

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри:

_____ Юрій КИРИЧУК
«___» _____ 2024р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Роботизовані і автоматизовані
системи неруйнівного контролю та діагностики»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Системи керування орієнтацією сонячної панелі»

Виконав:
студент IV курсу, групи ПМ-301
Вишневський Дмитро Володимирович _____

Керівник:
Професор кафедри АСНК
Киричук Ю.В. _____

Рецензент:
Старший викладач
Дорожинська Г. В. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/П	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Пояснювальна записка	70	
3	A1	ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ		3	

				ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ		
		ПІБ	Підп.	Дата		
Розробник	Вишневський Д.В			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Киричук Ю.В.				1	70
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-301	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Системи керування орієнтацією сонячної панелі»**

Київ – 2024 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Вишневському Дмитру Володимировичу

1. Тема проєкту «Системи керування орієнтацією сонячної панелі», керівник роботи Киричук Юрій Володимирович, професор кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «27» травня 2024 р. №2102-с.
2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2024 року.
3. Вихідні дані до проєкту: розташування зовнішнє; контроль параметрів – температури, вологості, швидкості руху повітря; автоматичне регулювання; захист системи від негативних впливів – захист від перегріву панелей, контроль умов зовнішнього середовища.
4. Зміст пояснювальної записки
Вступ. 1. Оглядова частина; 2. Опис принципу дії; 3.Розрахунковий розділ
Висновок . Список використаних джерел .
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 2 кресленика 1 плакати 1 презентація
1 – Структурна схема
2 – Блок схема

3 – Плакат оглядового розділу

6. Дата видачі завдання 01 березня 2024 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	12.03.2024	
2	Проведення аналітичного огляду	20.03.2024	
3	Розрахунок параметрів	21.04.2024	
4	Підбір компонентів	15.05.2024	
5	Розробка креслеників	28.05.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	04.06.2024	
7	Здача диплому на перевірку керівнику	10.06.2024	

Студент

Керівник

Дмитро Вишневецький

Юрій Киричук

Анотація

Дипломний проект складається з переліку скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, переліку літератури та додатків. Проект містить n сторінок, n рисунків, n джерел та n таблиць.

Метою дипломного проекту є проектування системи керування орієнтацією сонячної панелі. В ході виконання проекту було розглянуто методи отримання максимальної потужності від сонячної панелі, проведено огляд видів та принципів дії сонячних трекерів, а також наведені приклади існуючих конструкцій систем керування орієнтацією сонячних панелей.

Було виконано опис і наведено опис та принцип дії спроектованої системи керування. Були описані основні компоненти системи, розраховані параметри механічних вузлів та розроблена принципова схема системи керування, яка призначена для орієнтації сонячної панелі. А також, приведено можливий спосіб керування системою за допомогою мікроконтролера з використанням спеціального програмного забезпечення.

Ключові слова: сонячна панель, система керування, орієнтація, мікроконтролер, датчики, сонячний трекер, максимальна потужність, алгоритм відстеження.

Annotation

The diploma project consists of a list of abbreviations, an introduction, three chapters, conclusions, a bibliography, and appendices. The project includes n pages, n figures, n sources, and n tables.

The aim of the diploma project is to design a solar panel orientation control system. During the project, methods of obtaining maximum power from the solar panel were reviewed, an overview of the types and principles of operation of solar trackers was conducted, and examples of existing designs of solar panel orientation control systems were provided.

The description and principle of operation of the designed control system were given. The main components of the system were described, the parameters of the mechanical units were calculated, and the schematic diagram of the control system intended for the orientation of the solar panel was developed. Additionally, a possible method of controlling the system using a microcontroller with specialized software was presented.

Keywords: solar panel, control system, orientation, microcontroller, sensors, solar tracker, maximum power, tracking algorithm.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	4
ВСТУП	6
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Компоненти сонячних трекерів	7
1.2 Типи трекерів	13
1.2.1 Одноосьові та двохосьові трекери	13
1.2.2 Вертикальні та горизонтальні трекери	16
1.2.3 Плаваючі та полярні трекери.....	18
1.3 Застосування трекерів	20
1.3.1 Комерційне та промислове використання сонячних трекерів	21
1.3.2 Домашні та малі комерційні установки сонячних трекерів	22
1.3.3 Спеціалізоване використання сонячних трекерів	23
1.3.4 Заключення використання	24
2 ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ.....	25
2.1 Опис та склад системи	25
2.2 Вибір технічного оснащення системи стеження.....	26
2.2.1 Сервопривід.....	26
2.2.2 Світлочутливий датчик	29
2.2.3 Мікроконтролер	32
2.2.4 Живлення.....	36
2.2.5 Компоненти для ручного керування.....	38
2.2.6 Датчик температури навколишнього середовища	40
2.2.7 Датчик температури панелі	41
2.2.7 Наклонометр.....	42
2.2.8 Анемометр.....	43
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Структурна-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі.....	44
3.2 Блок-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі	45

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Вишневецький Д.В.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.						3	70
Реценз.					ПБФ, 4 курс, ПМ-301		
Н. Контр.							
Затверд.		Киричук Ю.В.					
<i>Системи керування орієнтацією сонячної панелі</i>							

3.3 Розрахунок положення Сонця.....	48
3.4 Електроенергія, яка генерується сонячною панеллю	52
3.5 Ефективність сонячної панелі	53
3.6 Моделювання системи керування кутом нахилу	54
3.7 Висновки до розділу.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Вишневецький Д.В.</i>			<i>Системи керування орієнтацією сонячної панелі</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>							3	70
<i>Реценз.</i>						ПБФ, 4 курс, ПМ-301		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Киричук Ю.В.</i>						

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

1. ADC (Analog-to-Digital Converter) - АЦП (Аналого-цифровий перетворювач)
2. ESP32 - Мікроконтролер з вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, використовуваний для реалізації систем керування.
3. ФР (Фоторезистори) - Світлочутливі елементи, які змінюють свій опір в залежності від рівня освітленості.
4. GY-302 - Модель світлочутливого датчика, що використовується для вимірювання інтенсивності освітлення.
5. MG996R - Модель сервоприводу, що використовується для зміни кута нахилу сонячної панелі.
6. KCD1-101 - Перемикач режимів, використовуваний для вибору між ручним і автоматичним керуванням.
7. B10K - Потенціометр, використовуваний для регулювання кута нахилу панелі в ручному режимі.
8. Mean Well RS-15-5 - Блок живлення, що забезпечує стабільне живлення для компонентів системи.
9. LM2596 - Регульований блок живлення, що забезпечує необхідну напругу для живлення сервоприводу.
10. MPU6050 - Датчик, що включає акселерометр і гіроскоп, використовується для вимірювання кутів нахилу.
11. DS18B20 - Датчик температури, використовуваний для вимірювання температури навколишнього середовища.
12. LM35 - Датчик температури, використовуваний для вимірювання температури сонячної панелі.
13. Анемометр (Adafruit Anemometer) - Прилад для вимірювання швидкості вітру, що використовується для визначення вітрових навантажень на панель.
14. I2C (Inter-Integrated Circuit) - Інтерфейс для передачі даних між мікроконтролерами та периферійними пристроями.
15. PWM (Pulse-Width Modulation) - Широтно-імпульсна модуляція, метод керування аналоговими сигналами через цифрові засоби.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

16. Сонячний час - Час, визначений положенням Сонця на небі, відрізняється від стандартного часу, що використовується в часових поясах.

17. Деклінація Сонця - Кут між променем від центру Землі до Сонця та площиною екватора, використовується для розрахунку положення Сонця на небі.

18. Азимут Сонця - Кут між північчю та вертикальною площиною, що проходить через спостерігача і Сонце, використовується для визначення горизонтального напрямку на Сонце.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Сонячні трекери — це інноваційні системи, призначені для оптимізації виробництва електроенергії в сонячних енергетичних системах. Завдяки використанню цих пристроїв можна значно підвищити ефективність сонячних панелей, оскільки вони дозволяють панелям автоматично слідувати за рухом сонця на небі протягом дня. Це підвищує інтенсивність збору сонячної радіації, що безпосередньо впливає на об'єм генерованої енергії. Особливо актуальними сонячні трекери стають у випадках, коли потрібно максимально ефективно використовувати обмежену площу для розміщення сонячних панелей або в регіонах із високими тарифами на електроенергію.

Сучасні сонячні трекери включають різні технології, такі як GPS-навігація для точного визначення положення сонця, а також використання датчиків світла для адаптації до змін у світлових умовах. Це дає змогу не лише підвищити кількість енергії, що виробляється, але й зменшити втрати потужності, які можуть виникати через неправильне орієнтування панелей в статичних системах[1].

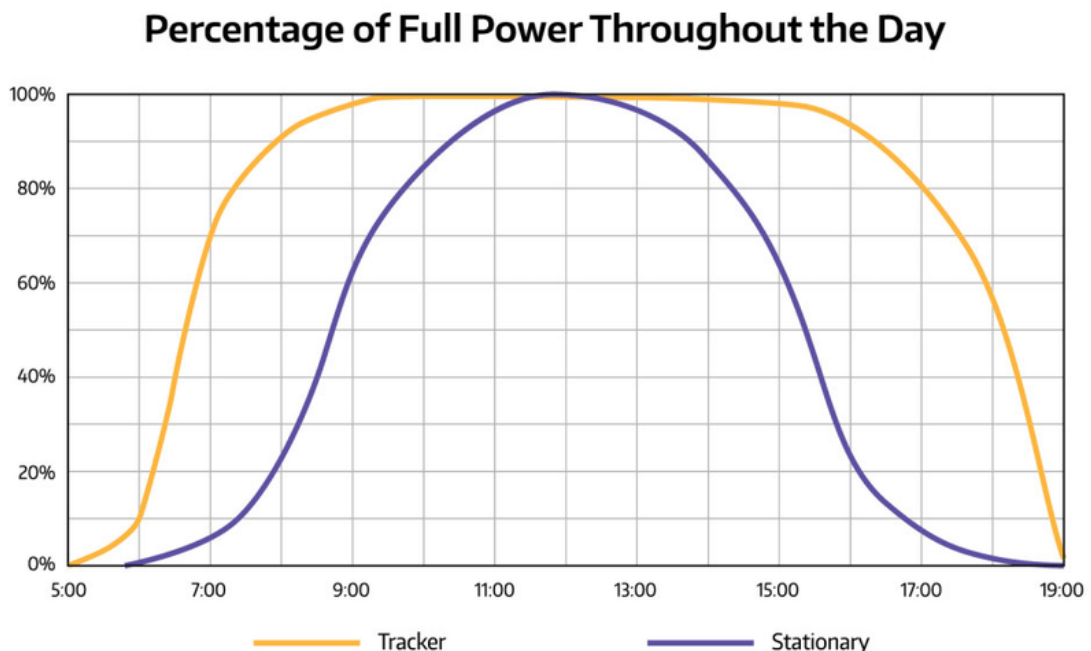


Рис. 1.1 – Різниця продуктивності між статичною та сонячною панеллю з трекером

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1 Компоненти сонячних трекерів

Сонячні трекери складаються з декількох ключових компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у функціонуванні системи. Ці компоненти забезпечують точне та ефективне відстеження сонця, що дозволяє максимізувати вироблення електроенергії. Ось основні елементи, які входять до складу сонячних трекерів:

1. Датчики світла

Датчики світла відіграють критичну роль у визначенні положення сонця на небі. Вони збирають дані про інтенсивність сонячного світла та його напрямок, які потім передаються до контролера для обробки. Ці датчики допомагають системі визначити, коли та як краще регулювати панелі для оптимального збору світла.



Рис. 1.2 – Аналоговий датчик освітленості

Функції датчиків світла:

- **Вимірювання інтенсивності сонячного світла:** Датчики світла вимірюють кількість сонячної енергії, що падає на їх поверхню. Ця інформація дозволяє контролеру визначити поточну інтенсивність сонячного випромінювання та його зміни протягом дня.
- **Визначення напрямку сонячного світла:** Деякі датчики світла також здатні визначати напрямок, з якого падає сонячне світло. Це дозволяє контролеру

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

точно розрахувати положення сонця на небі та відповідно налаштувати кут нахилу та азимут сонячних панелей.

- **Передача даних контролеру:** Датчики світла передають зібрану інформацію до контролера сонячного трекера. Контролер обробляє ці дані та на їх основі формує команди для механізмів обертання, забезпечуючи оптимальне положення панелей для максимального збору сонячної енергії.

Типи датчиків світла:

- **Фоторезистори:** Це найпростіший та найдешевший тип датчиків світла. Вони змінюють свій опір залежно від інтенсивності світла, що падає на них.
- **Фотодіоди:** Фотодіоди є більш точними та швидкими датчиками світла. Вони перетворюють світлову енергію в електричний струм, який пропорційний інтенсивності світла.
- **Піргеліометри:** Піргеліометри використовуються для вимірювання прямого сонячного випромінювання. Вони мають вузький кут огляду та спрямовані безпосередньо на сонце.
- **Піранометри:** Піранометри вимірюють дифузне сонячне випромінювання, тобто світло, що розсіюється в атмосфері. Вони мають широкий кут огляду та збирають світло з усіх напрямків.

Датчики світла відіграють критичну роль у забезпеченні ефективної роботи сонячних трекерів. Вони дозволяють системі точно відстежувати рух сонця та адаптувати положення панелей до змін умов освітленості. Це призводить до значного збільшення вироблення електроенергії порівняно зі стаціонарними сонячними установками.

2. Контролери

Контролери є "мозком" сонячного трекера. Вони аналізують дані від датчиків та на основі цієї інформації видають команди на механізми обертання для регулювання положення панелей. Контролери можуть бути програмовані для

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

різних алгоритмів відстеження, включаючи астрономічне слідкування або активне відстеження за допомогою сенсорів.



Рис. 1.3 – Електронний контролер

Функції контролерів сонячних трекерів:

- **Збір даних:** Контролери отримують дані від різноманітних датчиків, включаючи датчики сонячного випромінювання, датчики положення, датчики температури та інші. Ці дані надають інформацію про поточні умови освітленості, положення сонця, температуру панелей та інші параметри, що впливають на ефективність роботи системи.
- **Аналіз даних:** Контролери обробляють отримані дані за допомогою вбудованих алгоритмів. Вони визначають оптимальний кут нахилу та азимут панелей для максимального збору сонячної енергії в кожний момент часу.
- **Видача команд:** На основі аналізу даних, контролери формують команди для приводів та механізмів обертання трекера. Ці команди забезпечують точне позиціонування панелей відповідно до руху сонця.
- **Моніторинг та діагностика:** Контролери також виконують функції моніторингу та діагностики системи. Вони відстежують роботу всіх компонентів трекера, виявляють можливі несправності та повідомляють про них оператора.

Контролери сонячних трекерів є невід'ємною частиною сучасних систем сонячної енергетики. Вони забезпечують точне відстеження руху сонця, що дозволяє максимізувати вироблення електроенергії та підвищити ефективність

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

сонячних установок. Використання передових алгоритмів відстеження та сучасних технологій робить контролери незамінним інструментом для оптимізації роботи сонячних трекерів та забезпечення їх надійної та ефективної роботи.

3. Механізми обертання

Ці механізми безпосередньо забезпечують фізичне переміщення сонячних панелей. Вони можуть бути реалізовані як прості крокові двигуни або як складніші системи з гідравлічними чи пневматичними актуаторами. Механізми обертання повинні бути досить міцними, щоб витримувати велике навантаження від панелей, а також стійкими до атмосферних впливів.

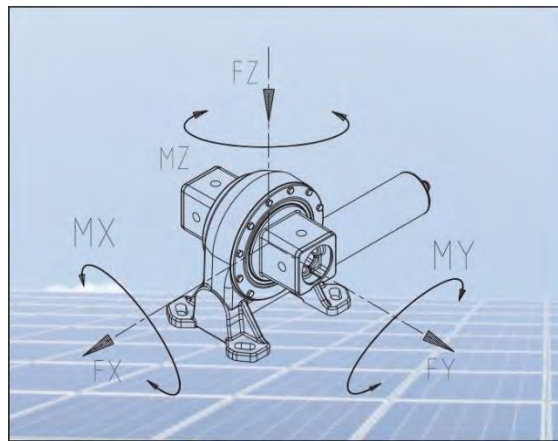


Рис. 1.4 – Привід повороту сонячного трекера

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Різновиди механізмів обертання:

- **Крокові двигуни:** Це найпростіший та найпоширеніший тип механізму обертання в сонячних трекерах. Крокові двигуни забезпечують точне позиціонування панелей завдяки дискретним крокам обертання. Вони відносно недорогі, надійні та мають тривалий термін служби.
- **Сервоприводи:** Сервоприводи забезпечують більш плавне та точне обертання порівняно з кроковими двигунами. Вони дозволяють досягти високої швидкості та точності позиціонування, що особливо важливо для великих сонячних установок.
- **Гідравлічні актуатори:** Гідравлічні актуатори використовують тиск рідини для переміщення панелей. Вони забезпечують високу потужність та плавність руху, що робить їх придатними для великих та важких конструкцій.
- **Пневматичні актуатори:** Пневматичні актуатори використовують стиснене повітря для обертання панелей. Вони відрізняються простотою конструкції та низькою вартістю, але мають обмежену точність позиціонування.

Механізми обертання є важливим компонентом сонячних трекерів, що забезпечує їх ефективну та надійну роботу. Вибір оптимального типу механізму залежить від конкретних умов проекту, включаючи розмір та вагу панелей, кліматичні умови та бюджетні обмеження. У будь-якому випадку, механізми обертання повинні відповідати високим вимогам щодо міцності, точності, стійкості до атмосферних впливів та енергоефективності.

4. Структурні компоненти

Структурні компоненти включають всі необхідні рами та опори, які утримують сонячні панелі та трекери. Вони повинні бути розроблені так, щоб витримувати різні навантаження, включаючи вагу обладнання та зовнішні впливи, такі як вітер

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

або сніг. Ось основні типи рам та опор, які використовуються для монтажу сонячних панелей та трекерів:

Фіксовані рами

Це найпростіші та найпоширеніші конструкції, які використовуються для монтажу сонячних панелей. Вони не мають рухомих частин і встановлюються під фіксованим кутом, який оптимізовано для збору сонячного світла в конкретному регіоні.

Поворотні опори

Ці опори включають механізми, які дозволяють панелям рухатися, слідкуючи за рухом сонця. Вони можуть бути одноосьовими або двохосьовими: Одноосьові системи рухаються в одній площині, зазвичай горизонтальній, і є ефективними в регіонах з високою сонячною інсоляцією. Двохосьові системи дозволяють панелям рухатися як по вертикалі, так і по горизонталі, забезпечуючи оптимальне положення панелей протягом усього дня.

Консольні рами

Ці рами встановлюються так, що одна сторона рами має більшу висоту, що створює нахил для панелей. Консольні рами часто використовуються для розміщення панелей на дахах будівель або інших структурах, де доступний простір є обмеженим.

Плаваючі опори

Ці опори призначені для використання на воді, зазвичай на штучних водоймах або ставках. Вони можуть бути оснащені сонячними трекерами для збільшення ефективності збору сонячної енергії на водних поверхнях.

Інтегровані конструкції

Деякі сучасні рішення включають інтеграцію сонячних панелей безпосередньо у конструктивні елементи будівлі, такі як фасади або дахи. Це дозволяє естетично

					<i>ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

інтегрувати фотовольтаїку без необхідності виділення додаткового простору для традиційних рам або опор[1,2].

1.2 Типи трекерів

Сонячні трекери бувають різних типів, кожен з яких має свої особливості та переваги залежно від умов використання та вимог до ефективності збору сонячної енергії.

1.2.1 Одноосьові та двохосьові трекери

Одноосьові та двохосьові трекери є двома основними типами сонячних трекерів, що відрізняються кількістю осей обертання та, відповідно, здатністю відстежувати рух сонця. Вибір між ними залежить від географічного розташування, кліматичних умов, бюджету та бажаного рівня ефективності.

Одноосьові трекери: Простота, ефективність та доступність

Одноосьові трекери обертаються вздовж однієї осі, зазвичай горизонтальної, що дозволяє їм відстежувати рух сонця зі сходу на захід. Вони є найбільш поширеним типом сонячних трекерів завдяки своїй простоті, ефективності та відносній доступності[3].

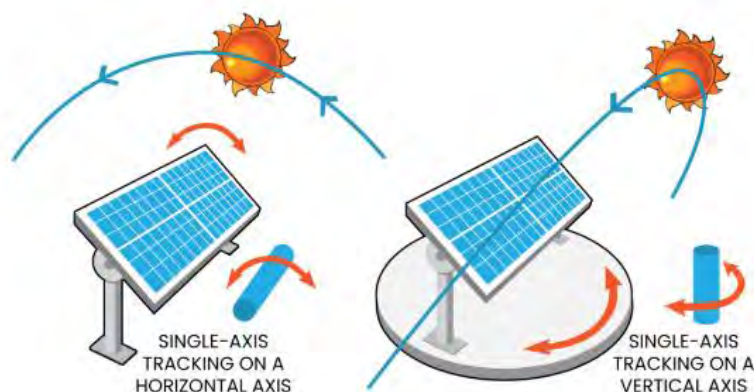


Рис. 1.5 – Одноосьовий трекер

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Переваги одноосьових трекерів:

- **Ефективність:** Одноосьові трекери забезпечують значне збільшення вироблення електроенергії порівняно зі стаціонарними сонячними панелями, особливо в регіонах з високою сонячною активністю.
- **Простота конструкції:** Одноосьові трекери мають простіший механізм обертання, що робить їх більш надійними та менш схильними до поломок.
- **Низька вартість:** Одноосьові трекери зазвичай коштують менше, ніж двохосьові, що робить їх більш доступними для широкого кола споживачів.
- **Легкість встановлення та обслуговування:** Завдяки простішій конструкції, одноосьові трекери легше встановлювати та обслуговувати, що знижує експлуатаційні витрати.

Недоліки одноосьових трекерів:

- **Обмежена ефективність у високих широтах:** У регіонах з високими сезонними коливаннями сонячної висоти, одноосьові трекери можуть бути менш ефективними, оскільки вони не можуть повністю відстежувати рух сонця по вертикалі.
- **Можливість затінення:** При неправильному розміщенні, одноосьові трекери можуть затіняти один одного, що знижує їх загальну ефективність

Двохосьові трекери: Максимальна ефективність та точність

Двохосьові трекери мають два ступені свободи, що дозволяє їм обертатися як по горизонтальній, так і по вертикальній осі. Це забезпечує їм можливість точно

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

відстежувати рух сонця протягом усього дня та року, незалежно від географічного розташування та погодних умов[4].

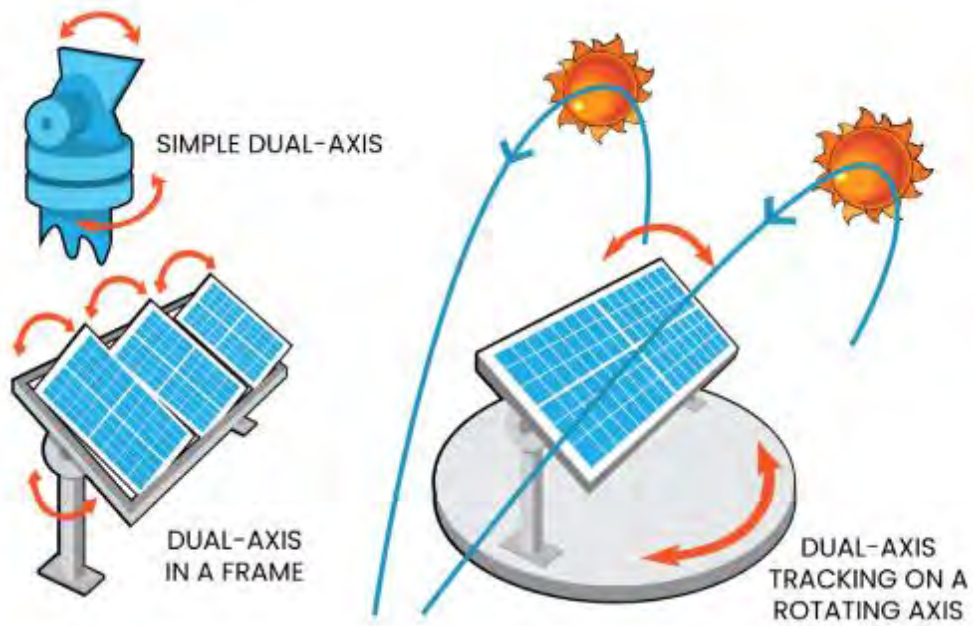


Рис. 1.6 – Двохосьовий трекер

Переваги двохосьових трекерів:

- **Максимальна ефективність:** Двохосьові трекери забезпечують найвищий рівень вироблення електроенергії серед усіх типів сонячних трекерів, оскільки вони можуть постійно підтримувати оптимальний кут падіння сонячних променів на панелі.
- **Універсальність:** Двохосьові трекери можуть бути використані в будь-якому регіоні світу, незалежно від широти та кліматичних умов.
- **Точність відстеження:** Завдяки двом осям обертання, двохосьові трекери забезпечують найточніше відстеження руху сонця, що особливо важливо в умовах змінної хмарності.

Недоліки двохосьових трекерів:

- **Висока вартість:** Двохосьові трекери є найбільш дорогим типом сонячних трекерів через складність їх конструкції та механізму обертання.
- **Складність встановлення та обслуговування:** Двохосьові трекери вимагають більш кваліфікованого персоналу для встановлення та обслуговування, що збільшує експлуатаційні витрати.
- **Підвищена вітрове навантаження:** Більш складна конструкція двохосьових трекерів робить їх більш сприйнятливими до вітрового навантаження, що вимагає додаткових заходів щодо забезпечення їх стійкості.

Вибір між одноосьовими та двохосьовими трекерами залежить від конкретних потреб та бюджету проекту. Одноосьові трекери є більш доступним та простим рішенням, що забезпечує високу ефективність у більшості регіонів. Двохосьові трекери є оптимальним вибором для проектів, де потрібна максимальна ефективність та точність відстеження сонця, незважаючи на вищу вартість та складність.

1.2.2 Вертикальні та горизонтальні трекери

Вертикальні та горизонтальні трекери є двома основними типами одноосьових сонячних трекерів, кожен з яких має свої унікальні переваги та області застосування. Вибір між ними залежить від географічного розташування, кліматичних умов, доступної площі та інших факторів.

Ці трекери показані на рисунку 1.5.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вертикальні трекери: Ефективність у полярних широтах

Вертикальні трекери обертаються навколо вертикальної осі, що дозволяє їм ефективно відстежувати рух сонця в полярних регіонах, де сонце протягом більшої частини року знаходиться низько над горизонтом.

Переваги вертикальних трекерів:

- **Ефективність при низькому сонці:** Вертикальні трекери забезпечують оптимальний кут падіння сонячних променів на панелі навіть при низькому положенні сонця, що характерно для полярних регіонів.
- **Компактність:** Вертикальні трекери займають менше місця порівняно з горизонтальними, оскільки панелі розташовані вертикально. Це дозволяє ефективно використовувати обмежені площі.
- **Зменшення забруднення панелей:** Вертикальне розташування панелей сприяє природному очищенню від пилу та снігу, що позитивно впливає на їх ефективність.
- **Естетичний вигляд:** Вертикальні трекери мають більш компактний та сучасний дизайн, що може бути важливим для деяких проектів.

Недоліки вертикальних трекерів:

- **Обмежена ефективність у високих широтах:** У тропічних та субтропічних регіонах, де сонце знаходиться високо в небі, вертикальні трекери можуть бути менш ефективними порівняно з горизонтальними.
- **Складність конструкції:** Вертикальні трекери мають більш складну конструкцію та механізм обертання, що може призвести до збільшення вартості та складності обслуговування.

Горизонтальні трекери: Універсальність та висока продуктивність

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Горизонтальні трекери обертаються вздовж горизонтальної осі, що робить їх найбільш поширеним типом сонячних трекерів у світі. Вони ефективно працюють у більшості кліматичних зон, особливо в помірних та тропічних широтах.

Переваги горизонтальних трекерів:

- **Висока ефективність:** Горизонтальні трекери забезпечують максимальний збір сонячної енергії протягом більшої частини дня, особливо в умовах високої сонячної активності.
- **Простота конструкції:** Горизонтальні трекери мають простішу конструкцію та механізм обертання порівняно з вертикальними, що робить їх більш доступними та легкими в обслуговуванні.
- **Універсальність:** Горизонтальні трекери можуть бути використані в більшості кліматичних зон та на різних типах ландшафтів.
- **Масштабованість:** Горизонтальні трекери легко масштабуються для використання на великих сонячних електростанціях.

Недоліки горизонтальних трекерів:

- **Великі площі:** Горизонтальні трекери вимагають більшої площі для встановлення порівняно з вертикальними, оскільки панелі розташовані горизонтально.
- **Затінення:** При неправильному розміщенні, горизонтальні трекери можуть затіняти один одного, що знижує їх ефективність.

1.2.3 Плаваючі та полярні трекери

Плаваючі та полярні трекери представляють собою спеціалізовані різновиди сонячних трекерів, розроблені для використання в унікальних умовах, де

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

традиційні наземні системи можуть бути неефективними або неможливими для встановлення.

Плаваючі трекери: Сонячна енергія на водній гладі

Плаваючі сонячні трекери – це інноваційне рішення, що дозволяє встановлювати сонячні панелі на водній поверхні. Вони монтуються на спеціальних плавучих платформах, які можуть бути розміщені на озерах, водосховищах, ставках або навіть океані.

Цей підхід має ряд переваг:

- **Економія земельного простору:** Плаваючі трекери дозволяють використовувати водні ресурси для виробництва електроенергії, звільняючи цінну землю для інших потреб.
- **Зниження випаровування води:** Сонячні панелі, розміщені над водою, створюють тінь, що зменшує випаровування води з водойми. Це особливо актуально в регіонах з дефіцитом водних ресурсів.
- **Підвищення ефективності панелей:** Вода має охолоджуючий ефект, що допомагає знизити температуру сонячних панелей. Це призводить до підвищення їх ефективності та збільшення вироблення електроенергії.
- **Зменшення росту водоростей:** Тінь, створювана панелями, обмежує проникнення сонячного світла у воду, що стримує ріст водоростей та покращує якість води.

Плаваючі трекери можуть бути як одноосьовими, так і двохосьовими. Вони оснащені спеціальними механізмами, що забезпечують стабільність платформи та оптимальне відстеження руху сонця навіть при хвилюванні води[5].

Полярні трекери: Оптимізація для екстремальних широт

Полярні трекери розроблені для роботи в умовах крайніх північних або південних широт, де сонце має низьку траєкторію протягом більшої частини року. Ці трекери мають унікальні конструктивні особливості та алгоритми управління,

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

що дозволяють їм ефективно відстежувати сонце навіть при малих кутах падіння променів.

- **Спеціальні алгоритми відстеження:** Полярні трекери використовують адаптивні алгоритми, які враховують зміну положення сонця протягом року та оптимізують кут нахилу панелей для максимального збору сонячної енергії.
- **Підвищена стійкість до вітру та снігу:** Конструкція полярних трекерів розрахована на екстремальні погодні умови, включаючи сильні вітри та снігопади. Вони мають посилені опори та механізми, що забезпечують стабільність та надійність роботи.
- **Можливість вертикального розміщення панелей:** У деяких випадках полярні трекери дозволяють розміщувати панелі вертикально, що може бути ефективним в умовах низького сонячного світла.

Полярні трекери дозволяють використовувати сонячну енергію навіть у регіонах, які традиційно вважалися непридатними для сонячної енергетики. Вони відкривають нові можливості для забезпечення віддалених населених пунктів та промислових об'єктів екологічно чистою електроенергією[6].

1.3 Застосування трекерів

Сонячні трекери, пристрої, що дозволяють сонячним панелям слідкувати за рухом сонця протягом дня, знаходять широке застосування в різних сферах, від масштабних сонячних електростанцій до невеликих домашніх установок. Їх використання обумовлене прагненням до максимального збільшення вироблення

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

електроенергії, особливо в умовах обмеженого простору або нерівномірного розподілу сонячного випромінювання.

1.3.1 Комерційне та промислове використання сонячних трекерів

У комерційному та промисловому секторах сонячні трекери стали невід'ємною частиною великих сонячних електростанцій. Розміщені на великих площах, ці станції використовують трекери для оптимізації кута падіння сонячних променів на панелі протягом усього дня. Це призводить до значного збільшення вироблення електроенергії порівняно зі стаціонарними установками[7].

Різновиди трекерів у комерційному секторі:

- **Горизонтальні одноосьові трекери:** Цей тип трекерів є найпоширенішим у регіонах з помірним кліматом, де сонце переміщується переважно по горизонталі. Вони забезпечують ефективне відстеження руху сонця зі сходу на захід.
- **Вертикальні одноосьові трекери:** Такі трекери ідеально підходять для регіонів з високими широтами, де кут падіння сонячних променів значно змінюється протягом року. Вони дозволяють панелям ефективно вловлювати сонячну енергію навіть при низькому положенні сонця.
- **Двохосьові трекери:** Ці трекери забезпечують максимальну ефективність у тропічних регіонах, де сонце здійснює складний рух по небосхилу. Вони відстежують сонце як по горизонталі, так і по вертикалі, забезпечуючи оптимальний кут падіння променів протягом усього дня.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Переваги використання трекерів у комерційному секторі:

- **Збільшення вироблення електроенергії:** Сонячні електростанції, оснащені трекерами, можуть виробляти до 45% більше електроенергії порівняно зі стаціонарними системами.
- **Ефективне використання землі:** Трекери дозволяють розміщувати панелі щільніше, оскільки вони не затіняють одна одну при зміні положення сонця.
- **Зниження витрат на електроенергію:** Завдяки збільшенню вироблення електроенергії, трекери сприяють зниженню вартості електроенергії для споживачів.

1.3.2 Домашні та малі комерційні установки сонячних трекерів

Сонячні трекери знаходять застосування не лише у великих проектах, але й у домашніх та малих комерційних установках. Вони особливо актуальні в умовах обмеженого простору або при нерівномірному розподілі сонячного випромінювання протягом дня[8].

Різновиди трекерів для домашніх та малих комерційних установок:

- **Портативні трекери:** Ці компактні та легкі трекери можна встановити на дахах, балконах або невеликих ділянках землі. Вони забезпечують додаткове вироблення електроенергії навіть в обмежених умовах.
- **Системи з фіксованим нахилом та одноосьовим слідкуванням:** Ці системи поєднують переваги фіксованого нахилу панелей (простота установки та обслуговування) з можливістю відстеження руху сонця по одній осі. Вони ефективні в регіонах з великою кількістю сонячних днів.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Переваги використання трекерів у домашніх та малих комерційних установках:

- **Збільшення вироблення електроенергії:** Трекери дозволяють отримувати більше електроенергії з обмеженої площі панелей, особливо в ранкові та вечірні години.
- **Зниження витрат на електроенергію:** Завдяки збільшенню вироблення власної електроенергії, власники таких установок можуть значно скоротити свої рахунки за електроенергію.
- **Екологічність:** Використання сонячних трекерів сприяє зниженню викидів парникових газів та переходу до більш стійкого енергетичного майбутнього.

1.3.3 Спеціалізоване використання сонячних трекерів

Сонячні трекери знаходять застосування і в спеціалізованих областях, де потрібна висока точність та ефективність. Наприклад, в аграрному секторі трекери використовуються для енергопостачання систем поливу, забезпечуючи стабільну роботу навіть у віддалених районах. У наукових дослідженнях трекери допомагають точно вимірювати сонячну радіацію та вивчати ефективність фотовольтаїчних технологій[8].

Різновиди трекерів для спеціалізованого використання:

- **Мобільні сонячні трекери:** Ці трекери встановлюються на мобільних платформах, що дозволяє використовувати їх у віддалених або важкодоступних місцях, наприклад, на наукових станціях або бурових установках.
- **Трекери для високотехнологічних досліджень:** Ці складні системи використовуються в наукових лабораторіях для детального вивчення характеристик сонячного випромінювання та оптимізації роботи сонячних панелей.

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Переваги використання трекерів у спеціалізованих областях:

- **Енергонезалежність:** Трекери дозволяють забезпечити енергією віддалені об'єкти, де підключення до централізованих мереж є складним або неможливим.
- **Точність вимірювань:** У наукових дослідженнях трекери забезпечують високу точність вимірювань сонячної радіації, що є важливим для розробки нових технологій та оптимізації існуючих.

1.3.4 Заключення використання

Сонячні трекери відіграють важливу роль у розвитку сонячної енергетики, забезпечуючи максимальне вироблення електроенергії з обмеженої площі панелей. Їх використання є ефективним як у великих комерційних проектах, так і в домашніх та спеціалізованих установках. Зі зниженням вартості та розвитком технологій, сонячні трекери стають все більш доступними, відкриваючи нові можливості для використання сонячної енергії та переходу до більш стійкого енергетичного майбутнього.

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ

2.1 Опис та склад системи

Автоматизація систем сонячних панелей є ключовим фактором для оптимізації їх роботи. Застосування спеціалізованих технічних засобів та програмного забезпечення дозволяє не лише контролювати, а й активно коригувати положення панелей для досягнення максимальної ефективності.

Розробка такої системи вимагає ретельного аналізу та врахування кількох важливих аспектів:

- **Фізичні розміри системи:** габарити панелей та конструкції впливають на вибір відповідних приводів та механізмів коригування.
- **Приводи системи:** вибір приводів залежить від розмірів системи, потрібної швидкості та точності позиціонування.
- **Тип системи стеження:** існують різні системи стеження, наприклад, одноосьові та двоосьові, кожна з яких має свої переваги та недоліки.
- **Керуючий пристрій:** це може бути спеціалізований контролер або програмований логічний контролер (ПЛК), який відповідає за обробку даних та керування приводами.
- **Спосіб керування:** система може керуватися за допомогою астрономічних алгоритмів, датчиків освітленості або їх комбінації.

Врахування цих факторів та їх ретельний аналіз дозволить створити ефективну та надійну систему автоматизації, яка забезпечить максимальну продуктивність сонячних панелей[9].

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2.2 Вибір технічного оснащення системи стеження

Для практичного дослідження принципів роботи автоматизованої системи стеження було обрано компактну макетну модель.

Компактна макетна модель була обрана з кількох причин:

- **Масштабованість:** Незважаючи на невеликий розмір, макетна модель дозволяє екстраполювати отримані результати на більші системи. Це дає змогу оцінити ефективність різних підходів до автоматизації стеження без необхідності будівництва повномасштабної установки.
- **Гнучкість:** Макетна модель дозволяє легко змінювати конфігурацію системи, тестувати різні типи приводів, датчиків та алгоритмів керування. Це дає змогу знайти оптимальне рішення для конкретних умов експлуатації.
- **Зручність дослідження:** Компактний розмір моделі спрощує її транспортування та встановлення в різних місцях, що дозволяє проводити дослідження в реальних умовах освітлення та погодних умов.
- **Наочність:** Макетна модель дозволяє наочно продемонструвати принципи роботи автоматизованої системи стеження, що може бути корисним для навчальних цілей або презентацій.

Таким чином, вибір компактної макетної моделі обумовлений її численними перевагами, які роблять її ефективним інструментом для дослідження та розробки автоматизованих систем стеження за сонячними панелями[9].

2.2.1 Сервопривід

Сервоприводи – це виконавчі механізми, що забезпечують точне керування параметрами руху шляхом повороту валу на заданий кут з необхідною швидкістю. Їх функціонування базується на принципі зворотного зв'язку, де сигнал керування

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

порівнюється з фактичним положенням валу, що дозволяє досягти високої точності позиціонування.

Конструктивно сервопривід складається з трьох основних компонентів: двигуна, що забезпечує обертання валу, датчика позиціонування, який вимірює кут повороту, та системи керування, що обробляє сигнали з датчика та формує керуючі впливи на двигун.

Сервоприводи відрізняються стабільною роботою, високою стійкістю до зовнішніх перешкод, компактними розмірами та наявністю зворотного зв'язку, що дозволяє контролювати та коригувати положення валу в режимі реального часу.

Керування сервоприводом здійснюється за допомогою сигналів, що являють собою послідовність імпульсів постійної частоти, але змінної ширини. Тривалість імпульсу визначає бажане положення валу сервоприводу. Система керування порівнює тривалість вхідного імпульсу з поточним положенням валу та генерує сигнал керування для двигуна, забезпечуючи його рух у потрібному напрямку до досягнення заданого положення.

За типом внутрішнього інтерфейсу керування розрізняють аналогові та цифрові сервоприводи. Аналогові сервоприводи використовують спеціалізовані мікросхеми для обробки сигналів, тоді як цифрові сервоприводи оснащені мікропроцесорами, що дозволяє їм працювати з більшою швидкістю та точністю, але за рахунок більшого енергоспоживання та вартості.

Для реалізації системи автоматичного стеження сонячних панелей було обрано сервопривід **MG996R**. Цей цифровий сервопривід з металевими шестернями є надійним та потужним рішенням, що відповідає вимогам проекту.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Обґрунтування вибору:

- **Високий крутний момент:** MG996R забезпечує значний крутний момент до 11 кг/см при напрузі 6 В. Це дозволяє йому легко справлятися з переміщенням сонячних панелей, навіть за несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер.
- **Металеві шестерні:** На відміну від пластикових шестерень, які можуть зношуватися з часом, металеві шестерні MG996R гарантують довговічність та надійність роботи приводу протягом тривалого часу.
- **Широкий діапазон робочої напруги:** Сервопривід MG996R може працювати в діапазоні напруги від 4.8 до 7.2 В, що забезпечує гнучкість при виборі джерела живлення для системи.
- **Висока точність позиціонування:** Завдяки цифровому керуванню та вбудованому потенціометру, MG996R забезпечує високу точність позиціонування сонячних панелей, що є критичним для досягнення максимальної ефективності їх роботи.
- **Доступність та простота використання:** MG996R є широко доступним та популярним сервоприводом, що значно спрощує його придбання та інтеграцію в систему. Крім того, він має стандартний інтерфейс керування, що робить його сумісним з більшістю мікроконтролерів та плат керування.

Враховуючи всі ці фактори, сервопривід MG996R є оптимальним вибором для реалізації системи автоматичного стеження сонячних панелей, забезпечуючи необхідну потужність, точність та надійність[10].

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Технічні характеристики серво двигуна MG996R

- Тип редуктора: металевий, встановлений на 1 шарикопідшипник
- Вага: 55г
- Розміри: 40,3x20x47,6 мм.
- Швидкість роботи: 0.17sec / 60 градусів (4.8V без навантаження)
- Швидкість роботи: 0.13sec / 60 градусів (6.0V без навантаження)
- Зусилля на валу: 9,4 кг / см (4.8В) - 11 кг / см (6В)
- Кут повороту: 180
- Робоча напруга: 4.8 - 7.2 В
- Робоча температура: 0 ... 55 ° С

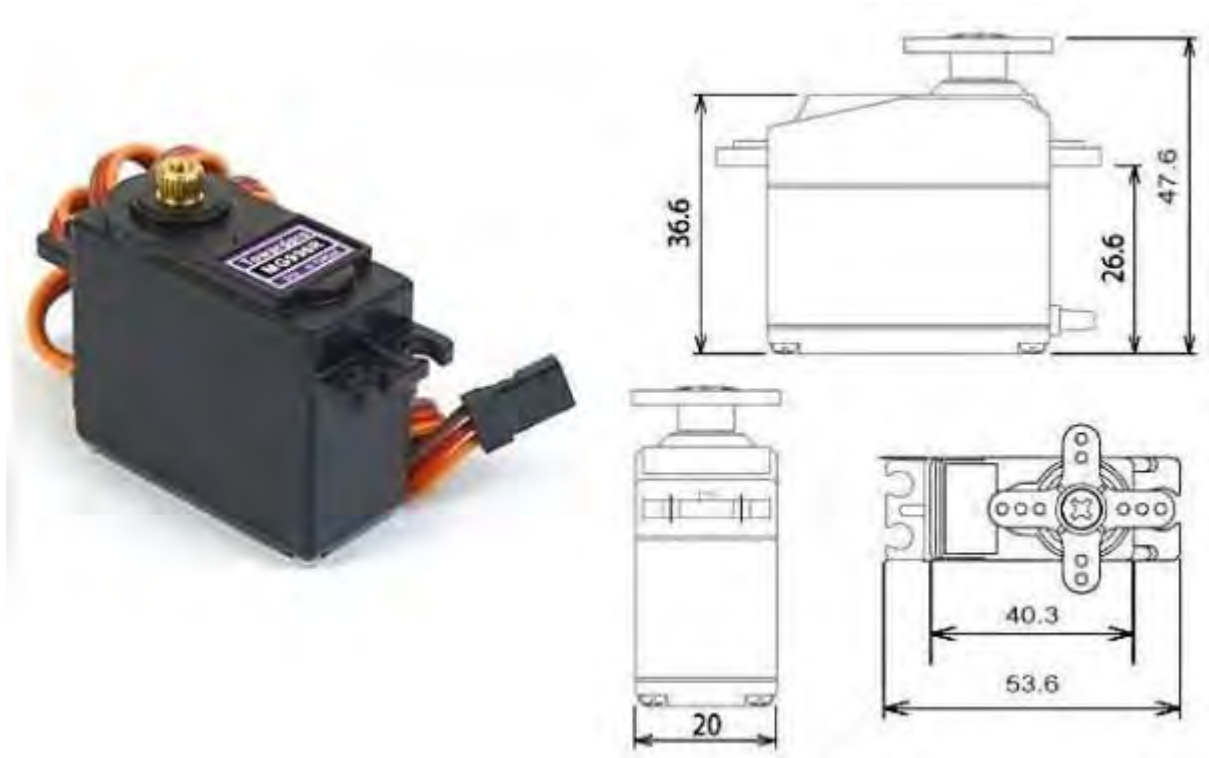


Рис. 2.1 – Сервопривід MG996R

2.2.2 Світлочутливий датчик

Світлочутливі датчики – це пристрої, які перетворюють силу світлового потоку на електричний сигнал, що може бути використаний для керування різними

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

системами. Один з таких датчиків - модуль фоторезисторів з чотирма LDR (Light Dependent Resistor), які реагують на зміни освітленості шляхом зміни свого опору.

Фоторезистори змінюють свій опір залежно від кількості світла, що на них падає: при збільшенні освітленості опір зменшується, і навпаки. Це дозволяє використовувати їх для створення аналогових або цифрових сигналів, які можуть бути зчитані мікроконтролером для керування логікою системи.

Світлочутливі датчики застосовуються в різних сферах, таких як автоматичні системи вуличного освітлення, охоронні системи, і, звичайно, системи стеження за Сонцем. Основна перевага таких датчиків у їхній простоті і надійності, але вони мають і деякі недоліки. Наприклад, чутливість до спектра світла може призводити до некоректних даних, оскільки опір змінюється залежно від типу світла, що падає на датчик. Також, їхня відносно низька швидкість реакції на зміну освітленості не є критичною для системи стеження за Сонцем.

Для системи керування орієнтацією сонячної панелі можна використовувати модуль світлочутливого датчика GY-302 на основі сенсора BH1750FVI. Цей датчик має високу чутливість і надійність, а також простоту у підключенні до мікроконтролера.

Опис світлочутливого датчика

GY-302 Світлочутливий датчик GY-302 на основі BH1750FVI є модулем, який перетворює світловий потік у цифровий сигнал. Цей сигнал можна використовувати для точного вимірювання освітленості, що є важливим для коректного керування системою орієнтації сонячної панелі.

Принцип роботи BH1750FVI заснований на перетворенні інтенсивності світлового потоку в цифровий сигнал через інтерфейс I2C. Це дозволяє легко підключати його до мікроконтролерів, таких як Arduino чи ESP32.

					<i>ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

Основні характеристики BH1750FVI

- Робоча напруга: 3.0В – 5В
- Діапазон вимірювання: 1 – 65535 люкс
- Інтерфейс: I2C
- Споживана потужність: 0.12 мА (в активному режимі)
- Розмір: 3.2см x 1.4см

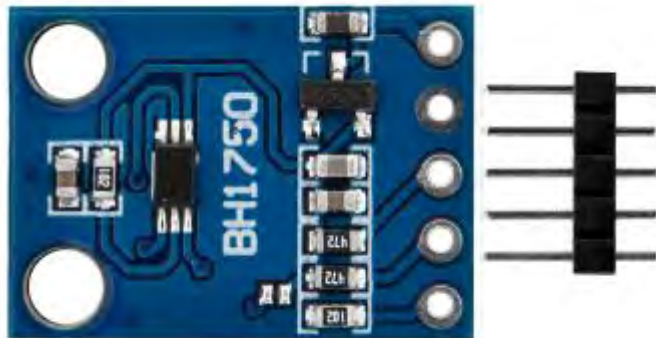


Рис. 2.2 – Датчик GY-302 на основі BH1750FVI

Ключові особливості модуля GY-302:

- Простота підключення: Модуль легко підключається до мікроконтролера за допомогою інтерфейсу I2C.
- Висока точність вимірювань: Датчик забезпечує точні вимірювання освітленості в широкому діапазоні.
- Низька споживана потужність: Ефективне енергоспоживання дозволяє використовувати його в автономних системах.
- Цифровий вихід: Забезпечує стабільні та точні дані, які можуть бути легко оброблені мікроконтролером.

Використання декількох датчиків GY-302

При використанні декількох датчиків GY-302 важливо враховувати можливі проблеми з перехресною освітленістю. Для цього датчики повинні бути розташовані таким чином, щоб мінімізувати вплив один на одного. Це можна

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

досягти шляхом фізичної ізоляції датчиків або розміщення їх на достатній відстані один від одного.

Цей модуль забезпечить надійне вимірювання освітленості, що дозволить точно орієнтувати сонячну панель для максимальної ефективності[11].

2.2.3 Мікроконтролер

Мікроконтролер — це компактний інтегрований пристрій, який включає в себе процесор, пам'ять та виводи вводу/виводу. Він виконує програмовані задачі, керуючи підключеними до нього компонентами та обробляючи дані з різних сенсорів. Мікроконтролери використовуються в широкому спектрі додатків, від простих автоматичних систем до складних вбудованих рішень, таких як системи керування орієнтацією сонячної панелі.

Призначення мікроконтролера

- У системі стеження за орієнтацією сонячної панелі мікроконтролер виконує кілька важливих функцій:
- Обробка даних з світлочутливих датчиків для визначення оптимального положення панелі.
- Керування сервоприводом для переміщення панелі в потрібне положення.
- Забезпечення можливості ручного керування системою.
- Можливість підключення додаткових модулів для віддаленого моніторингу та керування (наприклад, через Wi-Fi або Bluetooth).

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Вибір мікроконтролера

Для нашої системи підійдуть два популярних мікроконтролери: Arduino Uno та ESP32. Обидва мікроконтролери мають свої переваги та недоліки, які розглянемо детальніше.

Arduino Uno

Arduino Uno — це популярний мікроконтролер на базі ATmega328P, відомий своєю простотою у використанні та широкою підтримкою спільноти[12].

Основні характеристики:

- Процесор: ATmega328P
- Тактова частота: 16 МГц
- Пам'ять: 32 КБ флеш-пам'яті, 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM
- Кількість виводів: 14 цифрових вводу/виводу (з них 6 PWM), 6 аналогових входів
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C

Переваги:

- Простота використання
- Велика кількість бібліотек та прикладів
- Широка підтримка спільноти
- Доступність та низька ціна

Недоліки:

- Обмежена обчислювальна потужність
- Відсутність вбудованих засобів бездротового зв'язку

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

ESP32

ESP32 — це потужний мікроконтролер від компанії Espressif Systems, який має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє легко реалізувати віддалений моніторинг та керування[13].

Основні характеристики:

- Процесор: Двоядерний Tensilica LX6
- Тактова частота: до 240 МГц
- Пам'ять: до 520 КБ SRAM
- Кількість виводів: до 34 цифрових вводу/виводу, численні аналогові входи
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C, I2S, CAN
- Бездротові можливості: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2

Переваги:

- Висока обчислювальна потужність
- Вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth
- Велика кількість виводів
- Підтримка багатозадачності

Недоліки:

- Більш складне програмування у порівнянні з Arduino Uno
- Вища ціна

Вибір кращої моделі

Для нашої системи стеження за орієнтацією сонячної панелі кращим вибором буде мікроконтролер ESP32. Його висока обчислювальна потужність та вбудовані

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

засоби бездротового зв'язку дозволять легко реалізувати як основні функції системи, так і додаткові можливості, такі як віддалений моніторинг та керування.

Використання ESP32 в нашій системі забезпечить високу точність, надійність та можливість віддаленого моніторингу, що є ключовими факторами для ефективної роботи системи стеження за орієнтацією сонячної панелі.



Рис. 2.3 – Мікроконтролер ESP32



Рис. 2.4 – Pinout ESP32

Мікроконтролер ESP32 має численні виводи, що дозволяють підключати різні периферійні пристрої та сенсори. Виводи живлення забезпечують стабільне живлення для компонентів системи, використовуючи 3.3В і 5В джерела напруги.

Загальні цифрові виводи вводу/виводу (GPIO) можуть бути налаштовані як входи або виходи, що надає гнучкість у підключенні та керуванні різними пристроями.

ESP32 підтримує кілька інтерфейсів зв'язку, зокрема UART для серійного зв'язку, I2C для зв'язку з периферійними пристроями, такими як датчики та модулі розширення, і SPI для зв'язку з високошвидкісними пристроями. Також мікроконтролер має вбудовані можливості для обробки аудіосигналів через I2S інтерфейс.

Аналогові входи на ESP32 дозволяють вимірювати аналогові сигнали з високою точністю завдяки вбудованим АЦП. Це особливо корисно для підключення сенсорів, які передають аналогові сигнали.

Вибір мікроконтролера ESP32 обумовлений його високою обчислювальною потужністю, вбудованими засобами бездротового зв'язку (Wi-Fi та Bluetooth) та гнучкістю у використанні численних інтерфейсів зв'язку. Це робить ESP32 ідеальним вибором для реалізації системи стеження за орієнтацією сонячної панелі, забезпечуючи надійну та ефективну роботу системи з можливістю віддаленого моніторингу та керування.

Основні переваги ESP32 включають його високу продуктивність завдяки двоядерному процесору, низьке енергоспоживання та підтримку багатозадачності, що дозволяє виконувати кілька задач одночасно. Багатофункціональність та універсальність ESP32 роблять його оптимальним рішенням для складних проектів, які вимагають надійності та гнучкості[13].

2.2.4 Живлення

Для забезпечення стабільної та надійної роботи системи стеження за орієнтацією сонячної панелі необхідно правильно організувати живлення всіх її

компонентів. Вибір відповідних джерел живлення є критично важливим для коректної роботи мікроконтролера, датчиків та сервоприводів.

Основні компоненти системи живлення:

Блок живлення 5V:

Цей блок живлення використовується для живлення мікроконтролера ESP32 та інших компонентів системи, які потребують напругу 5В. Мікроконтролер ESP32 працює при напрузі 3.3В, але більшість моделей має вбудований стабілізатор, що дозволяє підключати його до джерела 5В. Однією з відповідних моделей є блок живлення Mean Well RS-15-5, який забезпечує стабільну напругу 5В і має вихідну потужність 15 Вт.

Регульований блок живлення 6-7.2V:

Для живлення сервоприводу MG996R необхідний регульований блок живлення, який може забезпечити напругу в діапазоні 4.8-7.2В. Сервопривод MG996R споживає значний струм, особливо під час роботи під навантаженням, тому важливо забезпечити його стабільним та надійним джерелом живлення. Оптимальним вибором є регульований блок живлення LM2596, який дозволяє точно налаштувати вихідну напругу в потрібному діапазоні.

					<i>ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Переваги використання відповідних блоків живлення:

- Стабільність роботи: Правильний вибір джерел живлення забезпечує стабільну роботу всіх компонентів системи, що є ключовим фактором для надійної роботи системи стеження.
- Захист компонентів: Використання регульованих блоків живлення допомагає уникнути перенапруги та перегріву компонентів, що може призвести до їх пошкодження.
- Ефективність: Забезпечення відповідного рівня напруги для кожного компонента підвищує загальну ефективність системи, дозволяючи їй працювати з максимальною продуктивністю.

Організація правильного живлення для системи стеження за орієнтацією сонячної панелі забезпечує її стабільну та ефективну роботу, що є необхідним для досягнення максимальної продуктивності та надійності.

2.2.5 Компоненти для ручного керування

Для забезпечення можливості ручного керування системою стеження за орієнтацією сонячної панелі необхідно використати відповідні компоненти. Це дозволить користувачу в будь-який момент переключити систему з автоматичного режиму в ручний і самостійно керувати положенням панелі.

Кнопки або перемикачі

Для зміни режиму роботи системи (автоматичний/ручний) та для ручного керування сервоприводом необхідно використовувати надійні кнопки або перемикачі. Відповідна модель для цього завдання:

Перемикач KCD1-101: Це простий та надійний перемикач, який можна використовувати для перемикачання між режимами роботи системи. Він забезпечує чіткий механічний контакт і має тривалий термін служби.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики перемикача KCD1-101:

- Номінальна напруга: 250В АС
- Номінальний струм: 6А
- Кількість позицій: 2 (вкл/викл)
- Матеріал корпусу: Пластик
- Розмір: 28 мм x 13 мм x 22 мм

Потенціометр

Для регулювання положення сервоприводу в ручному режимі найкраще підійде потенціометр. Він дозволяє плавно змінювати вихідний сигнал, що буде керувати положенням сервоприводу. Оптимальна модель для цього завдання:

Потенціометр В10К: Це стандартний потенціометр з лінійною характеристикою, який дозволяє точно налаштувати положення сервоприводу.

Характеристики потенціометра В10К:

- Номінальний опір: 10 кОм
- Тип: Лінійний
- Максимальна потужність: 0.2 Вт
- Допуск: $\pm 20\%$
- Розмір: 24 мм x 10 мм

Опис функціонування

Для реалізації ручного керування системою використовуються кнопки або перемикачі для перемикання режимів роботи та потенціометр для регулювання положення сервоприводу. При натисканні на перемикач KCD1-101 система

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

переходить у ручний режим, де користувач може за допомогою потенціометра В10К плавно змінювати положення сонячної панелі.

Переваги використання даних компонентів:

- Надійність: Обидва компоненти мають тривалий термін служби та забезпечують стабільну роботу системи.
- Простота використання: Перемикач KCD1-101 та потенціометр В10К легко інтегруються в систему та забезпечують зручне керування.
- Точність: Потенціометр дозволяє точно налаштувати положення сервоприводу, що важливо для ефективної роботи системи стеження за сонцем.

Таким чином, використання перемикача KCD1-101 та потенціометра В10К забезпечує надійне та точне ручне керування системою стеження за орієнтацією сонячної панелі, що дозволяє користувачу швидко переходити між автоматичним та ручним режимами роботи та точно налаштовувати положення панелі.

2.2.6 Датчик температури навколишнього середовища

Для свого проекту я виберу модель DS18B20.

Призначення:

Датчик DS18B20 використовується для вимірювання температури навколишнього середовища. Завдяки високій точності та широкому діапазону вимірюваних температур, він ідеально підходить для контролю умов, у яких працює система стеження за орієнтацією сонячної панелі[15].

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики:

- Діапазон вимірюваних температур: від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$
- Точність: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Інтерфейс: 1-Wire
- Підключення: Один цифровий вивід підключається до мікроконтролера, інші два — до живлення і землі.

Функція:

Основна функція датчика DS18B20 полягає у вимірюванні температури навколишнього середовища для забезпечення оптимальних умов роботи системи та уникнення перегріву. Він передає точні дані про температуру, які використовуються мікроконтролером для прийняття рішень щодо функціонування системи.

2.2.7 Датчик температури панелі

Модель: LM35

Призначення:

Датчик LM35 використовується для вимірювання температури сонячної панелі. Він має високу точність і видає аналоговий сигнал, пропорційний температурі, що дозволяє точно визначати стан панелі та запобігати перегріву.

Характеристики:

- Діапазон вимірюваних температур: від -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$
- Точність: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Вихідний сигнал: Аналоговий
- Підключення: Виводи підключаються до аналогового входу мікроконтролера, живлення та землі.

Функція:

Основна функція датчика LM35 полягає у вимірюванні температури сонячної панелі для моніторингу її стану та запобігання перегріву. Датчик передає

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналоговий сигнал, пропорційний температурі, який обробляється мікроконтролером для прийняття відповідних заходів[15].

2.2.7 Наклонометр

Модель: MPU6050

Призначення:

Наклонометр MPU6050 використовується для вимірювання куту нахилу сонячної панелі. Завдяки вбудованому акселерометру та гіроскопу, він дозволяє точно визначати орієнтацію панелі в просторі, що є критично важливим для ефективного стеження за Сонцем[14].

- Характеристики:
- Діапазон вимірювання акселерометра: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
- Діапазон вимірювання гіроскопа: ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 град/сек
- Інтерфейс: I2C
- Підключення: Підключається до мікроконтролера через інтерфейс I2C.

Функція:

Основна функція наклонометра MPU6050 полягає у вимірюванні кута нахилу сонячної панелі для точного орієнтування щодо Сонця. Датчик передає дані про нахил та орієнтацію панелі, які обробляються мікроконтролером для корекції її положення.[8]

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2.2.8 Анемометр

Модель: Adafruit Anemometer

Призначення:

Анемометр використовується для вимірювання швидкості вітру. Це допомагає визначити вітрові навантаження на сонячну панель і приймати відповідні заходи для захисту системи від пошкоджень, спричинених сильними вітрами.

Характеристики:

- Діапазон вимірювання швидкості вітру: від 0 до 32 м/с
- Вихідний сигнал: Частотний або аналоговий (залежно від моделі)
- Підключення: Підключається до мікроконтролера через цифровий або аналоговий вхід.

Функція:

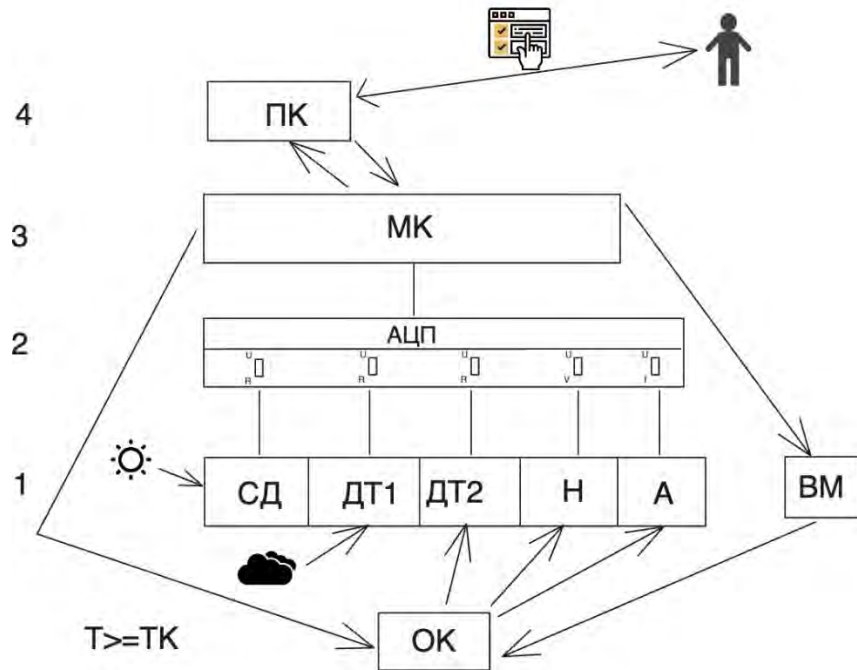
Основна функція анемометра Adafruit полягає у вимірюванні швидкості вітру для забезпечення безпеки та стабільності сонячної панелі під час сильних вітрів. Дані про швидкість вітру дозволяють системі приймати відповідні заходи для запобігання пошкодженню панелі.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Структурна-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі

Блок-схема відображає структуру та взаємодію компонентів системи керування орієнтацією сонячної панелі. Схема розділена на чотири рівні: датчики, перетворюючі механізми, обчислювальний рівень та рівень керування.



СД - світлочутливий датчик

ДТ1- датчик температури навк. середовища

ДТ2 - датчик температури панелей

А - Анемометри

Н - Наклонометри

1 рівень - датчики

2 рівень - перетворюючі механізми

3 рівень - обчислювальний рівень

4 рівень - управлінський рівень

МК-мікроконтролери

ПК - комп'ютер

ОК-основний компонент

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ВМ-виконавчий механізм

Рис. 3.1 – Структурна-схема системи

Ця схема забезпечує повний цикл керування та моніторингу системи орієнтації сонячної панелі, від збирання даних до фізичного виконання команд, що гарантує ефективну роботу та високу продуктивність системи.

3.2 Блок-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі

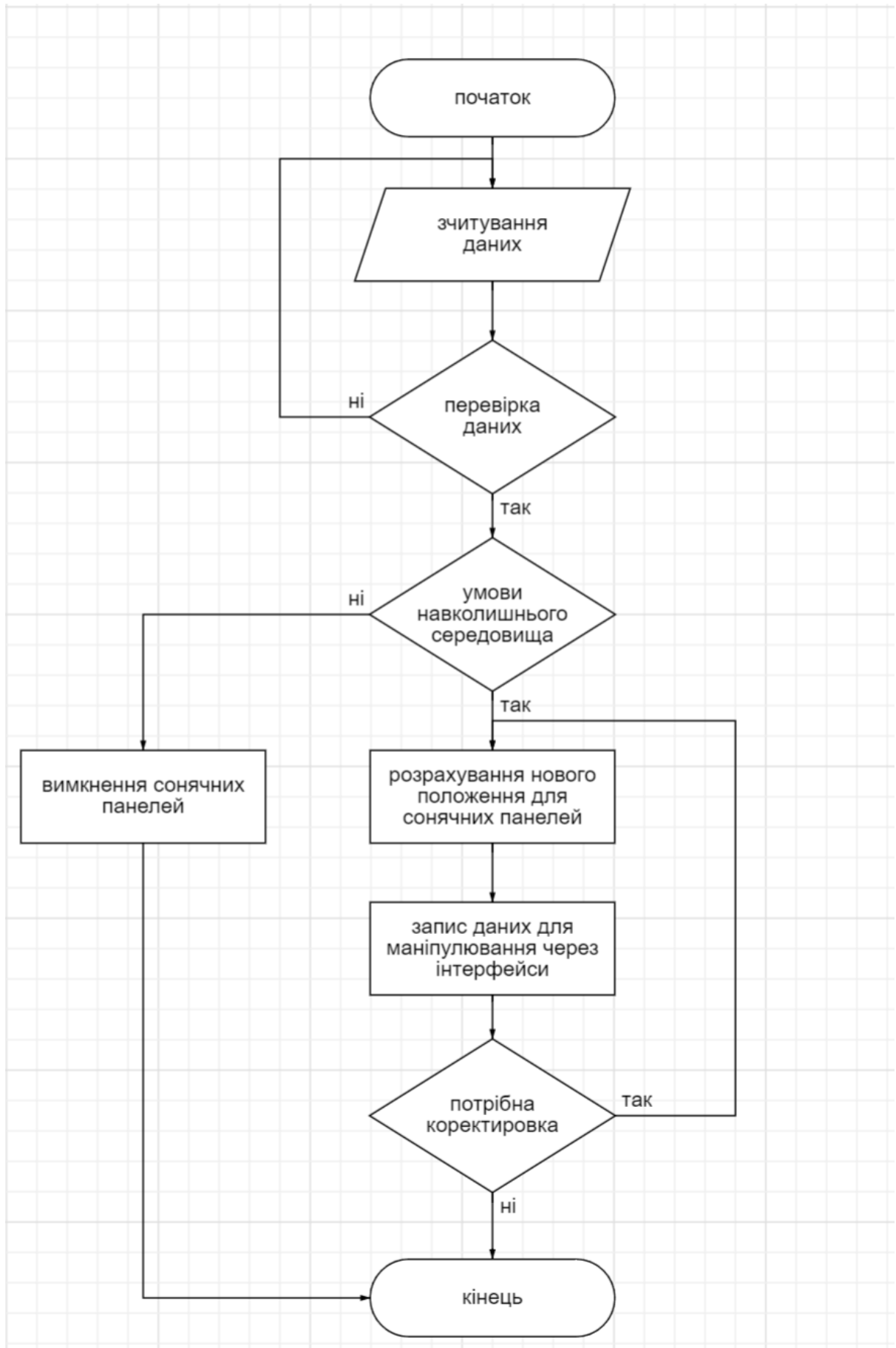
Компоненти системи

Система керування орієнтацією сонячної панелі складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує важливу роль у забезпеченні оптимального функціонування системи. До цих компонентів належать:

- Фоторезистори (ФР): Використовуються для визначення рівня освітленості та оптимального кута нахилу панелі.
- Датчик температури навколишнього середовища (ДТ1): Вимірює температуру повітря навколо системи, що допомагає оцінити зовнішні умови роботи.
- Датчик температури панелі (ДТ2): Вимірює температуру самої сонячної панелі, що дозволяє контролювати її стан та запобігати перегріву.
- Наклонометр (Н): Визначає кут нахилу панелі, що необхідно для точного орієнтування панелі щодо Сонця.
- Анемометр (А): Вимірює швидкість вітру, що допомагає визначити вітрові навантаження на панель та приймати відповідні заходи для її захисту.
- Сервопривід (ВМ): Виконує команди мікроконтролера для зміни положення панелі.
- Мікроконтролер (МК): Центральний обчислювальний елемент системи, який обробляє дані з датчиків і керує іншими компонентами.
- Основний компонент (ОК): Координує роботу всієї системи, збираючи дані та передаючи їх мікроконтролеру.
- Інтерфейс для ручного керування (перемикач та потенціометр): Дозволяє користувачу вручну змінювати режим роботи системи та керувати положенням панелі.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Блок-схема



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ

Арк.

46

Опис блок-схеми

Блок-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі ілюструє послідовність кроків, необхідних для забезпечення оптимального функціонування системи.

1. Початок: Початковий етап роботи системи починається з її запуску та підготовки до зчитування даних з усіх підключених датчиків.
2. Зчитування даних: На цьому етапі система зчитує дані з усіх датчиків, зокрема з фоторезисторів (ФР), датчика температури навколишнього середовища (ДТ1), датчика температури панелі (ДТ2), нахилометра (Н) та анемометра (А). Ці дані є ключовими для подальшої обробки та прийняття рішень.
3. Перевірка даних: Після зчитування даних система перевіряє їх на коректність. Це включає виявлення можливих помилок або аномалій у даних, які можуть вплинути на роботу системи.
4. Умови навколишнього середовища: Система аналізує дані, отримані з датчиків температури (ДТ1) та анемометра (А), щоб оцінити зовнішні умови. Якщо умови несприятливі, наприклад, сильний вітер або висока температура, система переходить до режиму захисту.
5. Режим захисту: У випадку несприятливих умов система вимикає сонячні панелі або зменшує їх нахил для запобігання пошкодженню. Це важливий захід безпеки, що забезпечує тривалу та надійну роботу панелей.
6. Розрахування нового положення для сонячних панелей: Якщо умови сприятливі, система обробляє дані з фоторезисторів (ФР) та нахилометра (Н) для визначення оптимального кута нахилу панелі. Це дозволяє максимально ефективно використовувати сонячне випромінювання.
7. Запис даних для маніпулювання через інтерфейси: Система зберігає оброблені дані, щоб забезпечити можливість ручного керування через

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейс. Це включає використання перемикача та потенціометра для зміни режиму роботи та положення панелі.

8. Потрібна корекція: На цьому етапі система перевіряє, чи потрібно скорегувати положення панелей. Якщо так, цикл повторюється, і система знову зчитує дані з датчиків для подальшої обробки.
9. Завершення роботи: Якщо корекція не потрібна, система завершує роботу, залишаючи панелі у поточному положенні до наступного циклу зчитування та обробки даних.

Висновок

Блок-схема системи керування орієнтацією сонячної панелі показує, як різні компоненти системи взаємодіють між собою для забезпечення ефективної роботи та безпеки. Вона охоплює всі основні етапи, від зчитування та перевірки даних до аналізу умов навколишнього середовища та керування положенням панелі. Завдяки цьому підходу система здатна автоматично адаптуватися до змінних умов і забезпечувати оптимальне використання сонячної енергії.

3.3 Розрахунок положення Сонця

Для оптимального функціонування системи керування орієнтацією сонячної панелі необхідно точно розрахувати положення Сонця на небі. Розглянемо основні рівняння, які дозволять визначити положення Сонця в залежності від географічних координат місця встановлення панелі та часу.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Сонячний час і кут годин

Сонячний час обчислюється за формулою:

$$T_s = T + E + 4(L_{std} - L_{loc}),$$

де:

- T_s — сонячний час,
- T — стандартний час (в годинах),
- E — рівняння часу (в хвиликах),
- L_{std} — стандартний меридіан місцевого часового поясу (в градусах),
- L_{loc} — місцева довгота (в градусах).

Кут годин визначається як:

$$H = 15^\circ \times (T_s - 12),$$

де:

- H — кут годин (в градусах).

Розрахунок:

Візьмемо за приклад місто Южноукраїнськ, Миколаївської області, Україна:

- Географічні координати: 47.8 3°пн.ш., 31.1 8° сх.д.
- Стандартний часовий пояс: UTC+2 (стандартний меридіан $L_{std} = 30^\circ$).
- Місцевий час: 12:00 (стандартний час).
- Рівняння часу (для прикладу, 21 березня, день весняного рівнодення): $E = 0$

					ДНБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок сонячного часу:

$$T_s = 12 + 0 + 4 \times (30 - 31.18)$$

$$T_s = 12 + 4 \times (-1.18)$$

$$T_s = 12 - 4.72 = 11.28$$

Розрахунок кута годин:

$$H = 15^\circ \times (11.28 - 12)$$

$$H = 15^\circ \times (-0.72)$$

$$H = -10.8^\circ$$

Деклінація Сонця і сонячна висота

Деклінація Сонця визначається за формулою:

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin \left(\frac{360}{365} \times (284 + N) \right)$$

де:

- δ — деклінація (в градусах),
- N — порядковий номер дня в році.

Приклад розрахунку для 21 березня ($N = 80$):

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin \left(\frac{360}{365} \times (284 + 80) \right)$$

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin \left(\frac{360}{365} \times 364 \right)$$

$$\delta \approx 23.45^\circ \times \sin(358.91^\circ)$$

$$\delta \approx 23.45^\circ \times \sin(358.91^\circ) \approx 0^\circ$$

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Сонячна висота над горизонтом обчислюється як:

$$h = \sin^{-1}(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos H),$$

де:

- h — сонячна висота (в градусах),
- φ — широта місця встановлення панелі (в градусах).

Приклад розрахунку:

$$h = \sin^{-1}(\sin(47.83^\circ)\sin(0^\circ) + \cos(47.83^\circ)\cos(0^\circ)\cos(-10.8^\circ))$$

$$h = \sin^{-1}(0 + \cos(47.83^\circ)\cos(10.8^\circ))$$

$$h = \sin^{-1}(0.674 \times 0.981)$$

$$h = \sin^{-1}(0.661)$$

$$h \approx 41.47^\circ$$

Азимут Сонця

Азимут Сонця визначається за формулою:

$$A = \cos^{-1}\left(\frac{\sin \delta - \sin h \times \sin \varphi}{\cos h \times \cos \varphi}\right)$$

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Приклад розрахунку:

$$A = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(0^\circ) - \sin(41.47^\circ)\sin(47.83^\circ)}{\cos(41.47^\circ)\cos(47.83^\circ)}\right)$$

$$A = \cos^{-1}\left(\frac{0 - 0.662 \times 0.674}{0.747 \times 0.74}\right)$$

$$A \approx \cos^{-1}\left(\frac{-0.446}{0.553}\right)$$

$$A \approx 143.13^\circ$$

Таким чином, на 21 березня в місті Южноукраїнськ о 12:00 (стандартний час) Сонце буде на висоті приблизно 41.47 градусів над горизонтом з азимутом 143.13 градусів.

Ці розрахунки дозволяють точно визначити положення Сонця і забезпечити оптимальне налаштування кута нахилу сонячної панелі для максимального уловлювання сонячного випромінювання.

3.4 Електроенергія, яка генерується сонячною панеллю

Розрахунок кількості електроенергії, що генерується сонячною панеллю, залежить від площі панелі, середньої інсоляції та коефіцієнта продуктивності системи. Візьмемо за приклад так само місто Южноукраїнськ, Миколаївської області, Україна.

Формула для розрахунку електроенергії:

$$E = A \times H \times PR$$

де:

- E — вироблена енергія (кВт·год),
- A — площа панелі (м²),
- H — середня інсоляція на панель (кВт·год/м²/день),
- PR — коефіцієнт продуктивності системи (безрозмірний).

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Припустимо, що:

- Площа сонячної панелі (A) = 1.5 м².
- Середня інсоляція в Южноукраїнську (H) = 4.5 кВт·год/м²/день.
- Коефіцієнт продуктивності системи (PR) = 0.75.

Розрахунок:

$$E = 1.5 \times 4.5 \times 0.75$$

$$E = 5.0625 \text{ кВт} \times \text{год/день}$$

Отже, одна сонячна панель з площею 1.5 м² в місті Южноукраїнськ може генерувати приблизно 5.0625 кВт·год електроенергії на день.

3.5 Ефективність сонячної панелі

Вихідні дані:

- Вироблена енергія (E) = 5.0625 кВт·год/день (з попереднього розрахунку).
- Час роботи (t) = 24 години.
- Вхідна потужність сонячного випромінювання $P_{in} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ (стандартна умовна величина для розрахунків).
- Площа сонячної панелі (A) = 1.5 м².

Розрахунок потужності постійного струму від сонячної батареї:

$$P_{DC} = \frac{E}{t}$$

$$P_{DC} = \frac{5.0625}{24}$$

$$P_{DC} \approx 0.211 \text{ кВт} = 211 \text{ Вт}$$

Розрахунок ефективності:

Вхідна потужність на панель

$$P_{in} = 1000 \text{ Вт/м}^2 \times 1.5 \text{ м}^2 = 1500 \text{ Вт.}$$

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Ефективність сонячної панелі визначається як відношення вихідної потужності до вхідної потужності сонячного випромінювання.

Формула для розрахунку ефективності:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

де:

- η — ефективність сонячної панелі (%),
- P_{out} — вихідна потужність (211 Вт),
- P_{in} — вхідна потужність (1500 Вт).

Розрахунок:

$$\eta = \frac{211}{1500} \times 100\%$$
$$\eta \approx 14.07\%$$

Отже, ефективність сонячної панелі становить приблизно 14.07%.

Підсумок:

- Вироблена енергія = 5.0625 кВт·год/день
- Потужність постійного струму = 211 Вт
- Ефективність сонячної панелі = 14.07%

3.6 Моделювання системи керування кутом нахилу

Для моделювання системи керування кутом нахилу сонячної панелі використовуються наступні вихідні дані:

- Положення Сонця (висота і азимут).
- Дані з датчиків: світлочутливі датчики (GY-302), датчик температури навколишнього середовища (DS18B20), датчик температури панелі (LM35), нахилометр (MPU6050), анемометр (Adafruit Anemometer).

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Модель зчитування даних з датчиків

Код для зчитування даних з датчиків на базі мікроконтролера ESP32:

доступ надається за зверненням до авторів

Модель розрахунку оптимального кута нахилу панелі

Розрахунок оптимального кута нахилу на основі даних з світлочутливих датчиків (GY-302)

доступ надається за зверненням до авторів

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Модель обробки даних для ручного керування

Код для обробки даних з перемикача (КСД1-101) та потенціометра (В10К)

доступ надається за зверненням до авторів

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Модель обробки даних для автоматичного керування

Код для обробки даних з датчиків та керування сервоприводом в автоматичному режимі

доступ надається за зверненням до авторів

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Блок обміну сигналами

Блок обміну сигналами забезпечує зв'язок між різними компонентами системи, що дозволяє ефективно обмінюватися інформацією і коригувати роботу системи в режимі реального часу.

Задачі блоку обміну сигналами:

1. Зчитування даних з датчиків:

- Дані з світлочувливих датчиків (GY-302) передаються на мікроконтролер ESP32 через I2C інтерфейс.
- Дані з датчика температури навколишнього середовища (DS18B20) передаються через 1-Wire інтерфейс.
- Дані з датчика температури панелі (LM35) передаються через аналоговий вхід мікроконтролера.
- Дані з нахилометра (MPU6050) передаються через I2C інтерфейс.
- Дані з анемометра (Adafruit Anemometer) передаються через цифровий або аналоговий вхід мікроконтролера.

2. Передача даних на мікроконтролер:

- Всі зчитані дані з датчиків передаються на мікроконтролер для обробки.

3. Обробка сигналів для управління сервоприводом:

- На основі отриманих даних мікроконтролер розраховує оптимальний кут нахилу сонячної панелі і передає сигнал на сервопривід MG996R.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Блок режимів

Блок режимів визначає, в якому режимі працює система (автоматичний або ручний), і відповідно коригує її роботу.

Задачі блоку режимів:

1. Перемикач режимів:

- Використовується перемикач KCD1-101 для вибору між автоматичним і ручним режимами роботи системи.

2. Автоматичний режим:

- Система автоматично коригує кут нахилу сонячної панелі на основі даних з фоторезисторів (GY-302) та інших датчиків.
- Виконується розрахунок оптимального кута нахилу панелі і передача сигналу на сервопривід MG996R для його коригування.

3. Ручний режим:

- Користувач може вручну керувати положенням панелі за допомогою потенціометра B10K.
- Встановлення кута нахилу панелі відповідно до значення потенціометра.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклади коду для блоку обміну сигналами та блоку режимів

Блок обміну сигналами

доступ надається за зверненням до авторів

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Блок режимів

доступ надається за зверненням до авторів

					<i>ДНБ ІІМ-301.000.000 ІЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

3.7 Висновки до розділу

1. Проведено розрахунки базових рівнянь для визначення положення Сонця, включаючи сонячний час, кут годин, деклінацію та азимут Сонця. Ці розрахунки дозволили встановити точне положення Сонця для оптимального налаштування кута нахилу сонячної панелі в місті Южноукраїнськ, Миколаївської області, Україна.
2. Виконано розрахунки кількості електроенергії, яку може генерувати сонячна панель, виходячи з площі панелі, середньої інсоляції та коефіцієнта продуктивності системи. Встановлено, що сонячна панель з площею 1.5 м² може генерувати приблизно 5.0625 кВт·год електроенергії на день.
3. Обчислено ефективність сонячної панелі, яка становить приблизно 14.07%, що є важливим показником для оцінки продуктивності системи.
4. Виконано розрахунок потужності постійного струму, яка може бути забезпечена сонячною панеллю. Встановлено, що потужність постійного струму становить приблизно 211 Вт.
5. Розроблено моделі зчитування даних з датчиків освітленості, температури, нахилу та вітру для забезпечення автоматичного та ручного керування системою. Це дозволяє системі адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та забезпечити оптимальне функціонування.
6. Реалізовано блоки обміну сигналами, які забезпечують ефективний зв'язок між компонентами системи та обробку сигналів для керування сервоприводом.
7. Розроблено блок режимів, що дозволяє перемикатися між ручним і автоматичним керуванням системою. Це забезпечує гнучкість та зручність у використанні системи керування сонячною панеллю.

В цілому, виконані розрахунки та розроблені моделі підтвердили ефективність обраної системи керування орієнтацією сонячної панелі, забезпечуючи

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

максимальне уловлювання сонячної енергії та її перетворення в електричну енергію.

					ДПБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

1. Проаналізовано структуру та функціонування систем керування орієнтацією сонячних панелей, а також роль цих систем у максимізації виробництва електроенергії. Розглянуто базові принципи роботи приладів для визначення положення Сонця.
2. Проведено аналіз літературних джерел для визначення найбільш ефективного монтажу сонячних панелей з урахуванням енергетичних та економічних факторів.
3. Визначено основний склад та конструкцію системи керування положенням сонячних панелей, включаючи вибір відповідних компонентів, таких як мікроконтролер ESP32, світлочутливі датчики GY-302, сервопривід MG996R, перемикач режимів KCD1-101, потенціометр B10K та блоки живлення.
4. Розроблено структурну схему та блок-схему роботи системи, які наочно демонструють взаємодію між компонентами та процеси керування орієнтацією сонячної панелі.
5. Розроблено модель зчитування даних з датчиків та алгоритми обробки цих даних для автоматичного та ручного керування кутом нахилу сонячної панелі.
6. Проведено розрахунки кількості електроенергії, що генерується сонячною панеллю, а також її ефективності та потужності постійного струму. Встановлено, що система з автоматичним керуванням може значно збільшити виробництво електроенергії порівняно зі статичними панелями.
7. Реалізовано блоки обміну сигналами, які забезпечують ефективну комунікацію між компонентами системи, та блок режимів, що дозволяє перемикатися між ручним і автоматичним керуванням панеллю.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Solar Tracker Wikipedia. Режим доступу до ресурсу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker
2. Solar Panel Components. Режим доступу до ресурсу:
<https://solvoltaics.com/solar-panel-components/>
3. Single Axis Trackers: Introduction And Advantages. Режим доступу до ресурсу: <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers/>
4. Dual Axis Trackers. Режим доступу до ресурсу:
<https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/dual-axis-trackers/>
5. The floating solar panels that track the Sun. Режим доступу до ресурсу:
<https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>
6. Polar solar power plants – Investigating the potential and the design challenges. Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>
7. Solar Power in the Industrial Sector. Режим доступу до ресурсу:
<https://us.solarpanelsnetwork.com/blog/solar-energy-in-industrial-and-commercial-applications/>
8. Dual-Axis Solar Trackers: More Energy per Square Foot. Режим доступу до ресурсу: <https://strackersolar.com/knowledge-base/dual-axis-solar-trackers-more-energy-per-square-foot>
9. Photovoltaic Systems Engineering" by Roger A. Messenger and Jerry Ventre, 2018. С. 150-160.
10. MG996R Servo Motor. Режим доступу до ресурсу:
<https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
11. GY-302 BH1750 Chip Light Intensity Light Module. Режим доступу до ресурсу: <http://magicduino.com/Images/ItemsMedia/File/7368.pdf>
12. Arduino. (n.d.). Servo - Arduino Reference. Режим доступу до ресурсу:
<https://www.arduino.cc/en/Reference/Servo>

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

13. Espressif Systems. (n.d.). ESP32 Series Datasheet. Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
14. SparkFun. (n.d.). MPU-6050 6-DoF Accelerometer and Gyroscope. Режим доступу до ресурсу: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/mpu-6050-hookup-guide>
15. Dallas Semiconductor. (n.d.). DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Режим доступу до ресурсу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
16. "Solar Engineering of Thermal Processes" Джона А. Даффи и Уильяма А. Бекмана, 2013. С. 1-35.
17. "Photovoltaic Systems Engineering" Рождера А. Мессенджера и Джерри Вентре, 2018. С. 27-58, 145-182.

					ДІБ ПМ-301.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66