного світла у даному алгоритмі визначалася за допомогою фоторезисторів, які передавали сигнал на мікроконтролер для обертання панелі за допомогою серводвигуна. Всі компоненти приладу живляться від свинцево-кислотної батареї, в якій згенерована енергія зберігалася через контролер заряду [27].

Наступний алгоритм одновісного сонячного трекеру був запропонований Конаром А. та Мандалом А. К. Даний трекер розроблений на базі схеми автоматичного контролю положення. Плоский сонячний перетворювач або циліндричний параболічний відбивач мають бути закріплені в оптимальному положенні по одній осі, а трекер керує поворотом по іншій осі, змінюючи кут азимута. Даний алгоритм був розроблений для пошуку максимального рівня сонячного освітлення в кожному положенні азимутального кута -  $360^\circ$ . Отже, трекер виконує повний оберт навколо своєї осі і не обмежений географічним положенням установки. В даній системі використовується схема ступінчастого відстеження замість безперервного відстеження, яка довше тримає двигуни в режимі холостого ходу для економії енергії [28].

В роботі [29] А. Кассема и М. Хамада представлено алгоритм роботи сонячного трекера. Перетворювач також буде подавати живлення на вхід зарядного пристрою, який буде заряджати акумулятор постійного струму. Друга функція сонячного перетворювача полягає в тому, щоб подавати точну напругу трекера мікроконтролеру, щоб отримати найбільш ефективну орієнтацію системи, яка дозволить отримати максимальну кількість сонячного світла. Конструкція даного приладу складається з сонячного перетворювача, серводвигуна, зарядного пристрою, 3-х фоторезисторів, які закріплені по схемі ХОУ та акумулятора, як показано на рис. 2.4. Алгоритм роботи приведенного трекера полягає в тому, що трекер буде порівнювати інформацію з двох фоторезисторів Х та О, поки дані з фоторезисторів не будуть близькі за значенням, даний цикл порівнянь буде керувати серводвигуном, поки не буде досягнуто майже рівномірного розподілення світла. Фоторезистори Y та О використовуються аналогічно [29].



Рис.2.4 Розташування фоторезисторів по схемі ХОУ на сонячному перетворювачі [29]

На рис. 2.5. показана структурна схема одновісного сонячного трекера запропонована в даній магістерській дисертації. На даній схемі головним елементом системи є мікроконтролер, який відповідає за регулювання кута панелі відносно сонячних променів і необхідних даних ланцюга зворотного зв'язку, через який передається інформація для здійснення подальших операцій.

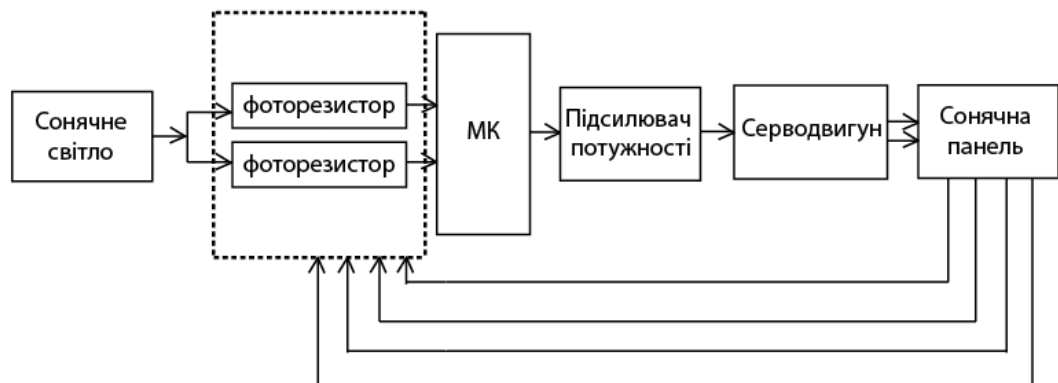


Рис.2.5. Структура одновісного сонячного трекера

## 2.2. Серводвигун та його характеристики

Для розробки одновісного сонячного трекера було використано серводвигун.

Серводвигун здійснює поворот сонячної панелі відповідно до напрямку падаючих на її поверхню сонячних променів. Принцип роботи серводвигуна приведено на рис. 2.6.

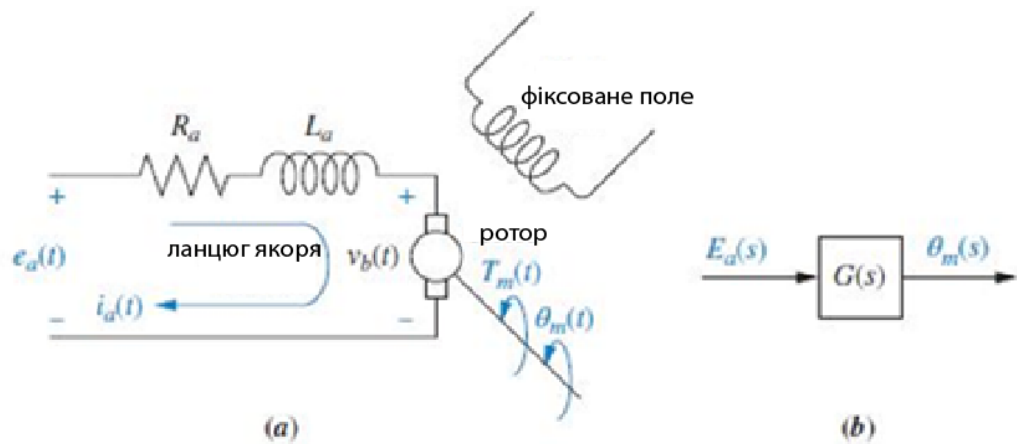


Рис. 2.6. а) Принципова схема двигуна постійного струму, б) блок-схема

Магнітне поле створюється нерухомим електромагнітом, як показано на рис. 2.6а, де,

- $R_a$  – опір якоря;
- $L_a$  – індуктивність якоря;
- $I_a$  – струм ланцюга якоря;
- $E_a$  – напруга якоря;
- $V_b$  – зворотня ЕРС;
- $T_b$  – обертаючий момент двигуна;
- $\theta_m$  – кут повороту вала двигуна.

Оскільки швидкість обертання якоря пропорційна прикладеній напрузі, то можна записати [30]:

$$V_b(t) = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

де  $K_b$  – коефіцієнт пропорційності. Застосовуючи перетворення Лапласа, отримано:

$$V_b(s) = K_b s \theta_m(s). \quad (2.2)$$

Застосовуючи правило контурів (2 закон Кірхгофа) для ланцюга якоря у операторній формі, отримано:

$$R_a I_a(s) + L_a s l_a(s) + V_b(s) = E_a(s). \quad (2.3)$$

Крутний момент, створюваний двигуном ( $T_m$ ) пропорційний струму в ланцюгу якоря,

$$T_m(s) = K_t l_a(s), \quad (2.4)$$

де  $K_t$  - постійна крутного моменту. Підставляючи рівняння (2.2) і рівняння (2.4.) в рівняння (2.3.), отримаємо:

$$\frac{(R_a + L_a s)}{K_t} T_m + K_b s \theta_m(s) = E_a(s). \quad (2.5)$$

Розписуючи вираз, що визначає еквівалентне механічне навантаження на двигун, отримуємо співвідношення:

$$T_m(s) = (J_m s^2 + B_m s) \theta_m(s), \quad (2.6)$$

де  $J_m$  і  $B_m$  - еквівалентний момент інерції якоря і коефіцієнт в'язкого демпфування якоря. Використовуючи рівняння (2.6) в рівнянні (2.5) і отримані співвідношення між  $\theta_m$  та  $E_a$ , отримуємо передатну функцію серводвигуна  $T(s)$ :

$$T(s) = \frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t}{s[(R_a + sL_a)(J_m s + B_m) + K_t K_b]}. \quad (2.7)$$

З отриманої передатної функції знайдемо часові та частотні характеристики. Спочатку було побудовано перехідну характеристику, – реакцію ланки системи на одиничний ступінчатий вплив при нульових початкових умовах, та імпульсну характеристику, – реакцію ланки на одиничний імпульс на вході ланки. Перехідна характеристика наведена на рис. 2.7, а імпульсна на рис. 2.8.



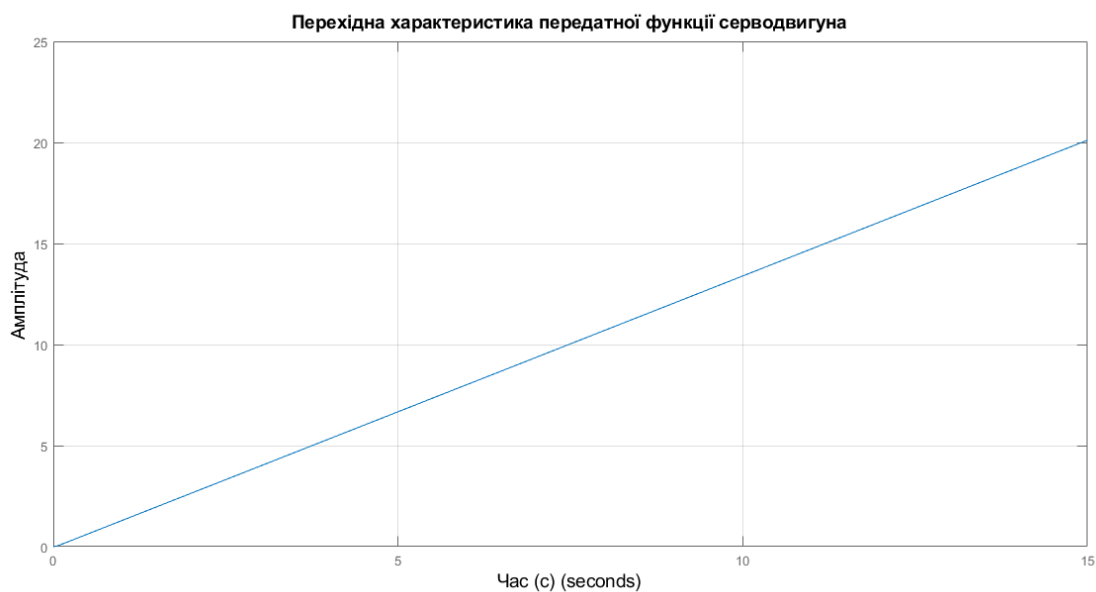


Рис. 2.7. Перехідна характеристика серводвигуна

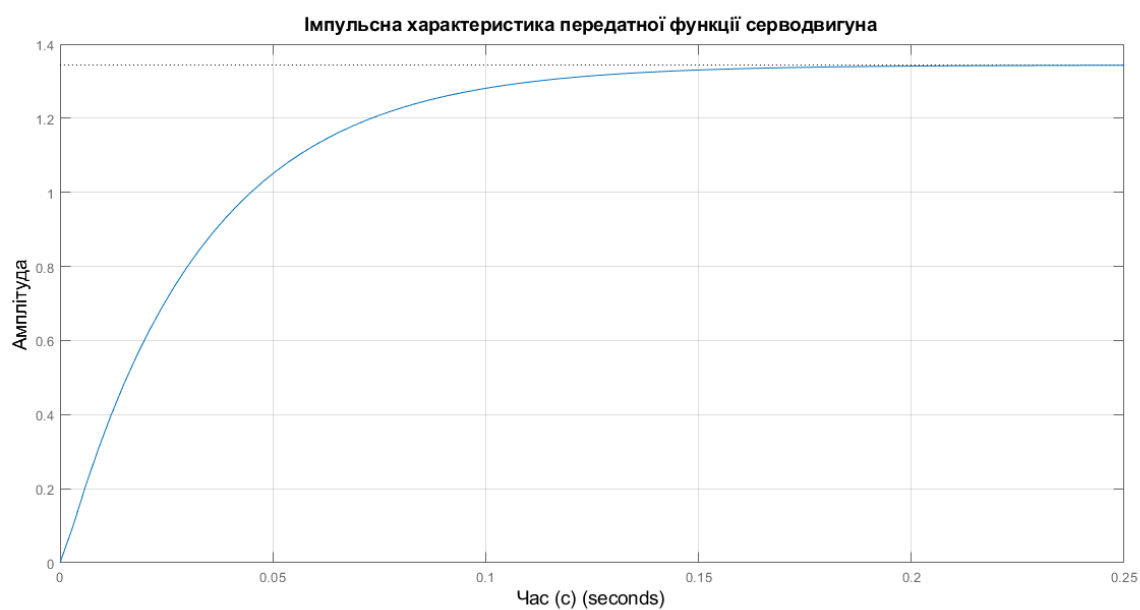


Рис. 2.8. Імпульсна характеристика серводвигуна

На рис. 2.9 показана логарифмічна амплітудо-частотна та логарифмічні фазо-частотні характеристики, а на рис. 2.10 - годограф Найквіста.

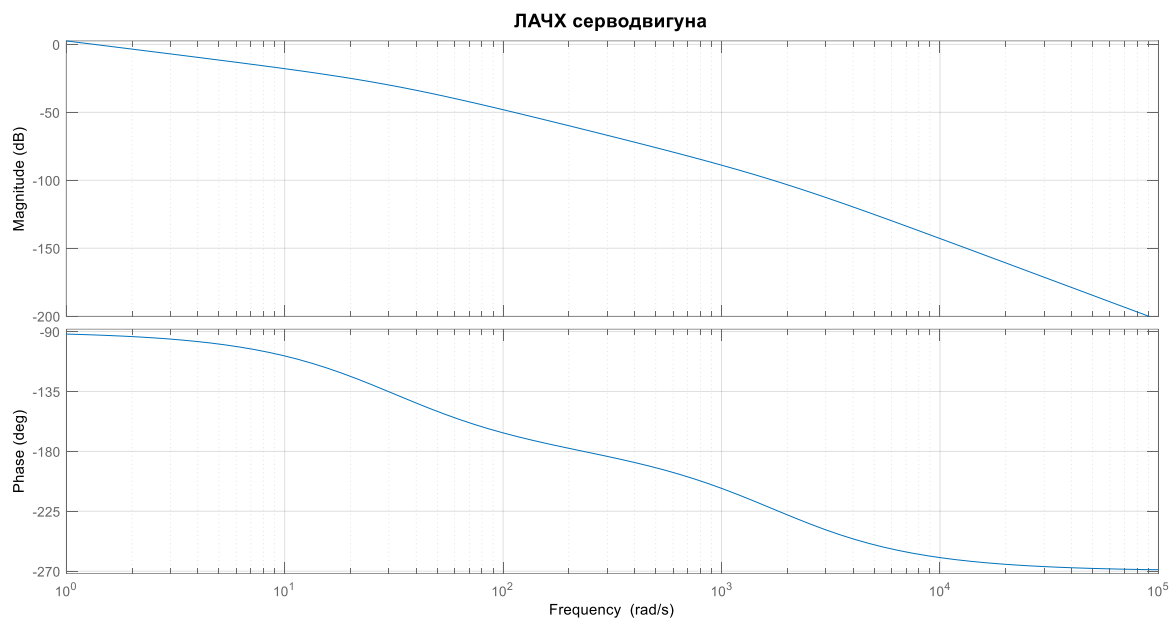


Рис. 2.9. ЛАЧХ серводвигуна

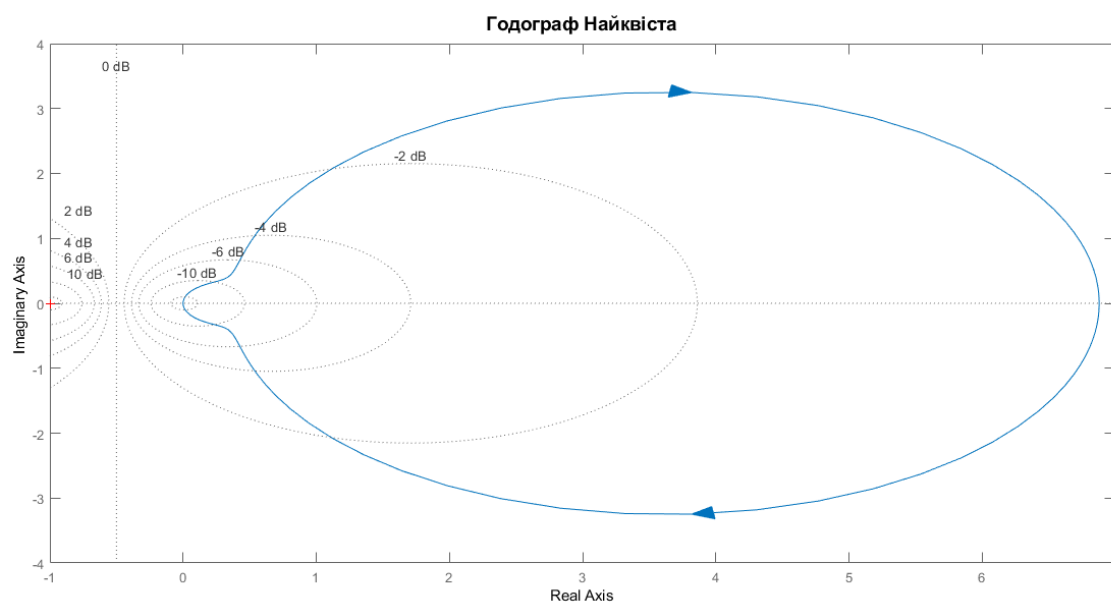


Рис. 2.10. Годограф Найквіста

Перед розробкою макету одновісного сонячного трекера, необхідно виконати математичне моделювання трекера з використанням отриманої моделі двигуна (рівняння (2.7)) та з обраним законом керування платформою.

Цей підхід використовується для аналізу і прогнозування поведінки приладу до його реалізації. Це допомагає визначити будь-які відхилення від номінальних характеристик серводвигуна, зазначених виробником.

Для створення макету одновісного сонячного трекера було обрано серводвигун «MG996 tower pro», оскільки він має оптимальні характеристики, що найбільше відповідають поставленому завданню. Даний двигун займає друге місце по популярності використання у проектах [31]. Найближчим аналогом є серводвигун «MG995», але у «MG996 tower pro» перепроєктована друкована плата та система керування, що зробило серводвигун більш точним. Також вдосконалено редуктор та мотор, що зменшило «мертву» зону та покращило центрування [32].

Характеристики Towerpro MG996R [32]:

- робоча напруга: від 4.8 до 7.2 В;
- робоча швидкість: без навантаження при 4.8 В – 352,941 °/с, без навантаження при 6 В – 461.538 °/с
- пусковий момент: при 4.8 В - 9 кг · см, при 6 В - 11 кг · см;
- робоча температура: 0-55 ° С;
- розмір: 4 x 1.9 x 4.3 см;
- кут повороту: 180 °.

Оскільки заплановано підвищити точність роботи сонячного трекера та враховуючи невеликі розміри майбутнього приладу, то було обрано серводвигун Tower PROMG996 R. У табл. 2.1 показані основні характеристики серводвигуна [32]. Деякі з них отримані експериментальним шляхом при підключенні серводвигуна до блоку живлення та були виміряні за допомогою мультиметру.

Таблиця 2.1.

#### Характеристики серводвигуна Tower PROMG996 R

Постійна	Величина	Одиниці вимірювання
----------	----------	---------------------

Опір	2	Ом
Індуктивність	$1,134 \cdot 10^{-3}$	Г
Момент інерції	$5,5 \cdot 10^{-3}$	кг · м <sup>2</sup>
В'язке демпфування	0,154	Н · м/рад/с
Противоелектрорухома сила	0,537	В·сек/рад;
Обертаючий момент	0,7707	Н · м/А

Моделювання одновісного сонячного трекера проводилося за допомогою програмного середовища – MATLAB / Simulink.

Для того, щоб проаналізувати роботу побудованої моделі необхідно подати на вхід системи гармонічний сигнал частотою 10 рад/с та одиничною амплітудою (рис.2.12). На рис. 2.11 зображена Simulink-модель серводвигуна, яка реалізована у вигляді замкнутої системи керування по куту за допомогою передатних функцій серводвигуна постійного струму. У якості типового вхідного сигналу тут використано гармонічне діяння.

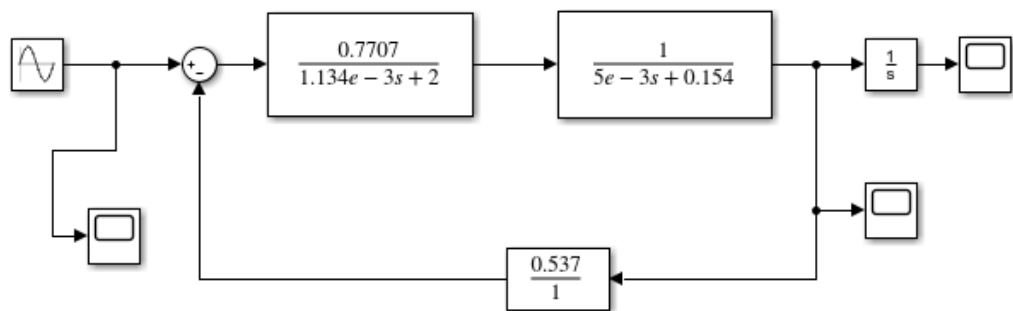


Рис. 2.11. Simulink-модель серводвигуна постійного струму з гармонічним сигналом на вході систем

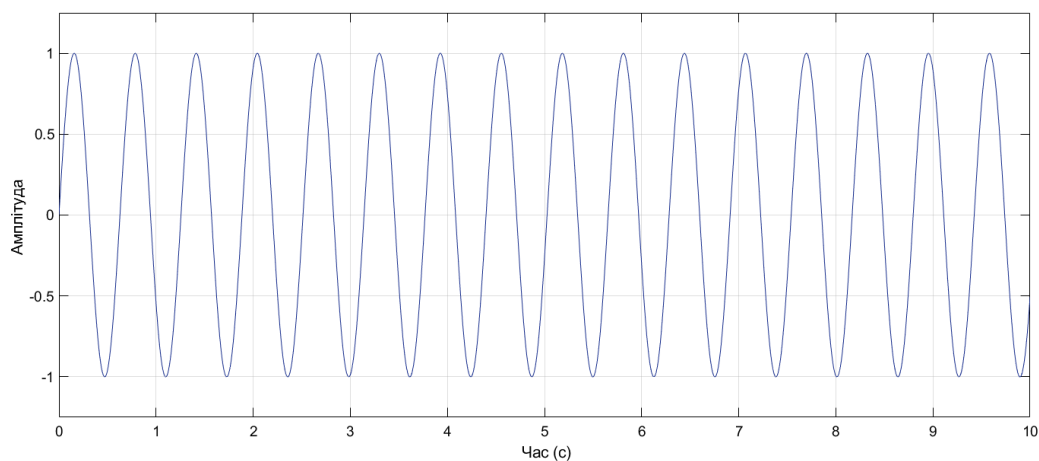


Рис. 2.12. Вхідний сигнал системи з частотою 10 рад/с

На рис. 2.13 показаний вихідний сигнал моделі по кутовій швидкості серводвигуна без проходження через інтегратор. Вихідні дані виражаються в радіанах за секунду. На рис. 2.14 показано сигнал (кут повороту серводвигуна) на виході передатної функції, що проходить через інтегратор (кут повороту – в радіанах).

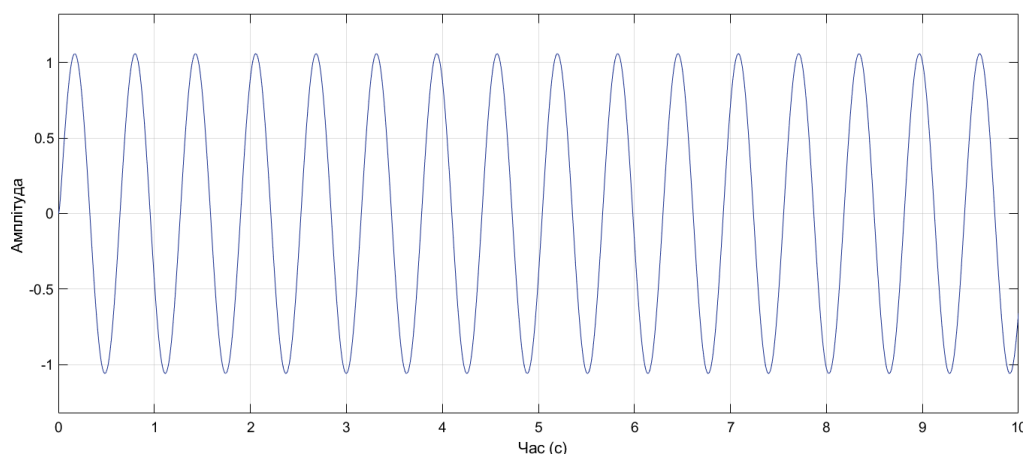


Рис. 2.13. Кутова швидкість повороту вала серводвигуна

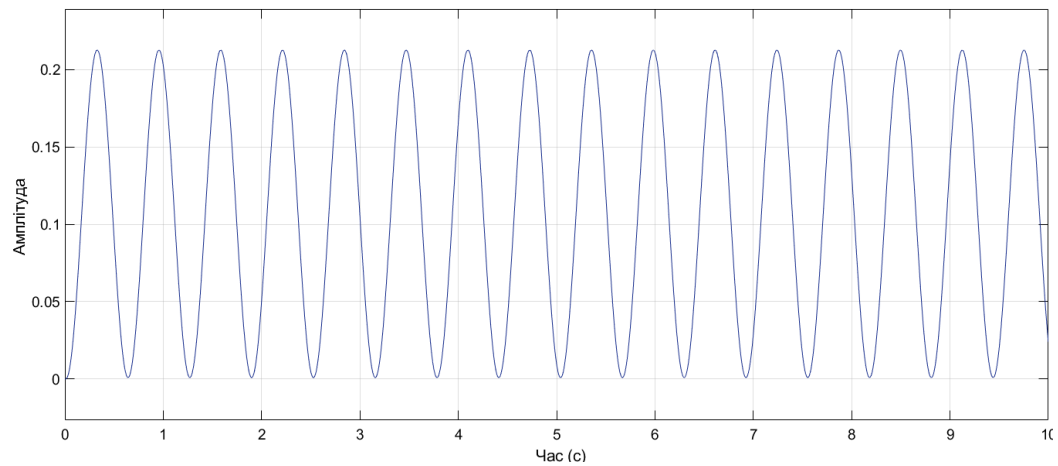


Рис. 2.14. Кут повороту вала серводвигуна

З наведених вище графіків можна зробити висновок, що модель працює коректно. Даний висновок можна зробити зі значень амплітуди, які змінюються відповідно до закону інтегрування.

Розглянемо роботу моделі при подачі напруги постійного струму на рівні 6 В. Вихідна кутова швидкість моделі складає 6,41 рад/сек і має початкове перевищення, яке досягає 6,75 рад / сек. Номінальна швидкість серводвигуна, надана виробником, становить 6,34 рад/сек.

На рис. 2.15 показаний вихідний сигнал моделі (кутова швидкість) передатної функції серводвигуна без проходження через інтегратор. Вихідні дані виражаються в радіанах за секунду. На рис. 2.16 показано сигнал (кут повороту серводвигуна) на виході передатної функції, що проходить через інтегратор, із зазначенням кута повороту двигуна в радіанах. [33]

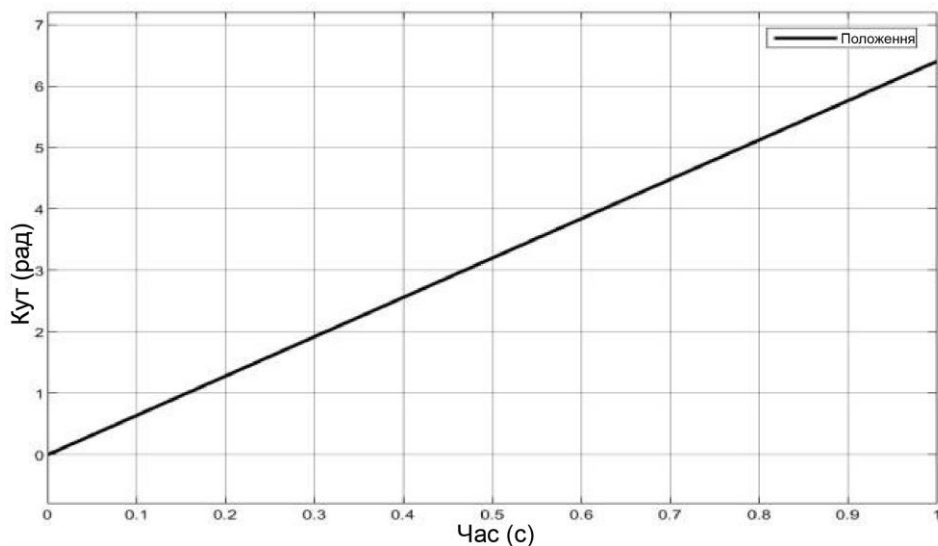


Рис 2.15. Кут повороту серводвигуна

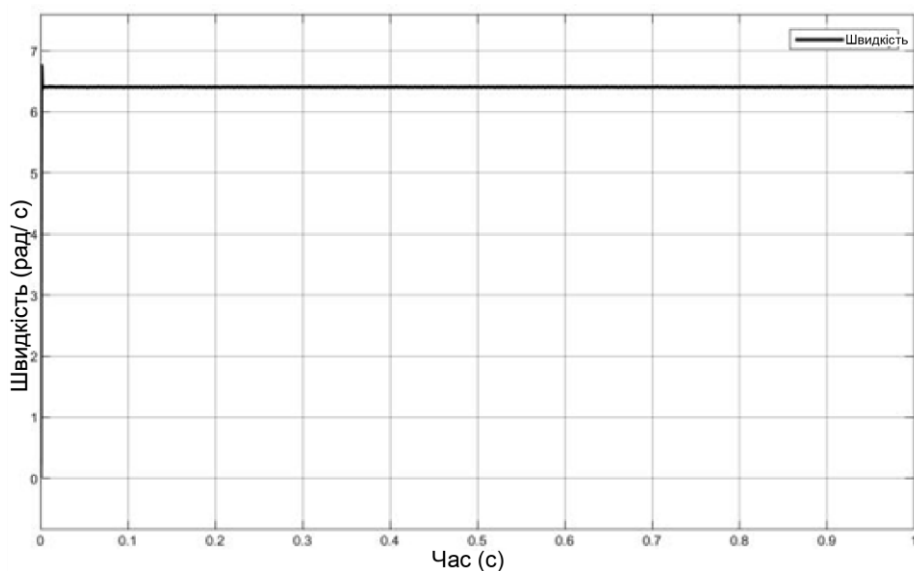


Рис.2. 16. Кутова швидкість серводвигуна

### 2.3 Розробка Simulink– моделі сонячного трекера

Одновісний сонячний трекер призначений для відслідковування азимутального кута Сонця платформою з сонячною панеллю. Збір даних відбувався для широти  $50^{\circ} 27' 16''$  ( $50^{\circ} 27' 27''$ ) п. ш. ;  $30^{\circ} 31' 25''$  ( $30^{\circ} 31' 42''$ ) с. д. [33].

На рис. 2.17. представлена розширена імітаційна модель одновісного сонячного трекера. Під час моделювання роботи трекера на вхід моделі

подається сигнал азимутального кута, який генерується у блоці «Stateflow» (діаграма станів). Сигнали даного блоку повністю відповідають за логіку роботи моделі. Далі сигнали потрапляють до підсистеми – моделі серводвигуна, який повертає сонячну панель відповідно до первинних даних.

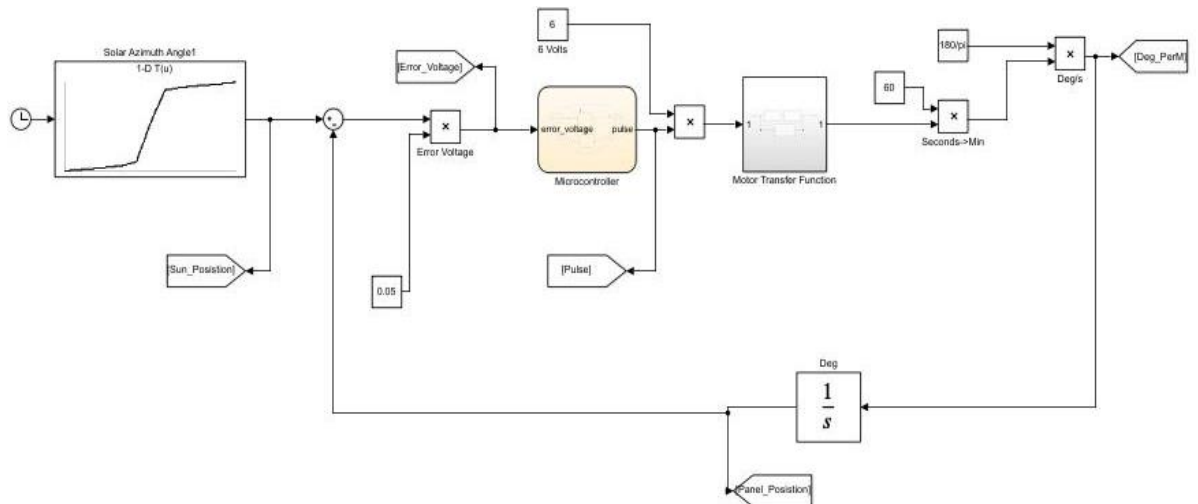


Рис. 2. 17. Модель одновісного сонячного трекера у програмному середовищі Simulink [33]

На рис. 2.18 показана модель зміни азимутального кута Сонця між світанком та заходом. При цьому  $t = 0$  – час світанку (06:28), а  $t = 720$  – час заходу Сонця (19:30), станом на 1 квітня 2021 року.

Вздовж вісі Y відкладено азимутальний кут, де 0 градусів представляє положення Сонця опівдні. Це положення коли Сонце розташоване в zenіті прямо над поверхнею Землі. Кожна секунда моделювання вважається хвилиною.

Допуск на зміну напруги в моделі встановлений на рівні  $\pm 0,3$  В (різниця в напрузі між двома парами фоторезисторів), що відображається зміною положення панелі на 10 градусів в залежності від положення Сонця [33].



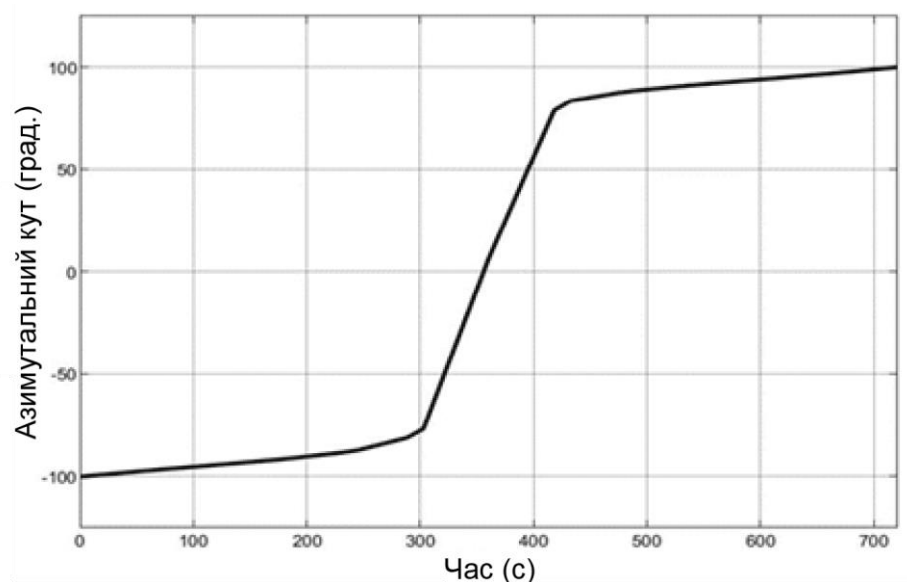


Рис. 2.18 Вихідний сигнал передатної функції серводвигуна (рад.)

Діаграма станів (рис.2.19), яка є основою роботи моделі складається з наступних станів:

1) «Стаціонарного стану», коли панель нерухома, тобто напруга похибки знаходиться в межах  $\pm 0,3$  В.

2) «Panel\_Moves\_1» – це стан, при якому напруга похибки становить  $+0,3$  В, це означає, що сонячна панель рухається зі сходу на захід.

3) «Panel\_Moves\_2» – це стан, при якому напруга похибки становить  $-0,3$  В. У даному стані – навпаки – панель рухається із заходу на схід, мікроконтролер переходить в цей стан при певних подіях, таких як похмура погода, зміна ночі на день, коли панель повертається у вихідне становище [33].

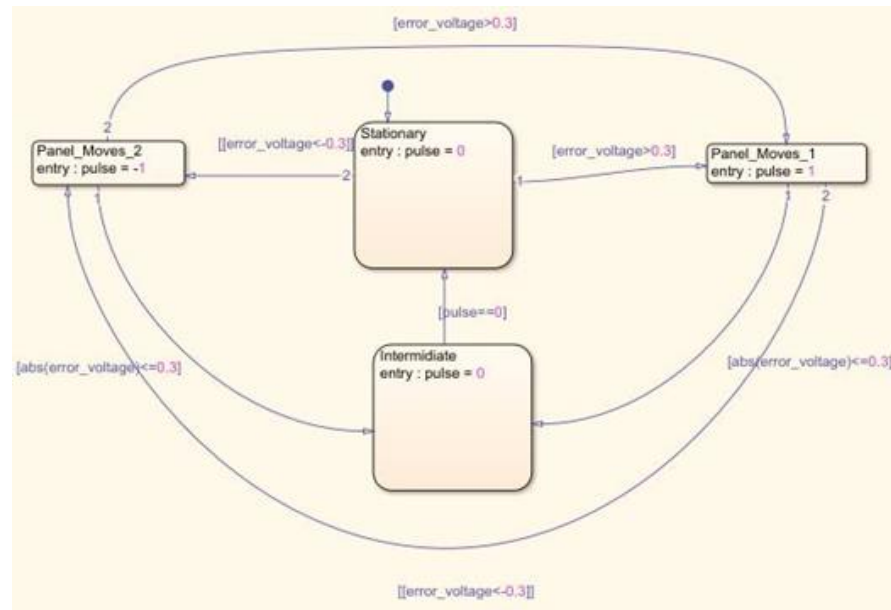


Рис 2.19 Діаграма станів для логіки мікроконтролера

На рис. 2.20 відображено положення панелі та положення Сонця відносно азимутального кута.

Керуючий сигнал моделі (сигнал розузгодження) отримується як різниця між заданим сигналом (вихід блоку «Stateflow») та поточним. Цей сигнал показано на 2.21.

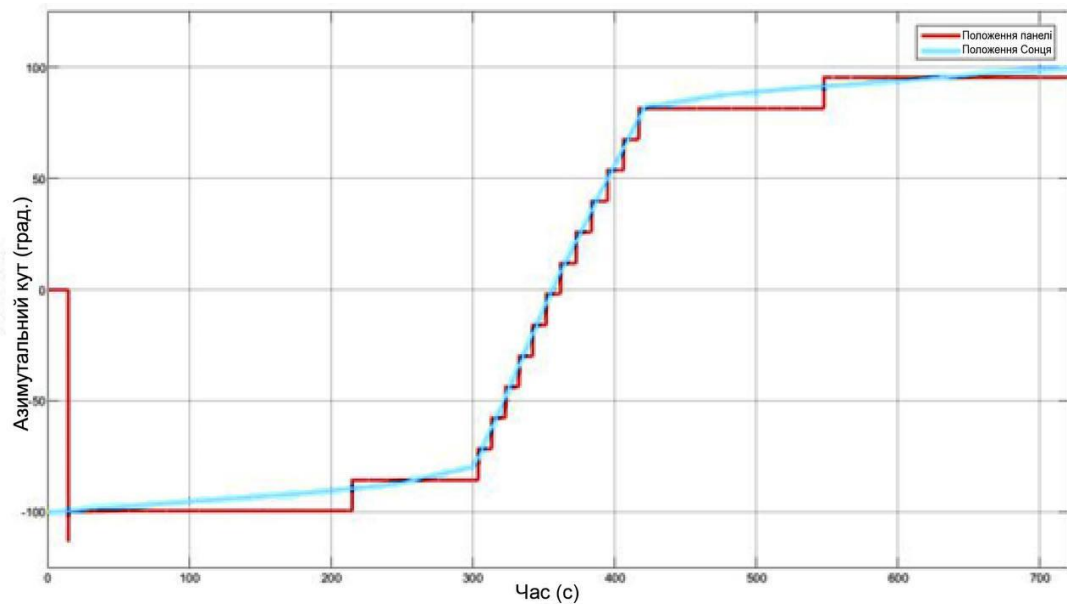


Рис. 2.20. Положення сонячної панелі (град.).

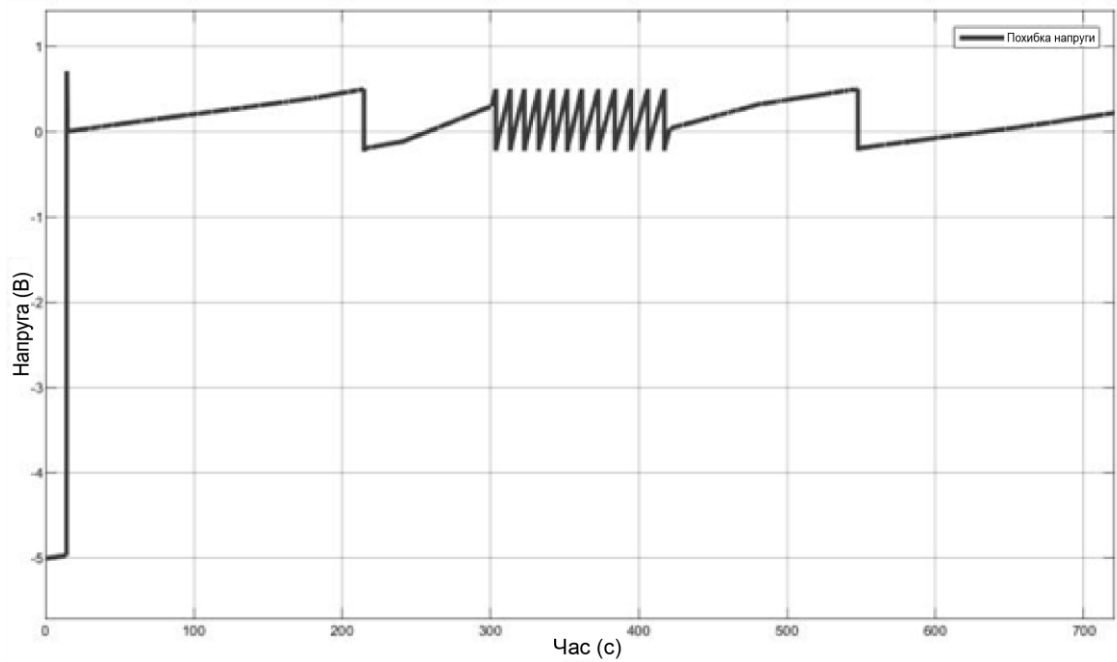


Рис 2.21. Керуючий сигнал моделі (сигнал розузгодження) в залежності від часу

Для перевірки правильності роботи моделі, необхідно проаналізувати наскільки точно панель змінює своє положення відносно Сонця. Для цього потрібно зафіксувати дані в різний час доби: 06:00, 08:00, 10:00, 14:00, 16:00, 18:00, 00:00 [33].

Результати експерименту занесені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Порівняння азимутального кута.

Час	Сонячний кут	Кут панелі	Похибка
06:00	- 100,17 °	- 100 °	0,17 °
08:00	- 94,61 °	- 100 °	5,39 °
10:00	- 88,07 °	- 86,01	2,06 °
14:00	4,35 °	5,79 °	1,44 °
16:00	89,98 °	87,86 °	2,12 °

Продовження Таблиці 2.1.

19:00	95,05 °	96,01 °	0,96 °
00:00	102,26 °	99,87 °	2.39 °

У табл. 2.1 наведені дані з експерименту, проведеного на розробленій моделі. В ній порівнюється значення азимутального кута Сонця та панелі. Розрахована похибка досить мала та не перевищує 10°. Тобто, дана модель може бути використана для розробки макетного зразка приладу.

### Висновки до розділу 2

У даному розділі було проведено аналіз існуючих сонячних трекерів. Розглянуто популярні алгоритми керування одновісними сонячними трекерами. Проведено моделювання одновісного сонячного трекера та його серводвигуна у програмному середовищі Matlab Simulink. На вхід моделі подається сигнал азимутального кута, який генерується у блоці «Stateflow». Потім сигнали потрапляють до підсистеми – моделі серводвигуна, який повертає сонячну панель відповідно до первинних даних. На виході отримані графіки положення моделі та керуючого сигналу.

Для перевірки правильності роботи моделі, було проаналізовано наскільки точно панель змінює своє положення відносно Сонця. Було зафіксовано дані на протязі доби: 06:00, 08:00, 10:00, 14:00, 16:00, 18:00, 00:00. У результаті було порівняно значення азимутального кута Сонця та панелі і було отримано похибку, яка не перевищує не перевищує 10°. Це означає, що дана модель може бути використана для розробки макетного зразка приладу.

### РОЗДІЛ 3. ПРОТОТИПУВАННЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТЕЖЕННЯ ЗА ДЖЕРЕЛОМ СВІТЛА

#### 3.1. Вибір елементної бази одновісного сонячного трекера

Для проектування одновісного сонячного трекера спочатку необхідно визначитися з елементною базою майбутнього макету. Основними складовими сонячного трекера є: мікроконтролер, серводвигун та фоторезистори.

**Вибір мікроконтролера.** Мікроконтролер у даному пристрої має відповідати наступним критеріям:

- бути здатним підключитися до серводвигуна;
- невисока обчислювальна потужність;
- невисока вартість;
- компактні розміри;
- можливість з'єднання з комп'ютером, USB вихід.

Отже, виходячи з вище наведених вимог порівняємо наступні платформи: Raspberry PI і Arduino.

Raspberry PI – мікроконтролер, який має власну операційну систему. Він дає змогу продивлятися відеоролики, прослуховувати музику, користуватися програмами різних видів і т.д, як повноцінний мінікомп'ютер. Програмування плати може відбуватися різними мовами: Scratch, Python, Java і т.п. [34]

Arduino – це апаратна платформа з мікроконтролером, що може виконувати різноманітні операції. Він має апаратні входи та виходи, що складають його основу та систему, яка реалізує алгоритми [35].

Порівняння Raspberry PI і Arduino:

- Обидві системи мають достатню обчислювальну потужність для роботи з серводвигуном.
- Потужність у обох систем відповідає необхідній за умовою.

- Raspberry PI має вищу вартість, ніж Arduino.
- Raspberry PI габаритніший, ніж Arduino.
- У обох систем наявний вихідний інтерфейс USB.

Відповідно до вищенаведеного порівняльного аналізу був обраний мікроконтролер Arduino, оскільки даний мікроконтролер зручний у використанні, доступний, має невисоку вартість та широке застосування.

### **Вибір плати Arduino**

Плати Arduino існують різних типів. Найчастіше використовуваними є Arduino UNO, Arduino NANO і Arduino MEGA.

Arduino UNO є найпопулярнішою платою, що створена компанією Arduino Software. Вона оснащена мікроконтролером ATmega 328, — RISC-контролер для обробки даних з тактовою частотою 16 МГц. Має 14 цифрових і 6 аналогових портів загального призначення, виводів на плату, а також часто застосовувані інтерфейси: I2C, UART і SPI [35].

Arduino NANO схожий за своїми характеристиками та функціоналом з Arduino UNO. Відмінність Arduino NANO полягає у менших розмірах та у відсутності роз'єму живлення. Мікроконтролер є дуже компактним та призначений для проектування мікроелектронних пристроїв [3].

Arduino Nano побудована на базі мікроконтролера ATmega328. Це логічна мікросхема для обробки даних з тактовою частотою 16 МГц, має 8 аналогових і 14 цифрових контактів загального призначення та інтерфейси: I2C, SPI і UART [35].

Arduino MEGA 2560 – багатофункціональна платформа, призначена для створення пристроїв різної складності. Набір функцій пристрою дозволяє проектувати масштабні проекти, в яких має бути поєднана робота багатьох пристроїв. Плата такого виду дає змогу одночасно підключати сотні датчиків і сенсорів, а контролер високої потужності – швидко і ефективно проводити обробку даних [35].

Основою платформи Arduino Mega є мікроконтролер ATmega2560 – логічна мікросхема з тактовою частотою 16 МГц [35].

Отже, як видно з порівняльного аналізу плат Arduino – будь-яка з них може бути використана для проектування приладу, але для компактності та економії екологічних та економічних ресурсів, була обрана плата Arduino Nano, оскільки вона найменша за розмірами, має невисоку вартість та її функціоналу достатньо для розробки макету даного пристрою.

### **Мікроконтролер Arduino Nano**

Це плата з мікроконтролером для програмування, за допомогою якого відбувається управління іншими пристроями.

Arduino Nano – це одноплатний контролер з відкритими початковими кодами, що дає можливість використовувати його з безліччю різноманітних додатків. Це простий у використанні і доступний варіант поміж мікроконтролерів для використання у будь-яких сферах. На рис. 3.1 представлений зовнішній вигляд Arduino Nano [36].

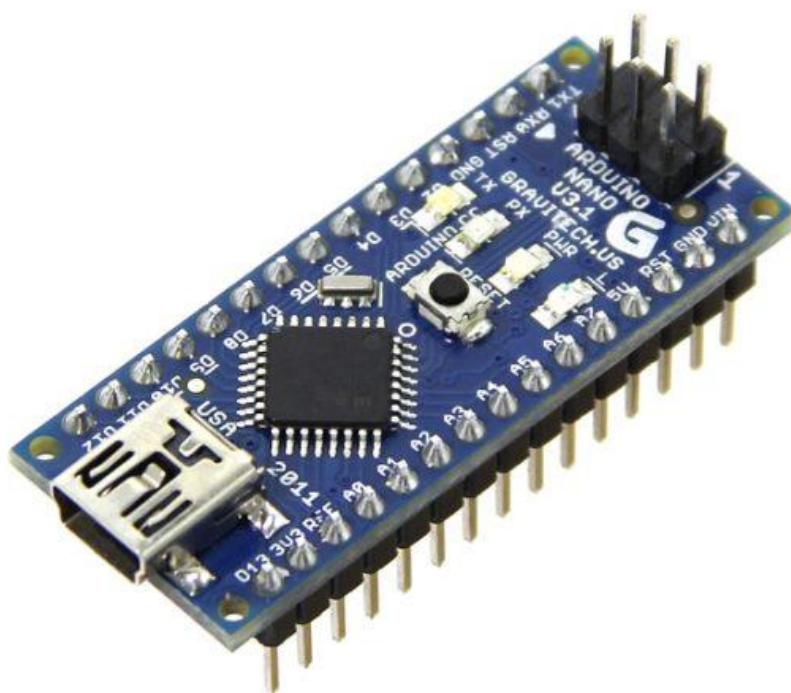


Рис. 3.1. Мікроконтролер Arduino Nano

Плати Arduino створюються на базі мікроконтролерів Atmel AVR та подібного до нього мікроконтролеру Atmel ARM. Деякі версії плат оснащені USB або micro USB виходами.

Програмне забезпечення, яке застосовується для програмування Arduino IDE (Інтегрована середа розробки, англ. Integrated Development Environment) – програма на мові Java, що працює на великій кількості різноманітних платформ від PC до Mac та Linux.

Переваги Arduino Nano [36]:

- Невисока ціна.
- Кросплатформеність (здатність програмного забезпечення працювати з декількома апаратними платформами або операційними системами.). Програмне середовище Arduino працює з великою кількістю відомих операційних систем Windows, Macintosh OS X, Linux, при тому, будучи відкритим додатком працюють на Java.
- Проста область програмування.

Програмне середовище Arduino є дуже зручним у користуванні та для навчання, також є комфортною та гнучкою платформою для досвідчених користувачів. Така універсальність допомагає досягати необхідних результатів кожному, хто бажає освоїти дану платформу. Доволі часто даний програмний продукт використовується в освітніх закладах, для студентів та викладачів.

- Функціональність.

У даному середовищі мова програмування може розширюватися за допомогою C++ бібліотек. Також можна створити власну бібліотеку та інструменти для Arduino за допомогою компілятора AVR C.

- Доступні специфікації і схеми обладнання.

Arduino побудований на мікроконтролерах Atmel ATMEGA8 і ATMEGA168. Схеми модулів поширюються під ліцензією Creative Commons, завдяки цьому існує можливість створювати будь-які модулі, виходячи зі своїх бажань та потреб. Це доступно кожному користувачу з будь-яким рівнем



підготовки. Така можливість дозволяє створити макет власного модуля та перевірити його на справність, можливі недоліки та переваги, що необхідно змінити та ін. У першу чергу, це заощадження часу та ресурсів.

З недоліків [36]:

- Деякі недоліки у програмній оболонці.
- Невеликий об'єм флеш - пам'яті для створення програмних продуктів.
- Низька частота процесора.

### **Вибір серводвигуна**

Серводвигун – наступна по важливості складова, оскільки саме від його функціонування залежить справна робота приладу. Він відповідає за поворот сонячної панелі в залежності від потрапляючого на неї світла. Він має бути достатньо потужним та компактним, щоб його можна було розмістити на корпусі приладу.

Серводвигун у сонячному трекері має відповідати наступним параметрам :

- Швидкість: 400 - 450°/с.
- Пусковий момент: 9 - 10 кг · см.
- Компактність.
- Невисока ціна.

Відштовхуючись від потреб було проведено порівняння найбільш популярних серводвигунів:

1. Towerpro MG996R, зображений на рис. 3.2. Даний серводвигун має наступні характеристики [37]:

- робоча напруга: від 4.8 до 7.2 В;
- робоча швидкість: без навантаження при 4.8 В – 352,941 °/с, без навантаження при 6 В – 461.538 °/с;
- пусковий момент: при 4.8 В - 9 кг · см, при 6 В - 11 кг · см;
- робоча температура: 0-55 ° С;

- розмір: 4 x 1.9 x 4.3 см;
- кут повороту:  $\pm 180^\circ$ ;
- вага: 50г.



Рис. 3.2 Серводвигун Towerpro MG996R

З характеристик видно, що серводвигун є досить швидким та потужним, також його габарити відповідають потребам приладу, ціна - прийнятна.

RDS3115 – цифровий серводвигун, зображений на рис. 3.3. Має наступні технічні характеристики [38]:

- матеріал шестерні редуктора: титан;
- напруга живлення: 5В;
- максимально допустимі кути:  $\pm 90^\circ$ ;
- швидкість: 375  $^\circ/\text{с}$ ;
- вага: 64г;
- діапазон робочих температур:  $-200^\circ\text{C} \dots + 800^\circ\text{C}$ ;
- крутний момент: 15кг / см.



Рис. 3.3 Серводвигун RDS3115

З технічних характеристик видно, що це досить швидкий і в той же час потужний серводвигун.

3. MG995 - цифровий серводвигун, зображений на рис. 3.4. Його технічні характеристики [39]:

- матеріал шестерні редуктора: латунь;
- напруга живлення: 5В;
- максимально-допустимі кути:  $\pm 90^\circ$ ;
- швидкість: 300  $^\circ/\text{с}$ ;
- вага: 55г;
- діапазон робочих температур:  $-100^\circ\text{C} \dots + 700^\circ\text{C}$ ;
- крутний момент: 8,5кг / см.



Рис. 3.4 Серводвигун MG995

Даний серводвигун є має слабкі характеристики, але, враховуючи його швидкодію і низьку вартість, а також беручи до уваги вимоги, що пред'являються до їх функціональних можливостей, йому часто надається перевага у використанні.

У табл. 3.1 наведені характеристики серводвигунів.

Таблиця 3.1.

Порівняння характеристик серводвигунів

	Серводвигун Towerpro MG996R	Серводвигун RDS3115	Серводвигун MG995
Матеріал шестерні редуктора:	Метал	Титан	латунь
напруга живлення:	4.8 до 7.2 В	5В	5В
максимально- допустимі кути:	$\pm 180$	$\pm 90^\circ$	$\pm 90^\circ$
швидкість:	при 4.8 В – 352,941 °/с, при 6 В – 461.538 °/с	375 °/с	300°/с
вага:	50г	64г	55г
діапазон робочих температур:	-200 - 550 ° C	-200С ... + 800С	-100С ... + 700С
крутний момент:	9,4 кг/см (4,8 v); 11 кг/см (6v)	15кг / см.	8,5кг / см.

Отже, з наведених характеристик серводвигунів можна зробити висновок, що для розробки одновісного сонячного трекера найкраще підходить серводвигун — Towerpro MG996R. Він є найлегшим, має

найбільший діапазон допустимих кутів та має найвищі показники робочої швидкості. Оскільки всі серводвигуни мають приблизно однакову вартість, то даний фактор можна не враховувати при виборі двигуна.

### **Вибір сонячної панелі**

Сонячний трекер проектується під невелику сонячну батарею з робочою напругою 5,5 В. Отже, основним критерієм вибору панелі є її габарити та напруга.

Під задані параметри повністю підходить сонячна панель: «SOLAR-65X65-0.6W-5.5V», оскільки вона має невеликі габарити - 65х65 см та робочу напругу 5.5 В. Інші характеристики панелі наступні [40]:

- Кількість елементів батареї: 12.
- Максимальна потужність: 0.6 Вт.
- Робоча напруга: 5.5 В.
- Робочий струм: 80 ... 90 мА.
- Напруга холостого ходу: 5.4 ... 5.6 В.
- Струм короткого замикання: 90 мА.
- Розміри: 65х65х3 мм.

Панель має наступний вигляд (рис. 3. 5):



Рис. 3.5. Сонячна панель: «SOLAR-65X65-0.6W-5.5V» ,

Дана панель була обрана для розробки макету приладу, оскільки її параметри підходять по вимогам для майбутнього сонячного трекара.

### Корпус приладу

Корпус для сонячного трекару було змодельовано у програмі Autocad. А потім надруковано за допомогою 3D - принтера. Матеріалом корпусу було обрано пластик PLA чорного кольору.

На нижній частині корпусу буде розміщено плату з мікроконтролером, резисторами, транзисторами та конденсаторами. На верхній частині буде закріплені серводвигун та сонячна панель з чотирма фоторезисторами.

На рис. 3.6 зображена модель корпусу приладу. А на рис. 3.7 вже готовий надрукований корпус.

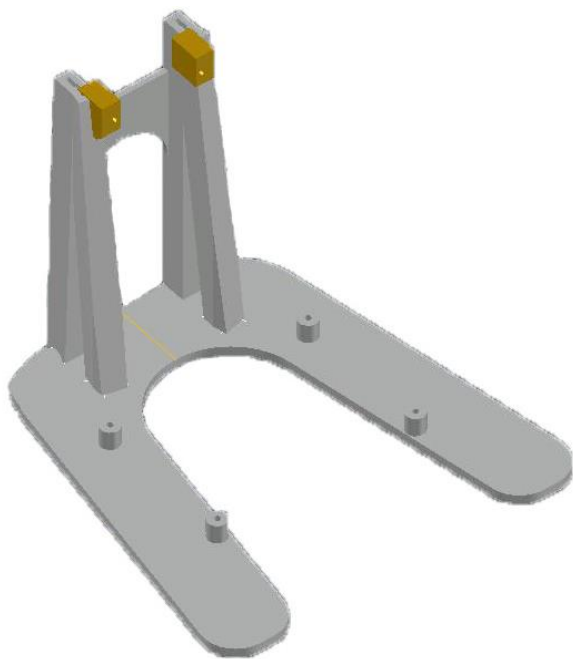


Рис. 3.6. 3D-модель майбутнього корпусу приладу



Рис. 3.7. Корпус приладу

### 3.2. Прототипування сонячного трекера.

Для керування сонячним одновісним трекером було створено програму, яка дає змогу керувати та спостерігати за роботою трекера. Керуюча програма реалізована у програмному середовищі Visual Studio на мові програмування C++ з використанням графічної бібліотеки sfml (рис. 3.8.)

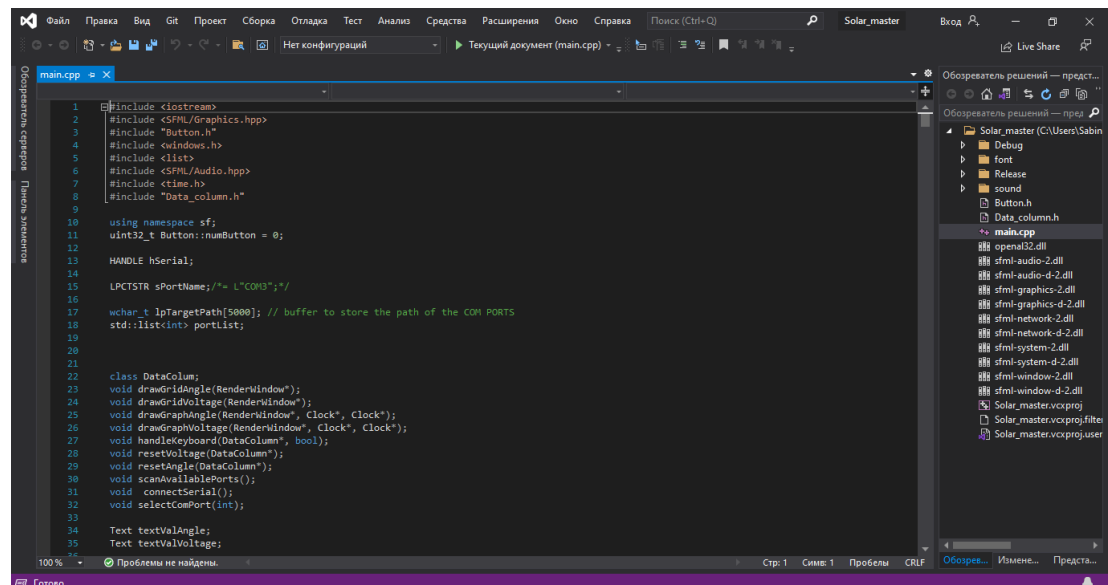


Рис. 3.8. Вікно програмного середовища Visual Studio з кодом керуючої програми

Інтерфейс керуючої програми відображений на рис. 3.9.

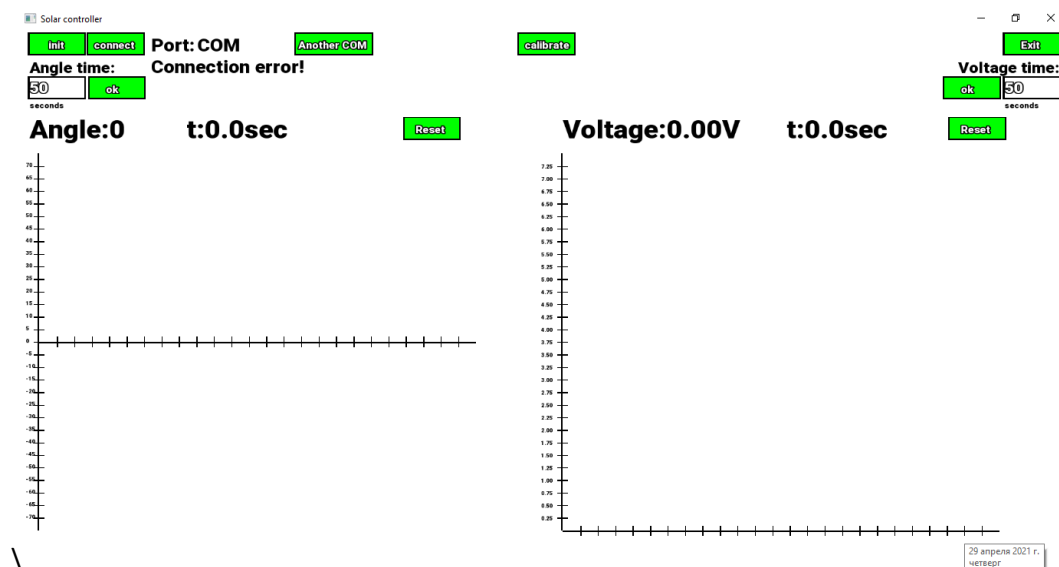


Рис.3.9. Інтерфейс керуючої програми

Програма відображає 2 графіки: один з них показує кут нахилу сонячної панелі відносно джерела світла, а інший – напругу сонячної панелі. Також можна задати бажаний час виводу графіків у секундах.

Кут нахилу сонячної панелі розраховується наступним чином. На сонячному трекері по кутах сонячної панелі встановлено по одному фоторезистору (всього їх 4). Оскільки сонячний трекер повертається по одній осі, то за поворот в ту або іншу сторону відповідають по два фоторезистори. З кожної пари вираховується середнє арифметичне, після цього по більшому значенню освітленості відбувається поворот трекера у відповідному напрямку. Діапазон у якому може відбуватися поворот сонячного трекера складає від  $-45^{\circ}$  до  $+45^{\circ}$ .

Також, у програмі можна відкалібрувати сонячний трекер — це необхідно зробити після підключення приладу до ПК.

Розроблений макет одновісного сонячного трекера представлений на рис. 3.10.

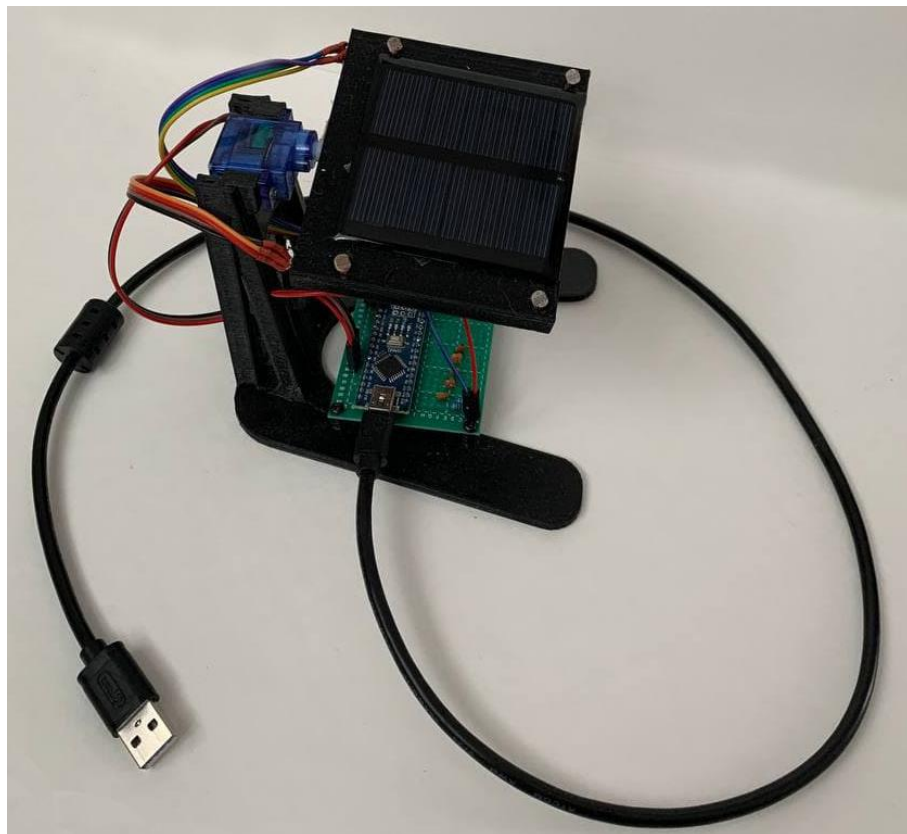


Рис.3.10. Макет одновісного сонячного трекера



Для того, щоб впевнитися в правильності роботи приладу, необхідно перевірити його функціонування за різних умов.

Порядок користування сонячним трекером наступний:

- перезапустити ПК
- підключити трекер до ПК
- зайти в диспетчер пристроїв, і подивитися до якого порту підключений трекер (наприклад, COM4)
- зайти в програму і натиснути на кнопку init, якщо порт збігається з тим, що був показаний в диспетчері завдань, то прилад має підключитися, якщо ні, то необхідно натиснути на кнопку another і обрати відповідний порт

### **3.3. Експериментальні дослідження ефективності стеження за джерелом світла**

Експеримент полягатиме в тому, що буде перевірено роботу макету сонячного трекера за різної відстані джерела світла до нього: 15 см, 30 см, 50 см та 80 см. Час, обраний для проведення експерименту, становить - 24 секунди.

У першому випадку джерело світла розташовано на відстані 15 см від сонячного трекера (рис. 3.11). Результат роботи представлений на рис. 3.12 та рис. 3.13

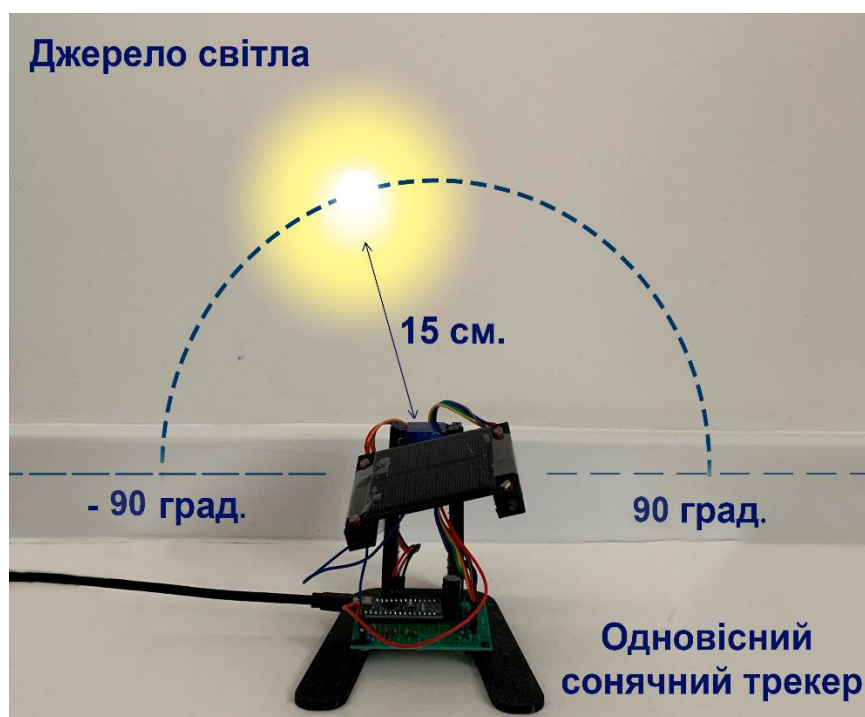


Рис. 3.11. Умови експериментальної перевірки роботи макету

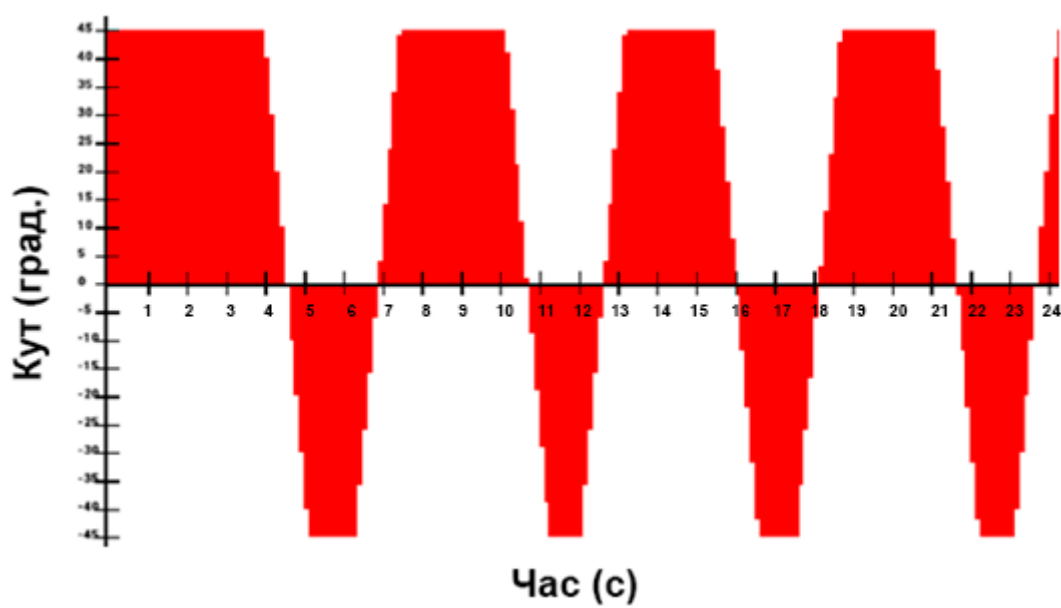


Рис. 3.12 Графік повороту сонячного трекера

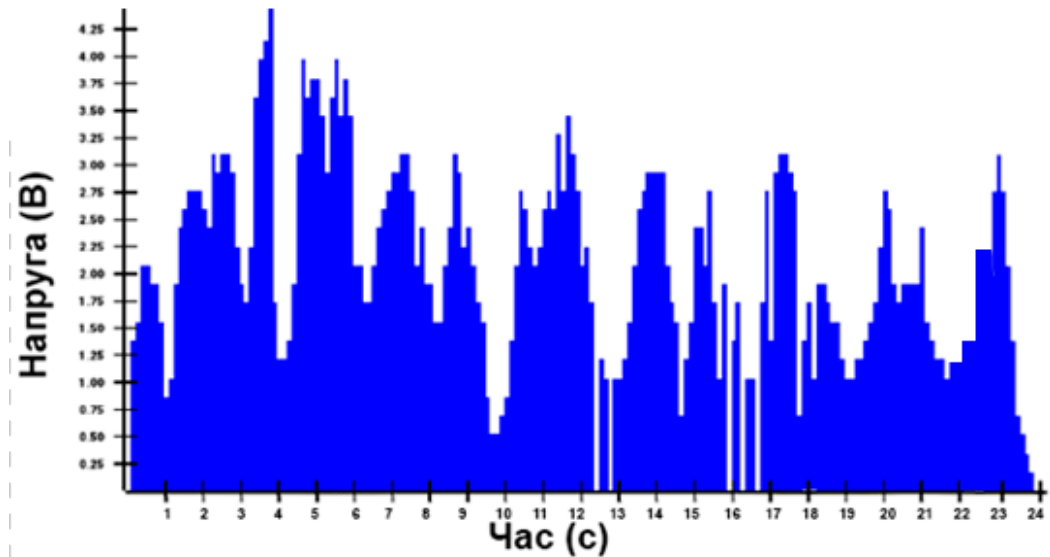


Рис. 3.13. Графік напруги сонячної панелі

З графіків видно, що за таких умов сонячний трекер працює справно та швидко, таке заключення можна зробити з кількості оборотів за відведений час. Прилад робить 4, 5 обороти за 24 секунди. Напруга сонячної панелі майже рівномірно розподілена у кожний момент часу. Максимальне значення напруги складає 5 В у даному випадку.

У другому випадку джерело світла буде розташовано на відстані 30 см від сонячного трекера (рис. 3.14). Результат роботи представлений на рис. 3.15 та рис. 3.16

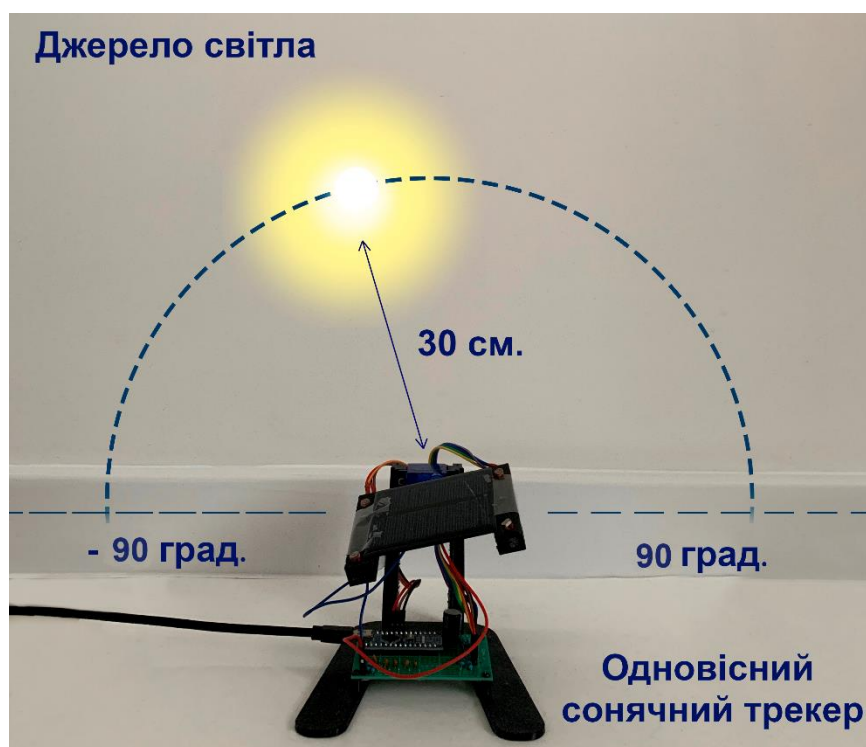


Рис. 3.14. Умови експериментальної перевірки роботи

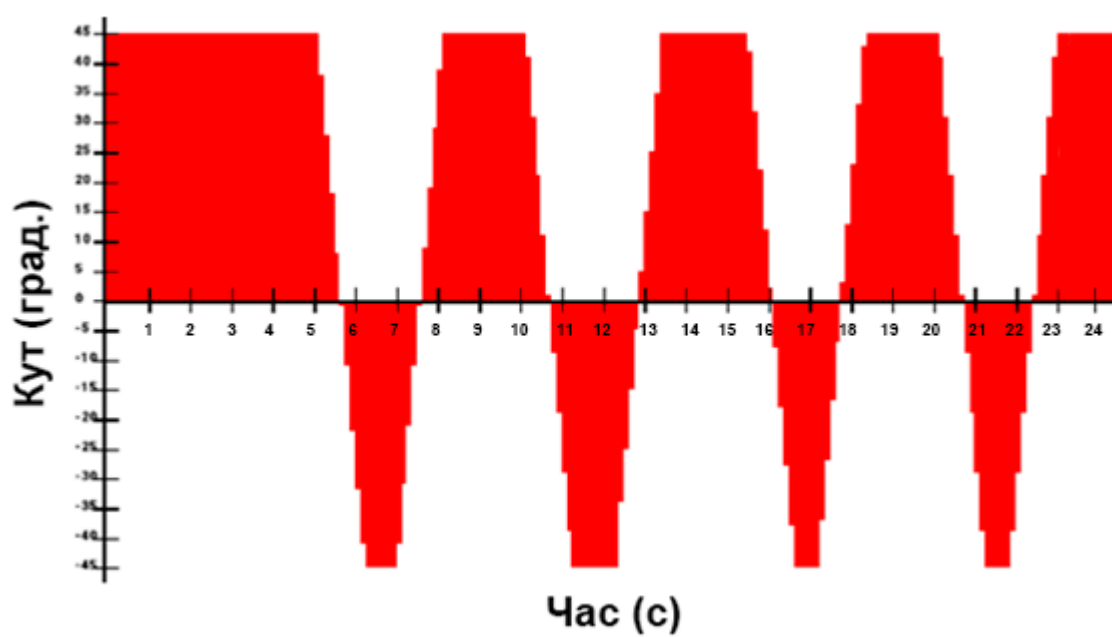


Рис. 3.15 Графік повороту сонячного трекера

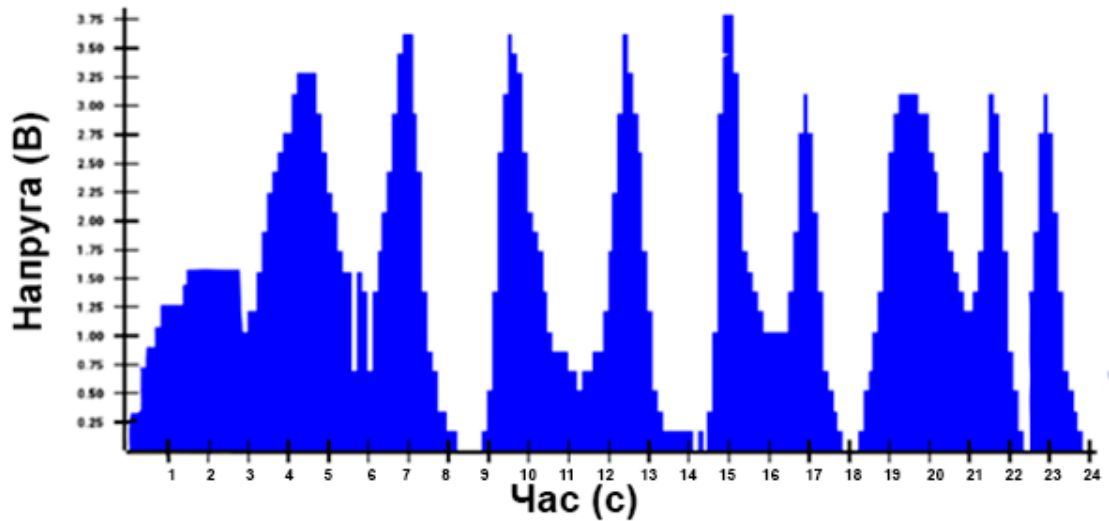


Рис. 3.16. Графік напруги сонячної панелі

З графіків видно, що за таких умов сонячний трекер працює справно та швидко, таке заключення можна зробити з кількості оборотів за відведений час.. Прилад робить 4, 5 обороти за 24 секунди як у попередньому випадку, але на з рис 2.35 на початку спостерігається невелика затримка трекера у положенні  $45^\circ$ . Напруга сонячної панелі не носить циклічний характер. Помітно, як вона спадає та наростає в залежності від положення приладу. Максимальне значення напруги складає 3,75 В у даному випадку.

У третьому випадку джерело світла буде розташовано на відстані 50 см від сонячного трекера (рис 3.17.). Результат роботи представлений на рис. 3.18 та рис. 3.19.

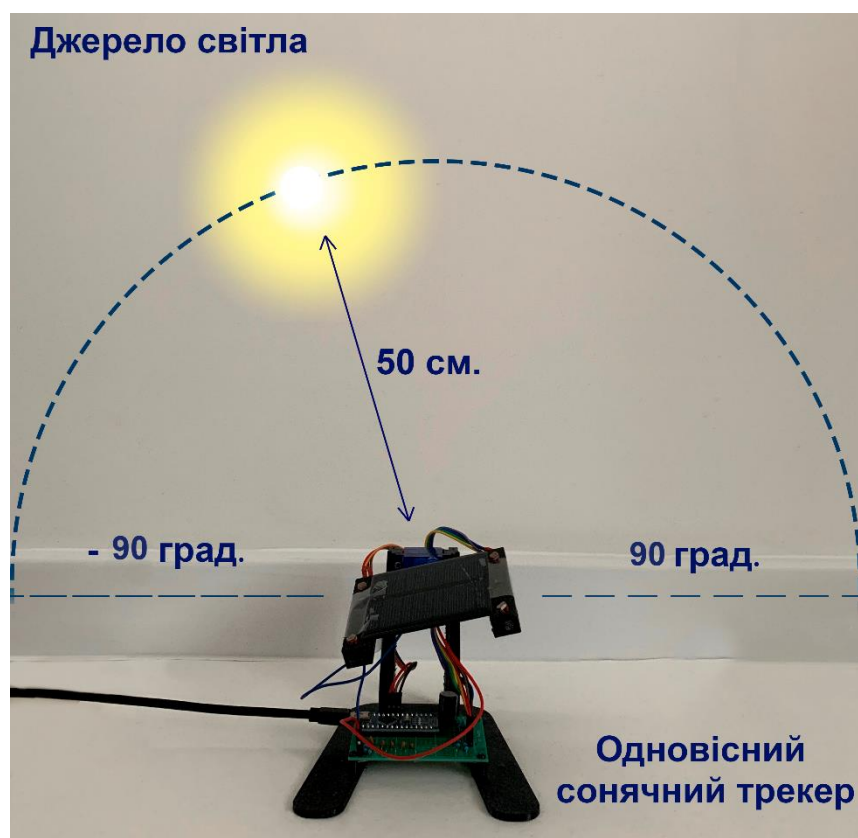


Рис. 3.17. Умови експериментальної перевірки роботи

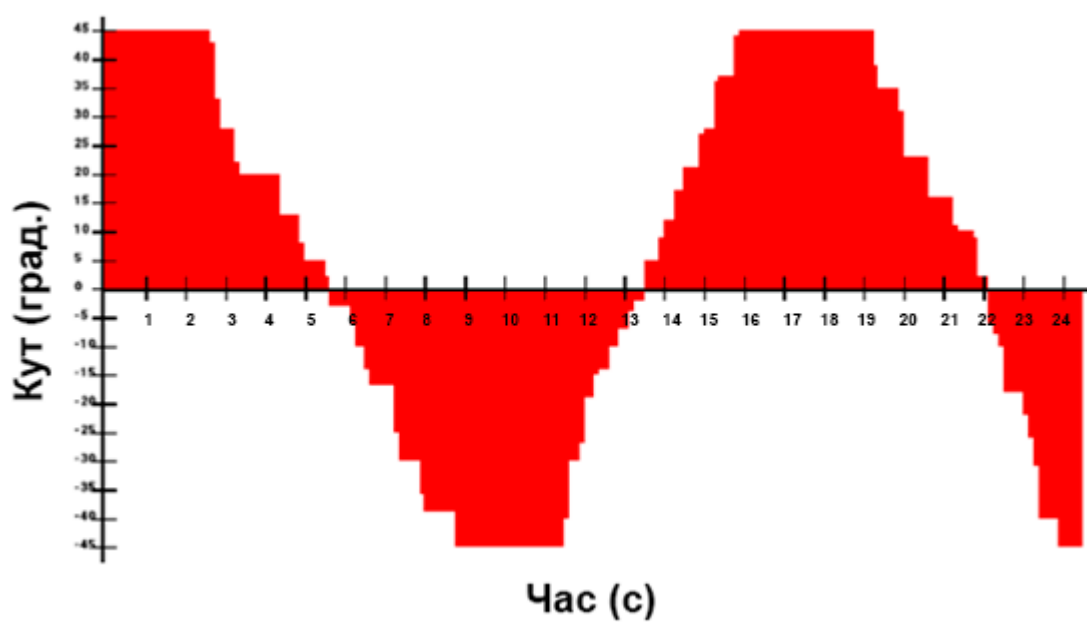


Рис. 3.18 Графік повороту сонячного трекера

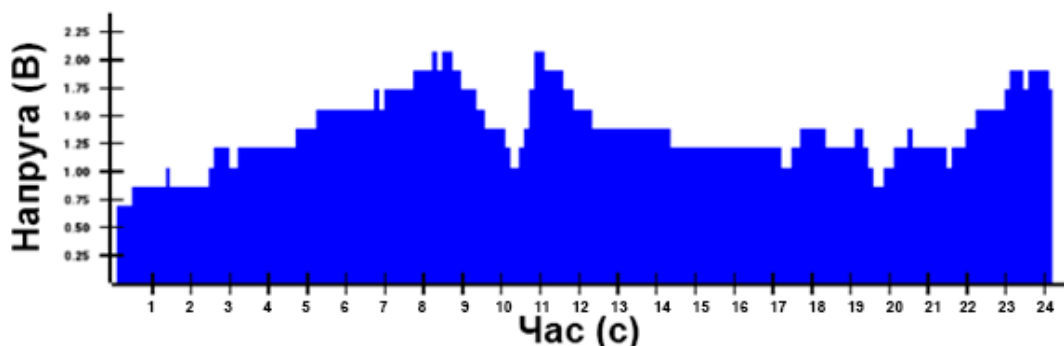


Рис. 3.19. Графік напруги сонячної панелі

З графіків видно, що за таких умов сонячний трекер працює справно, але повільніше, таке заключення можна зробити з кількості оборотів за відведений час. Прилад робить майже 2 обороти за 24 секунди. Напруга сонячної панелі розподілена майже рівномірно протягом всього часу. Максимальне значення напруги складає 2,10 В у даному випадку.

У четвертому випадку джерело світла буде розташовано на відстані 80 см від сонячного трекера (рис.3.20). Результат роботи представлений на рис. 3.21 та рис. 3.22

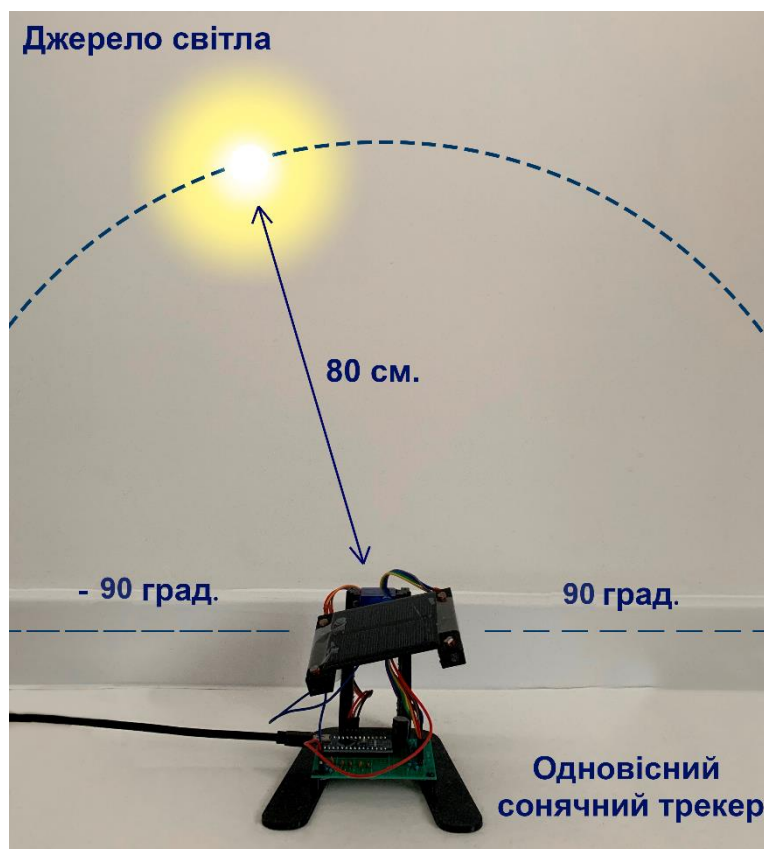


Рис. 3.20. Умови експериментальної перевірки роботи

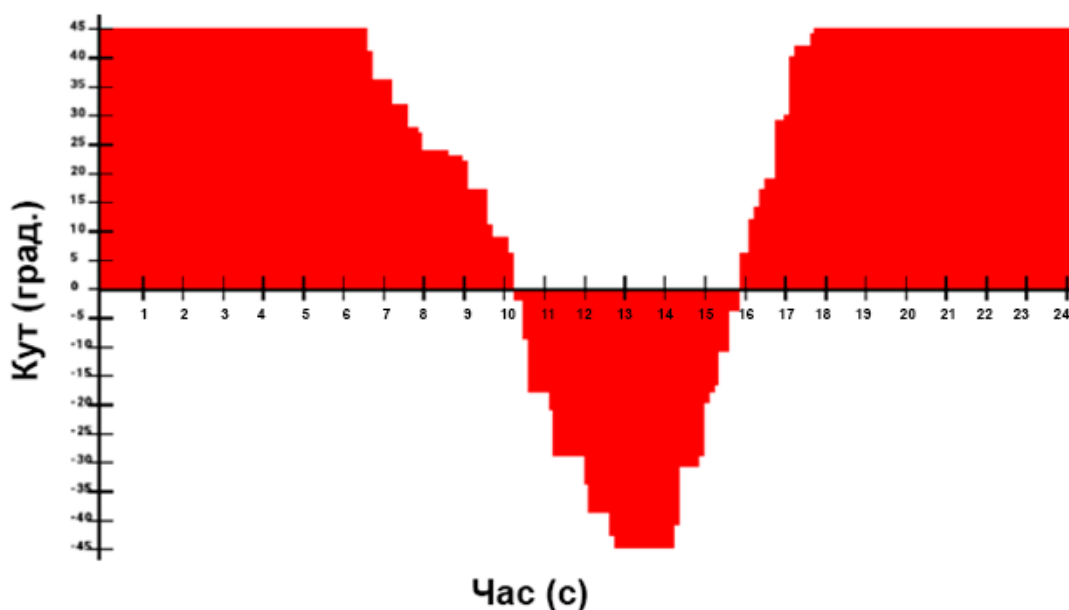


Рис. 2.21 Графік повороту сонячного трекера

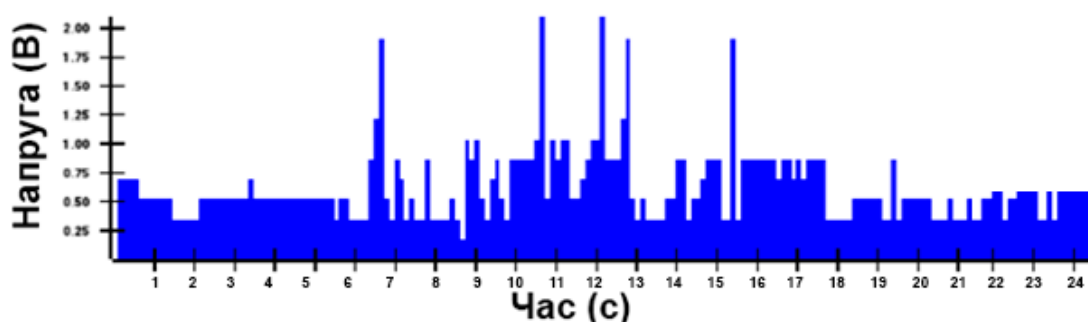


Рис. 2.22. Графік напруги сонячної панелі

З графіків видно, що за таких умов сонячний трекер працює справно, але повільно, таке заключення можна зробити з кількості оборотів за відведений час. Прилад робить майже 1,5 оборот за 24 секунди. Напруга сонячної панелі розподілена майже рівномірно протягом всього часу. Максимальне значення напруги складає 2,5 В у даному випадку.

Отже, з отриманих результатів експерименту можна зробити висновок, що одновісний сонячний трекер працює справно. Найкращі показники його роботи та роботи сонячної панелі спостерігаються в діапазоні 15 - 50см віддаленості джерела світла від приладу. В діапазоні 50 – 80 см прилад працює не так швидко. Оскільки при збільшенні відстані джерела світла до макету одновісного сонячного трекера він повертається повільніше, як видно з



наведених вище графіків. Напруга на сонячній панелі менша, але на графіках розподілена рівномірніше, ніж у попередніх двох випадках. Також сонячна панель має власні технічні обмеження на поглинання сонячного світла, з графіків видно, що при віддаленні джерела світла напруга на сонячній панелі падає, це означає, що процес відтворення енергії буде повільнішим.

Даний макет одновісного сонячного трекера може бути застосований для виробництва реального одновісного сонячного трекера під розміри стандартних сонячних панелей та використаний у побутових та будь-яких інших умовах.

### **Висновки до розділу 3**

У розділі 3 описано етапи проектування макету одновісного сонячного трекера. Описано вибір елементної бази - вибір мікроконтролера, серводвигуна та сонячної панелі. Для розробки макету було обрано мікроконтролер Arduino Nano, серводвигун Towerpro MG996R та сонячна панель: «SOLAR-65X65-0.6W-5.5V».

Окремим підрозділом описано розробку керуючої програми та самого приладу. Керуюча програма розроблена у програмному середовищі Visual Studio на мові програмування C++ з використанням графічної бібліотеки sfml. В завершення було проведено експеримент, який полягав в аналізі роботи отриманого макету за визначених умов. Експеримент полягав у перевірці роботи макету сонячного трекера за різної відстані джерела світла до нього: 15 см, 30 см, 50 см та 80 см. Час, обраний для проведення експерименту, становить - 24 секунди.

З отриманих результатів експерименту видно, що одновісний сонячний має найкращі показники роботи та роботи сонячної панелі в діапазоні 15 - 50см віддаленості джерела світла від приладу. В діапазоні 50 – 80 см прилад працює не так швидко. Можна зробити заключення, що при збільшенні відстані джерела світла до макету він зменшує швидкість обертання.

Отже, даний макет одновісного сонячного трекера може бути використаний для виробництва реального одновісного сонячного трекера та використовуватися у побутових та будь-яких інших цілях.

## **РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СЛІДКУЮЧА ЦИФРОВА СИСТЕМА ДЛЯ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА»**

### **4.1.Опис ідеї проекту**

Пошук та вивчення альтернативних відтворюваних джерел енергії зараз є актуальним, як ніколи. Питання нестачі ресурсів планети стоїть гостро вже багато років. Оскільки кожна сфера діяльності використовує електроенергію, дане питання хвилює кожну людину, якщо не стане електроенергії - на планеті відбудеться занепад та хаос.

На сьогодні людство вже активно використовує для отримання електроенергії наступні способи: сонячні електростанції, вітрові електростанції, традиційні ГЕС, приливні електростанції, хвильові електростанції та ін. Сонячна енергія являється найпопулярнішою та найдоступнішою у добуванні та використанні для людей із всіх існуючих. Кожна людина має доступ до сонячного світла, а сонячні панелі мають найбільш компактні розміри та прийнятну ціну. Для отримання електроенергії за рахунок сонячного світла не обов'язково будувати громіздкі електростанції. Достатньо встановити одну невелику панель та користуватися її благами.

Для зменшення втрат енергії при використанні сонячної панелі використовуються сонячні трекери, які повертають панель вслід за Сонцем. Використання одновісного сонячного трекера допомагає підвищити ефективність вироблення електроенергії з сонячного світла, оскільки вони довели свою ефективність на практиці та похибки роботи незначні. Але для покращення результату роботи необхідно його вдосконалити за рахунок додавання технічних елементів – збільшити кількість фоторезисторів від 2 до 4 та розробки спеціальної програми керування сонячним трекером, яка дає змогу спостерігати за обертанням приладу вслід за Сонцем та за роботою сонячної панелі.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Підвищення якості роботи сонячного трекеру та кількості відтворюваної енергії	1. Електростанції	Отримання альтернативної енергії
	2. Системи опалення	Опалення приміщень та будинків за рахунок сонячної енергії. Зменшення витрат на опалення
	3. Сільське господарство	Забезпечення роботи системи, приладдя та спеціальних установ за рахунок сонячної енергії, зменшення витрат на електроенергію
	4. Приладобудування	Використання сонячної енергії, як джерело живлення для приладів, зменшення витрат на електроенергію
	5. Машинобудування	Використання сонячної енергії, як джерело живлення для машин, зменшення витрат на електроенергію
	6. Системи освітлення	Використання сонячної енергії для перетворення її на світло. Зменшення витрат на системи освітлення

В таблиці приведені основні напрямки застосувань запропонованого одновісного сонячного трекера. Цими споживачами є електростанції, системи опалення, сільське господарство приладобудівна сфера, машинобудівна сфера та системи освітлення.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів (табл. 4.2)

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (сла бка стор она)	N (ней трал ьна стор она)	S (силь на сторо на)
		Мій проект	Конку- рент 1	Конку- рент 2	Конку- рент 3			
1.	Функціональ ність	Висока	Висока	Присутня	Присутня			+
2.	Ефективність	Висока	Висока	Середня	Висока			+
3.	Простота у використанні	Висока	Висока	Висока	Середня			+
4.	Багатоплатф орменість	Присутня	Присутня	Присутня	Присутня		+	
5.	Безпечність	Середня	Середня	Присутня	Середня		+	
6.	Задоволення потреб покупця	Висока	Висока	Індивідуа льна	Висока			+
7.	Достовірні результати	Висока	Висока	Низька	Середня			+

В таблиці було визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї. Також було визначено коло конкурентів, які виробляють схожий продукт. Проведено порівняльний аналіз показників, з чого можна сказати що сильними сторонами розробленого проекту є : функціональність, ефективність, простота у використанні і задоволення потреб покупця.

Задля повного розуміння структури стартапу, необхідно побудувати його бізнес-модель, яку приведено на таблиці.4.3.

Таблиця 4.3. Бізнес-модель стартапу.

<p>8. Ключові партнери:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- займаються відтворенням електроенергії з сонячного світла;</li> <li>- компанії, що займаються монтажем та установкою сонячних панелей</li> <li>- компанії, що розробляють сонячні панелі</li> <li>- брендингові компанії;</li> </ul>	<p>7. Ключові види діяльності:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- розробка продукту та його впровадження;</li> <li>- проведення рекламної кампанії.</li> </ul>	<p>2. Ціннісна пропозиція:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- якісна робота</li> <li>- якісна конструкція</li> <li>- достовірні результати;</li> <li>- постійна підтримка клієнта</li> <li>- легкість монтажу</li> <li>- простота у використанні</li> </ul>	<p>4. Взаємовідносини з клієнтами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- наявність цілодобової технічної підтримки;</li> <li>- якісне та своєчасне обслуговування</li> </ul>	<p>1. Споживчі сегменти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-компанії, що займаються відтворенням електроенергії;</li> <li>- звичайні користувачі;</li> <li>- науково-дослідницькі центри;</li> <li>приладобудівні підприємства</li> <li>;</li> <li>машинобудівні підприємства</li> <li>;</li> </ul>
<p>9. Структура виплат:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- значну частину витрат займатиме розробка сонячного трекеру;</li> <li>-побудова виробництва;</li> <li>- заробітна плата працівникам;</li> <li>-оплата послуг брендингових компаній;</li> <li>-патентування;</li> </ul>	<p>5. Потоки доходів:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продаж продукту;</li> <li>- обслуговування продукту;</li> </ul>			

В вище наведеній таблиці було визначено основні структурні елементи бізнес-моделі, а саме: споживчі сегменти, ціннісна пропозиція, канали збуту, взаємовідносини з клієнтами, потоки доходів, ключові ресурси, ключові види діяльності, ключові партнери та структура виплат.

У наведеній нижче таблиці 4.4 відображено проведення аудиту технології, за допомогою якої буде реалізовано ідею проекту.

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка конструкції та моделі приладу	Розробка нових математичних та конструктивних моделей сонячних трекерів	Наявна	Доступна
2.	Підвищення точності методу	Побудова нових математичних моделей сонячних трекерів	Наявна	Доступна
3.	Підвищення реакції повороту на сонячне світло	Використання додаткових резисторів	Наявна	Доступна
4.	Інтеграція алгоритму в існуючі прилади	Використання передових технологій виробництва приладів	Необхідно розробити	Не доступна
5.	Доступність методики	Методика розробленої програмної моделі	Наявно	Доступно
6.	Простота у використанні	Детально продуманий інтерфейс	Наявно	Доступно
7.	Обробка результатів	Якісно працюючий пристрій	Наявно	Доступно
8.	Представлення результатів	Пристрій та керуюча програмна модель	Наявно	Доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Побудова нових математичних моделей фільтрів у програмному середовищі MatLab та Simulink. MatLab – це пакет прикладних програм для вирішення задач технічних розрахунків.				

Проаналізувавши вищенаведену таблицю, можна зробити висновки, що даний проект можна реалізувати впровадивши новий алгоритм роботи

сонячного трекеру за допомогою додаткових технічних елементів, моделювання алгоритму, що підійде для різних напрямків застосування компенсування похибок та використання нових технологій виробництва приладів.

#### 4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення можливостей та ринкових загроз, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, які можуть бути корисними або навпаки перешкоджати реалізації проекту. Така характеристика дозволяє спланувати напрями розвитку проекту відштовхуючись від сьогоденного та майбутнього стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій конкурентів.

У таблиці 4.5. проведено аналіз попиту: наявність, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	950000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Сертифікація
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	72%

Отже головними перевагами показників стану ринку є те, що: попит даного продукту стрімко зростає, в майбутньому це спровокує підвищення продажів. Не обійшлося й без загрожуючих факторів для виходу на ринок: високе ціноутворення, рівень освіченості у спеціалістів, що відповідають за правильне введення даних, розробку та реалізацію даного алгоритму. Щодо



рентабельності, то проєкт являється рентабельним для виходу на ринок, оскільки середня норма рентабельності в галузі є досить високою— 72%.

В таблиці 4.6. наведено визначені потенційні групи клієнтів та їх характеристики. Також сформовано вимоги до товару кожної групи.

Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Розробка нової конструкції сонячного трекера та керуючої програми	Інженерні компанії пов'язані з відтворенням сонячної енергії та виробництвом сонячних перетворювачів	Перевага надається новим розробкам	Низька ціна, висока якість та висока точність результатів
2	Адаптування продукту до різних умов використання	Клієнти, що використовують подібні пристрої	Перевага надається універсальності програмної моделі	Низька ціна, висока якість та висока точність результатів

З огляду таблиці видно, що найбільш важливими потребами, які формують ринок, стали: розробка нової конструкції пристрою та наявності керуючої програми, а також адаптування програми до різних програмних забезпечень. При цьому потенційні клієнти потребують нижчої ціни та високої точності, а також достатньої точності при наявності можливих збурень.

Для отримання переваг на ринку, необхідно створити або використовувати сприятливі обставини ринку, що носять назву - «ринкові можливості». До таких можливостей відносять наступні: погіршення становища конкурентів на ринку, різке зростання попиту, зростання рівня доходів населення, поява нових технологій виробництва продукції та ін.

У таблиці 4.7. проведено аналіз факторів ринкового середовища, які сприяють впровадженню проєкту на ринок, а фактори, що перешкоджають

впровадженню наведені у таблиці табл. 3.8. Результати занесені до таблиці в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення попиту на продукт	Різке збільшення зацікавленості до продукту	Підвищення продажів
2	Отримання капіталовкладень	Завдяки додатковим коштам можливо залучити нових працівників, що можуть прискорити розробку	Розробка життєздатного продукту, що задовольнить потребам користувача
3.	Необхідність до інтеграції	Можливість розширення продукту	Компанія може створити додаткові можливості пристрою
4.	Освоєння нових сфер	Продукт використовується у сферах, що не розглядалися раніше	Створення спеціальної робочої команди для адаптації продукту під запрошені умови
5.	Співпраця з конкурентами	Компанія - конкурент запропонував співпрацю	Оцінка можливих ризиків

Дані продукти застосовуються в сучасних прогресивних сферах, тому попит на них стабільно зростає, що призводить до збільшення ринку клієнтів. А збільшення попиту на товар спровокує різке збільшення об'єму виробництва та продажів, що відкриє можливості до вдосконалення продукту. Дані цілі можна досягти впровадивши рекламу та освоєнням нових сфер застосування.

Таблиця 4.8. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Менша ціна у конкурента при однаковій якості продукту	Відтік клієнтів
2.	Економічний	Економічний стан країни-виробника	Відмова від продукту
3.	Якість	Не належна якість зібраного приладу	Відмова від продукту
4.	Некомпетентність Робітників	Неточність інженерних Розрахунків	Відмова від продукту
5.	Функціонування	Невідповідність очікуванням користувача	Розширення функціоналу
6.	Наявність конфлікту	Проблема конкуренції із подібними фірмами	Пошук нових шляхів розповсюдження товару

Головним фактором загроз є конкуренція. На ринку вже існують товари із репутацією, яка формувалася не один рік. Також вони мають визначені об'єми виробництва. Конкуренти можуть демпінгувати ціни, щоб отримати нових клієнтів свого продукту.

У таблиці 4.9 наведено аналіз пропозиції за визначенням загальних рис ринкової конкуренції.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

близькості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Вказати тип конкуренції - чиста конкуренція	Мала кількість постачальників даного продукту	Відповідність ринку прогнозування випереджати існуючі технології
2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний	Наявність замовників із інших держав	Міжнародний ринок

Продовження таблиці 4.9.

3. За галузевою ознакою – міжгалузева	Використання у різних галузях	Робота менеджменту і реклами по залученню клієнтів
4. Конкуренція за видами товарів:- товарно-видова	Товар, що пропонується є одного виду	Клієнтно-орієнтована стратегія розвитку Адаптивність до умов ринку
5. За характером конкурентних переваг - Цінова	Вартість залежить від комплектації та функціоналу	Пошук вигідного постачальника компонентів
6. За інтенсивністю - марочна	Вибір постачальника по Бренду	Розкрутка бренду, його рекламування

На ринку присутня велика конкуренція, оскільки окремі гравці не можуть впливати на ціноутворення продукту. Рівень конкурентної боротьби – міжнародний із міжгалузевою ознакою. Конкуренція за видами товарів – видова.

Необхідно провести більш детальний аналіз умов конкуренції, який наведений у таблиці .3.10 та перерахувати фактори конкурентоспроможності у таблиці .3.11.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«ЮСТ» «Eco Tech» «Sonyah solar» «TAAV»	«Greenchip» «Heliomotion»	«Suntacticts» «Solar-Motors»	Електростанції Промислові компанії Сільське господарство	Інші сонячні трекери
Висновки:	Конкуренція є відносно не великою	Вихід на ринок відносно простий. Наявні потенційні конкуренти.	Постачальники мають не диктувати ціни на ринку	Клієнти не диктують умови через велику зацікавленість до товару	Обмежень практично немає

З таблиці видно, що ринок не є насиченим, але конкуренція досить висока тому, що компанії - конкуренти мають вже міцну репутацію. Перешкодою являється необхідний високий рівень капіталовкладень

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Використання алгоритму з підвищеним захистом даних та високою точністю
2	Обслуговування	Наявність технічної підтримки протягом всього часу користування продуктом
3	Адаптивність	Гнучкість продукту, можливість налаштування під конкретні задачі
4	Готова програмна модель	Зменшення часу очікування для замовника

Підвищення надійності системи досягається використанням алгоритму з високою захищеністю та точністю. Збільшення попиту на продукт призведе до більшої зацікавленості у ній відповідно. Адаптивність та її завершеність відкривають широкий спектр використання пристрою у поєднанні із іншими системами та зменшують час очікування продукту для замовника.

За факторами конкурентоспроможності наведеними у таблиці 4.10 визначено фактори та проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, що приведені у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	20							+3
2	Обслуговування	18			-1			+2	
3	Адаптивність	19				0			
4.	Готова програмна модель	16		-2					

Запропонований пристрій має кращий рейтинг відносно прямих конкурентів. З даної таблиці видно, за рахунок яких особливостей

розроблений пристрій відрізняється від продуктів конкурентів. Детальний аналіз відображає сильні сторони моделі, а саме: надійність та можливість до адаптації роботи з іншими системами.

Завершальним пунктом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT- аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), що приведені у таблиці 4.13. відштовхуючись від приведених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін у таблиці 4.11.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. простота використання; 2. адаптивність; 3. стабільна робота; 4. універсальність; 5. технічна підтримка; 6. можливість до комплексування	Слабкі сторони: -репутація підприємства; капіталовкладення; ть за послуги
Можливості: 1. вихід на міжнародний ринок; 2. збільшення попиту; 3. інтеграція; 4. освоєння нових сфер; 5. підлаштування під замовника; 6. співпраця з конкурентами	Загрози: 1. нові подібні розробки; 2. освіченість спеціалістів; 3. нестабільність ринку та повільність розрахунків складних процесів..

На основі SWOT-аналізу необхідно визначити альтернативну ринкову поведінку (перелік заходів) для інтеграції стартап-проекту у ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації опираючись на дані потенційних проектів - конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи формуються відповідно до строків та ймовірності отримання ресурсів, дані наведені у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
-------	--	--------------------------------	-------------------

Продовження таблиці 4.14.

1	Індивідуалізм (максимізація власного виграшу)	Середня	8міс
2	Кооперація (максимізація спільного виграшу)	Висока	10міс
3	Суперництво	Нижче середнього	11міс.
4	Спроба впровадження в інші галузі	Ймовірне	7 місяці
5	Залучення інвесторів	Ймовірне	14 місяці

В результаті аналізу даних таблиці було обрано кооперацію, як альтернативну ринкову поведінку через те, що за відносно короткий час можна отримати ресурсів.

#### 4.3. Розроблення ринкової стратегії проекту та розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, що наведені в таблиці 4.15..

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегмент)	Інтенсивніс ть конкуренції в сегменті	Просто та входу у сегмент
1.	Електростанції	Готові, за умов наявності відповідних документів	Високий 85-90%	Низька	+

Продовження таблиці 4.15.

2.	Сільське господарство	Готові, за умов наявності відповідних документів	Високий 85-90%	Низька	-
3.	Приладобудування	Готові, за умов наявності відповідних документів	Низький Середній 20-40%	Середня	+
4.	Машинобудування	Готові, за умов наявності відповідних документів	Високий 85-90%	Низька	+
5.	Системи опалення	Готові, за умов наявності відповідних документів	Високий 85-90%		
6.	Системи освітлення	Готові, за умов наявності відповідних документів	Високий 85-90%		
7.	Звичайні користувачі	Готові	Середній 75-85%		

Які цільові групи обрано: під час вибору цільової групи до уваги бралось в першу чергу готовність споживача сприйняти продукт. Приладобудівні компанії потребують більш популярних роз'яснень щодо можливостей використання таких систем. У випадку успішної реклами є можливість зайняти нішу.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано ті групи, у яких найбільший дефіцит методів вирішення проблеми, на розв'язання якої спрямований цей проект та ті групи які можуть мати найбільший вплив на характеристики цієї проблеми – зміст, структуру, масштабність, характер, соціальну значимість та ін.



Необхідно сформувати базову стратегію розвитку для роботи в обраних сегментах ринку, результат представлений у таблиці 4.16.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентноспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Індивідуалізм	Стратегія недиференційованого маркетингу	Адаптація до вимог ринку; Використання новацій; Генерування ноу-хау; Участь у технічних та наукових виставках; Адаптивність; Зручність; Простота у використанні; Достовірність результатів.	Стратегія Спеціалізації

Висновки: залежно від ситуації, компанія може обирати для себе різні «стратегічні набори», які сприяють ефективному реагуванню на зміни у навколишньому середовищі. Обрана стратегія розвитку для проекту, це стратегія спеціалізації, викликана існуванням на ринку сильніших гравців. На першій порі існування проекту краще обрати стратегію спеціалізації та зайняти стабільну нішу на ринку.

Далі потрібно обрати стратегію конкурентної поведінки, що наведена у таблиці 4.17.

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Не є першопрохідцем	Буде шукати нових споживачів та з часом приваблювати клієнтів конкурентів	Компанія буде вдосконалювати існуючі зразки	Стратегія виклику лідера

Проект не є першопрохідцем, але має вагомі переваги над своїм прямим конкурентом, в такому випадку доцільно обрати стратегію виклику лідеру. Це є доцільним рішенням на фоні використання інноваційних методів для підвищення точності алгоритмічного забезпечення і вдосконалення продукту за рахунок нових технологій з метою ускладнити задачі конкурентів.

Відштовхуючись від вимог споживачів з сегментів, що були обрані до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки було розроблено стратегію позиціонування (та занесено до таблиці 4.18), яка складається з формування ринкової позиції.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Захищеність та точність роботи	Стратегія спеціалізації	Дослідження та розвиток	Захищена та надійна
2	Висока стабільність результатів	Стратегія спеціалізації	Якість	Стабільна робота
3	Можливість роботи з іншими системами	Стратегія спеціалізації	Обслуговування	Здатність до роботи з іншими системами

Проект має асоціюватись у клієнта з такими позиціями, як здатність до роботи з іншими системами, стабільність роботи без збоїв, захищеність та надійність результатів.

Для розробки маркетингової концепції товару, необхідно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару та навести їх у таблиці 4.19.

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Необхідність якісного та швидкого відтворення електроенергії з сонячної енергії	Надійний пристрій, що покращує результати вироблення електроенергії з сонячної енергії	Ціна, точність, захищеність, надійність, простота, технічна підтримка.

Ключовими вигідними сторонами товару є прийнятна ціна, точність отриманих даних, захищеність від можливих збурень, надійність, простота використання, технічна підтримка протягом всього часу користування продуктом, що дає йому перевагу над конкурентами. В майбутньому, використання нових алгоритмів та монтажних систем дозволить вивести його на високий рівень.

Далі розробляється трирівнева маркетингова модель продукту уточняється його ідея, його фізичні складові та особливості процесу його функціонування (Таблиця 4.20).

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Одновісний сонячний трекер дає можливість повертати сонячну панель вслід за Сонцем з високою точністю за рахунок того, що використовуються одночасно 4 фоторезистори замість двох. Такий метод запобігає втратам сонячного світла та підвищує ефективність вироблення електроенергії.		
II. Товар у реальному використанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Висока точність Надійність Невисока вартість Технічна підтримка Простота у використанні	70Гц 0,1°СКВ IP67 50	Ор-організаційна Е —економічна Тл –технологічна властивість Вр - виробнича

Продовження таблиці 4.20.

	Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017
	Пакування: Конструкція поміщена у біорозкладаючу коробку
III. Товар із	До продажу: комплектація максимальна
Підкріпленням	Після продажу: гарантія, сервісне обслуговування
Захист товару: патентування, заходи захисту програмного та апаратного забезпечення.	

Для того, щоб захистити продукт від недоброзичливих користувачів, його необхідно запатентувати. Характеристики продукту, що наведені в другому та третьому рівнях роблять його унікальним так конкурентно спроможним серед інших.

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи Споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	800-1400 у.о.	1000-1500 у.о.	10200-20000 у.о	750-1200 у.о.

Для продукту було обрано середню цінову категорію, оскільки занадто висока ціна не вигідна для потенційного покупця, а також така ціна дасть перевагу над товарам конкурентів

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення наведено у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж	Повний супровід товару до замовника	Нульового рівня	Безпосередній (прямий)

Основним каналом збуту продукту є продаж. Через невеликі об'єми виробництва немає потреби залучати підрядників для реалізації продукту. Тому обрано нульовий рівень глибини каналу збут та пряма системи збуту.

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Зовнішні обставини провокують клієнтів до пошуку рішення	Реклама; SMM; Сайт виробника; Профільні видання;	Високошвидкісна робота; Легкість; Надійність;	Донесення можливостей отримання прибутку за допомогою продукту	Показ можливостей даного продукту та можливість застосування

Маркетингова комунікація проходить через рекламу одновісного сонячного трекера в соціальних мережах, у профільних виданнях, а також безпосереднє ведення переговорів з компаніями-замовниками. Метою реклами є донесення можливостей даного продукту та переваг його використання.

#### 4.4. Організація реалізації стартап-проекту.

Представимо команду стартап-проекту та її розвиток.

Таблиця 4.24. Команда стартап-проекту.

Роз-виток Ко-манди	Учасни-ки	Завдання учасників	Освіта	Досвід роботи	Спеціалізовані знання	Витрати, тис. грн.
Мінімальна команда	Афзель Сабіна Ляхова Тетяна	Керівник, інженер, розробник програмного забезпечення, маркетолог, менеджер фінансист	Бакалавр	Розробник програмного забезпечення, менеджер. Графічний дизайнер;	Розробка програмного забезпечення; Графічний дизайн; SMM; Менеджмент;	65000
Разом:						65000



В таблиці наведений календарний графік реалізації стартап-проекту, що прогнозує всі можливі витрати на проект з першого етапу його розробки до останнього - моменту запуску реклами.

Далі необхідно пояснити виробничий процес, а саме визначити матеріали та комплектуючі продукту та потребу в промислово виробничому персоналі.

Таблиця 4.26. Сировина, матеріали та комплектуючі виробу

№	Найменування видів сировини, матеріалів та комплектуючих виробів	Постачальники	Ціна за одиницю	Примітки (місцезнаходження постачальників, умови поставок тощо)
1.	Конструкція	Постачальниками є фірми – розробники каркасу конструкції та фірма упаковки	25000	Постачальники знаходяться за кордоном; поставки виконуються раз на два тижня
2.	Інструкція		10	
3.	Керуюча програма		1000	
4.	Коробка		250	
Разом:			26260	

У таблиці наводяться матеріали та комплектуючі, які необхідні для розробки одновісного сонячного трекера.

Таблиця 4.27. Потреба в промислово-виробничому персоналі.

№	Посада	Чисельність	Витрати на персонал, тис. грн.
1.	Керівник	1	65000
2.	Розробник ПО	2	30000
3.	Інженер	4	40000
4.	Маркетолог	2	18000
5.	Менеджер	2	18000
6.	Фінансист	1	18000
Разом:		12	189000

З таблиці видно, що для функціонування компанії необхідно 12 чоловік, витрати на заробітну плату яких, становить 189000 тис. грн. Отже, необхідно активно розвивати продукт, щоб покривати дані витрати.

В таблиці 4.28 визначаються початкові витрати необхідні для стартапу.

Таблиця 4.28. План витрат на запуск виробництва продукції.

№	Найменування	Характеристика	Вартість тис. грн.
1.	Витрати на придбання обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	180000
2.	Сировина, основні матеріали	Вартість сировини та матеріалів для забезпечення технологічного процесу	30000
3.	Комплектуючі	Витрати на комплектуючі продукту	12035
4.	Паливо та електроенергія на технологічні цілі	Витрати на електроенергію, а також на паливо, необхідні для запуску проектної потужності виробництва	40000
5.	Оплата праці промислово-виробничого персоналу	Витрати на заробітну плату та соціальні відрахування	111000
6.	Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пусконаладжувальні роботи, запуск виробництва	55000
Разом:			428035

Отже, з таблиці видно, що на запуск проекту знадобиться 428035 тис. грн.



Далі, в таблиці 4.29 наведені загальні обсяги інвестицій.

Таблиця 4.29. Обсяги інвестицій.

№	Вид інвестицій	Сума, грн
1.	Першо-початкові інвестиції	240000
2.	Інвестиції на стадії виробництва	365000
3.	Інвестиції на просування стартапу	150000
Разом:		755000

У таблиці приведено суми інвестицій та визначено суму загального обсягу виробництва на всіх етапах розробки одновісного сонячного трекера, а саме початкові інвестиції, інвестиції на стадії виробництва та на просування стартапу.

#### **Висновки до розділу 4**

Даний розділ присвячений розробці першого етапу стартап-проекту. Дуже важливим у проведенні будь-якої наукової роботи є можливість отримання прибутку у майбутньому, тобто комерціалізація. Це можливість впровадження розробленого продукту в промисловості. Не можна виключати значення впливу ідей на економічну складову підприємств та взагалі, цілих держав, ніхто точно не знає яка саме ідея здійснить економічний переворот. Тому розроблений стартап – проект може бути використаний, як бізнес - модель та бути проданим зацікавленим особам.

Наступним кроком був технологічний аудит проекту. Під час технологічного аудиту автор має можливість краще зрозуміти технології виконання. Виявлено що більшість технологій вже знайшли застосування в світі, однак їх використання не може дати можливість обійти конкурентів. Саме удосконалення конструкції одновісного сонячного трекера роблять

конструкцію унікальною та незамінною. Отже, впровадження проекту можливе і потрібне.

Звертаючи увагу на стрімкий та невпинний розвиток технологій, для швидкого отримання прибутків, як форму ринкового впровадження проекту, слід обрати кооперацію. Що означає, що для того щоб йти в ногу з ринком, потрібно, запропонувати лідерам ринку використання реалізованого продукту, а не розроблювати систему з нуля, оскільки це займе багато часу, чого краще уникнути. Таке рішення є альтернативним, оскільки в такому випадку ні одна зі сторін не може отримати повного прибутку.

Після аналізу кожного з аспектів ринку, подальша імплементація проекту можлива. Але за однієї важливої умови. необхідно створити сильну та якісну рекламну компанію та донести до покупців переваги та необхідність використання програмної моделі, чому важливо обрати наш продукт.

## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації було проведено огляд сучасного стану сонячної енергетики та існуючих сонячних перетворювачів. Також було розроблено модель та макет одновісного сонячного трекера.

Огляд сонячної енергетики показав, що це найпопулярніший та найдоступніший вид отримання альтернативної енергії. Оскільки сонячні перетворювачі можуть бути використані, як для побутових цілей, так і на масштабних підприємствах та виробництвах. Основними видами сонячних перетворювачів є фотоелектричні перетворювачі, геліоелектростанції та сонячні колектори.

Для покращення ефективності роботи сонячних перетворювачів було розроблено одновісний сонячний трекер. Побудовано його Simulink - модель, розроблені макет одновісного сонячного трекера та керуюча програма для нього.

Описано вибір елементної бази макету приладу. Одновісний сонячний трекер складається з сонячної панелі, мікроконтролеру Arduino Nano, серводвигуна Tower Pro MG996R, фоторезисторів та інших деталей.

Проведені експериментальні дослідження полягали у перевірці роботи макета на різній відстані (15 см, 30 см, 50 см та 80 см) джерела світла від нього.

Результати експерименту показали, що прилад працює справно. Найкращі показники швидкості роботи та поглинання енергії сонячною панеллю отримані на відстані 15 см та 30 см. На відстані 50 см та 80 см прилад працює повільніше та енергія сонячною панеллю поглинається в меншій кількості. Можна зробити висновок, що при збільшенні відстані джерела світла зменшується ефективність роботи приладу. Це означає, що для відтворення енергії з сонячного світла може знадобитися більше часу.

Розроблений макет одновісного сонячного трекера може бути використаний для розробки реального приладу та застосований у побуті, на підприємствах або виробництвах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://alteco.in.ua/technology/solar-energy>
2. Дашеев С.С. Экологические последствия развития солнечной энергетики / С.С. Дашеев, Е.А Малышев.// Вестник науки и образования – 2018. - № 17(53).– с. 53 – 55.
3. Дашеев С.С., Солнечная энергетика: состояние и перспективы/ С.С. Дашеев, Е.А Малышев.// Вестник науки и образования – 2018. - № 17(53). – с. 51 – 53.
4. Сколько нефти осталось в мире и когда она закончится [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://amp/s/ria.ru/amp/20191012/1559682620.html>
5. Боровик Ю.Т. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / Ю.Т. Боровик, Ю.В Єлагін // Вісник економіки транспорту і промисловості № 65, Харків, 2019
6. Ukrenergo - National power company [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://ua.energy/connection-map/?vde=vde\\_ses&reflecti=sun\\_regions](https://ua.energy/connection-map/?vde=vde_ses&reflecti=sun_regions)
7. Прокіп А. В. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: монографія / А.В. Прокіп, В.С. Дудюк, Р.Б. Колісник; [За заг. ред. А.В. Прокіпа] – Львів: ЗУКЦ, 2015. – 337 с.
8. Афзель С. С. Огляд сучасного стану перетворювачів сонячної енергії та перспективи їх розвитку / С. Афзель // XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2019.-с.22
9. Панченко В. А. Исследование фотоэлектрических преобразователей в концентраторном солнечном модуле / В. А. Панченко // Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия, Москва - 2020. — № 4(43) с. 394 – 402.

10. Фотоэлектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pochit.ru/fizika/32633/index.html>
11. Фотоэлектрические преобразователи солнечной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – [http://www.gigavat.com/ses\\_preobrazovateli\\_1.php](http://www.gigavat.com/ses_preobrazovateli_1.php)
12. Преимущества и недостатки малых фотоэлектрических систем | Энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www.enersy.ru/energiya>
13. Солнечная перспектива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kommersant.ru/amp/2634026](http://www.kommersant.ru/amp/2634026)
14. Попцова К.Э., Гелиоэлектростанции / К.Э. Попцова, Э. Г. Валиева // Журнал: «Актуальные проблемы авиации и космонавтики», Красноярск, 2020. – с. 523-524.
15. Гелевая технология [Электронный ресурс] // Электронные текстовые издания – 2016. – Режим доступа: <https://www.varta-automotive.ru/ru-ru/technology/gel-battery-technology>
16. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология – 2018. – № (8-9) – с. 12-18.
17. Солнечные электростанции. СЭС. Солнечная энергетика. Принцип работы солнечных электростанций [Электронный ресурс] // Электронные текстовые издания – 2018. – Режим доступа: <http://www.gigavat.com/ses.php>
18. Поляков В.А., Солнечный коллектор в системах энергосбережения/ В.А. Поляков, С.Н. Бегдай// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова № 5, 2017 - с. 151-154
19. Алексюк Ю.Н. Оценка эффективности солнечных коллекторов, используемых в целях горячего водоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях / Ю.Н. Алексюк // Проблемы науки - 2019 - № 6 (42)– с. 21-24.

20. Солнечные батареи альтернативные источники энергии: Арсенид-галлиевые солнечные батареи. [Электронный ресурс]// Электронные текстовые издания – 2018. - Режим доступа: <http://www.solar-battery.com.ua/arsenid-gallievyie-solnechnyye-batarei>
21. Амерханов Р.А., Бегдай С.Н. Повышение тепловой эффективности зданий и сооружений с гелиоколлекторами. - К. : КубГАУ, 2014. - 122с.
22. Плюсы и минусы гелиоэнергетики: достоинства и недостатки - Электронные текстовые издания – 2020. - Режим доступа: <https://genport.ru/>
23. Трекеры - системы ориентации солнечных батарей технология [Электронный ресурс] – 2019 – Режим доступа: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2866/>
24. Трекеры для солнечных электростанций - Альтернативная энергетика в мире и Украине. [Электронный ресурс] – 2020 – Режим доступа: <https://alternative-energy.com.ua/vocabulary>
25. Трекеры - системы ориентации солнечных батарей технология [Электронный ресурс] – 2019 – Режим доступа: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2866/>
26. Huang BJ, Ding WL, Huang YC. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker/ BJ Huang// Journal Sol Energy - 2016 - 85(9), p. 44
27. Chin C.S., Babu A, mcbride W. Design modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/ C.S. Chin //Simulink. Renew Energy - 2018- 36(11) – p.90.
28. Konar A, Mandal AK. Microprocessor based automatic Sun tracker/ A. Konar// In: IEE Proceedings A Science, Measurement and Technology – 2015 - Vol. 138, Issue 4 - p. 237–241.
29. Kassem A. and Hamad M. A Microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System/A. Kassem// Department of Electrical and computer and communication Engineering, Notre Dame University Louaize – 2019 - 13(4) – p.181-184.

30. Akbar, Hussain & Fathallah, Muayyad & Raoof Efficient Single Axis Sun Tracker Design for Photovoltaic System Applications / Akbar // IOSR Journal of Applied Physics, Ozlim – 2017 - 32(8) – p.24-28.
31. MG996R Servo Motor [Електронний ресурс] – 2019 – Режим доступу: <https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
32. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo [Електронний ресурс] – 2018 – Режим доступу: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf)
33. Афзель С. С. Моделювання одновісного сонячного трекера / С. Афзель, Д.О. Півторак // XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Погляд у майбутнє приладобудування», 2021.-с.
34. Arduino і Raspberry Pi: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://edurobots.ru/2014/09/arduino-ili-raspberry-pi-kakaya-platforma-luchshe/>
35. Arduino UNO, NANO, MEGA: [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL:<http://arduino-uno.ru>
36. Микушин, Александр Занимательно о микроконтроллерах / Александр Микушин. - М.: БХВ-Петербург, 2006. - 432 с.
37. MG996R Servo Motor [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/servomotor-mg996>
38. Servo RDS3115 - standard- continuous 360 degrees [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://botland.store/servo-continuous-360-operation/14261-servo-rds3115-360-continuous-rotation-standard-kit-5903351242325.html>
39. Сервопривід MG995 Tower Pro купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2551-servoprivod-mg995-tower-pro>
40. Солнечная панель поликристалл 5.5V [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://beegreen.com.ua/solnechnaja-panel-polikristall-5-5v-0-6w-cnc65-65-126>

