

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

(повне найменування інституту)

Кафедра обчислювальної техніки

(повна назва кафедри)

Перш. викорис.

Довід. №

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Мікропроцесорна система позиціонування сонячної панелі»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

08-23.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи КІ-20мз
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»

_____ Парасунько. І. І.

Керівник: к.т.н., доц.каф. ОТ

_____ Тарновський М.Г.

« ____ » _____ 2022 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЗІ

_____ Дудатьєв А. В.

« ____ » _____ 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

_____ д.т.н., проф. Азаров О. Д.

« ____ » _____ 2022 р

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра Обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти II-ий (магістерський)

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
обчислювальної техніки
д.т.н., проф. Азаров О. Д.

«___» _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Парасуньку Івану Івановичу

1 Тема роботи «Мікропроцесорна система позиціонування сонячної панелі» керівник роботи Тарновський Микола Геннадійович, д.т.н., доцент затверджено наказом Вінницького національного технічного університету від «24» березня 2022 року № 65

2 Строк подання студентом роботи 13.06.2022 р.

3 Вихідні дані до роботи: призначення — забезпечення позиціонування сонячної панелі відповідно до положення сонця; режим роботи — автоматичний; вхід — оптичне випромінювання видимого та інфрачервоного діапазону спектру; вихід — електро-механічний з пусковим моментом не менше 3 кг·см; живлення — автономне.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз сучасних підходів до використання сонячної енергії. Аналіз аналогів. Визначення структурної організації системи. Модель системи відстеження позиції сонця. Розробка системи

автоматизованого позиціювання та управління сонячними батареями.
Економічна частина.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальна схема сонячної фотоелектричної системи. Структурна схема системи управління. Функціональна схема системи управління. Схема програми.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3	Тарновський М.Г. к.т.н., доцент		
4	Руда Л. П. к.е.н., доцент		

7.Дата видачі завдання _____

8 Календарний план виконання МКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання	Підпис
1	Постановка задачі		
2	Огляд існуючих рішень		
3	Розробка структурної схеми		
4	Розробка функціональної схеми		
5	Розрахунок економічної частини		
6	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу		
7	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків		
8	Підписи супроводжувальних документів у керівника, опонента, нормоконтролера		
9	Перевірка «антиплагіат»		
10	Попередній захист		

Студент _____
(підпис)

Парасунько І. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тарновський М. Г.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Парасулько І. І. Система автоматизованого позиціонування та управління сонячними батареями. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2022.

У роботі розглянуто принципи побудови системи управління позиціонуванням сонячної панелі для досягнення постійної орієнтації сонячної панелі на сонце. В роботі проведений аналіз сучасних підходів до вирішення цих задач, вибрано та проаналізовано аналоги, розглянуто модель осьової системи стеження за позицією сонця, визначено підходи до побудови удосконаленої системи управління позиціонуванням сонячної панелі, яка дозволяє забезпечити орієнтацію сонячної панелі на сонце за будь яких погодних умов при простій схемотехнічній реалізації. Розроблено структурну та функціональні схеми системи, визначено алгоритм її роботи.

Ключові слова: сонячна панель, управління сонячною панеллю, стеження за положенням сонця, сонячний трекер.

ABSTRACT

Parasunko I.I. System of automated positioning and control of solar panels. Master's thesis in the specialty 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2022.

The paper considers the principles of building a solar panel positioning control system to achieve a constant orientation of the solar panel to the sun. The analysis of modern approaches to solving these problems is carried out, analogues are selected and analyzed, the model of axial system of tracking the position of the sun is considered, approaches to construction of the improved control system of positioning of the solar panel which allows to provide orientation of the solar panel simple circuit implementation. Structural and functional schemes of the system are developed, the algorithm of its work is defined.

Key words: solar panel, solar panel control, sun position tracking, solar tracker.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	12
1.1 Аналіз сучасних підходів до використання сонячної енергії.....	12
1.2 Аналіз аналогів	19
2 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНИМИ БАТАРЕЯМИ.....	22
2.1 Аналіз загальних принципів побудови сонячної фотоелектричної системи
2.2 Модель осьової системи відстеження позиції сонця.....	24
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНИМИ БАТЕРЕЯМИ	35
3.3 Розробка функціональної схеми	42
3.4 Розробка програми для мікроконтролера.....	46
3.5 Розробка макетної плати	47
3.6 Інструкція з експлуатації апаратного засобу.....	49
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	50
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	50
4.2 Прогнозування витрат на виконання роботи	54
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	59
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності	61

22

					08-23.МКР.004.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		Парасунько І.І			Мікропроцесорна система позиціювання сонячної панелі Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевіриє</i>		Гарновський М.Г					3	80
<i>Рецензент</i>		Дудатьєв А. В.				ВНТУ, гр. 1КІ-20мз		
<i>Н.контр.</i>		Швець С. І.						
<i>Затвердж.</i>		Азаров О.Д						

ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67
ДОДАТОК А Технічне завдання	70
ДОДАТОК Б Структурна схема системи	74
ДОДАТОК В Функціональна схема системи.....	75
ДОДАТОК Г Електрична схема модуля Arduino Nano.....	76
ДОДАТОК Д Алгоритм перевірки працездатності системи	77
ДОДАТОК Е Лістинг програмного засобу	78
ДОДАТОК Ж Протокол перевірки роботи на наявність текстових запозичень	79

					08-23.МКР.004.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

ВВП – Валовий внутрішній продукт.

ДП – Дипломний проект.

ГОСТ – Державний стандарт.

ККД – Коефіцієнт корисної дії.

МК – Мікроконтролери.

AVR – Сімейство мікроконтролерів.

ВСТУП

Проблеми, пов'язані з походженням, економічністю, технічним освоєнням і способами використання різних джерел енергії, були і будуть невід'ємною частиною життя на нашій планеті. Відповідно до цього усе більше вчених та інженерів займаються пошуками нових, нетрадиційних джерел генерації енергії. Найпридатнішим, звичайно, є використання вічних, поновлюваних джерел енергії — енергії поточної води і вітру, океанських приливів і відливів, тепла земних надр, сонця.

Актуальність теми полягає в тому, що у теперішній час активне використання відновлюваних джерел енергії у багатьох розвинених країнах світу прийняте як важлива стратегія отримання необхідних ресурсів, що забезпечують перспективний розвиток економік цих країн. Відповідно до прогнозів частка відновлюваної енергетики (сонячної, вітрової, приливної, геліоенергетики і т.п.) у світовому енергоспоживанні буде щорічно зростати і до 2030 р. складе 30%, до 2050р. — 50% [1]. Однією з найголовніших проблем при використанні відновлюваних джерел енергії є їх залежність від зовнішніх умов і пов'язана з цим значна непостійність значення генерованої потужності.

Серед усіх видів відновлюваних джерел енергії сьогодні найбільшу увагу привертає до себе сонячна енергія, яка фактично є абсолютно безкоштовною та універсальною – її можна використовувати як у вигляді тепла, так і перетворити у механічну або електричну. Найбільш широке використання енергії сонячних променів пов'язане з перетворенням її в електричну енергію [2], [3]. Таке перетворення здійснюється фотоелектричними елементами і не супроводжується утворенням будь-яких залишкових елементів, які можуть забруднювати навколишнє середовище.

Поряд із цим сонячні елементи допомагають виробляти значну кількість водню, який досі було важко виробляти у значних масштабах. Це надає можливість використання водню як альтернативного джерела палива в майбутньому.

Поряд із цим економічність виробництва сонячної енергії є серйозним

недоліком. Доволі низька ефективність сонячних панелей разом з їх поки ще великою вартістю робить вартість 1 кВт/год отриманої електроенергії у 6 разів дорожчою за вартість 1 кВт/год електроенергії, отриманої традиційним способом спалювання палива. Ще одним недоліком сонячної генерації є те, що вона суттєво залежить від погодних умов і її неможливо здійснювати у нічний час.

Як показує практика, найбільша ефективність перетворення сонячної енергії в електрику досягається, коли площа сонячної панелі орієнтована перпендикулярно сонячним променям. Оскільки положення сонця на небосхилі залежить від часу доби та пори року, перпендикулярність падіння сонячних променів на панель може бути забезпечена лише відповідними технічними засобами. Основним завданням таких пристроїв забезпечення постійної орієнтації фотоелектричних панелей на сонце.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію.

Предметом дослідження є засоби управління позиціонуванням сонячних панелей.

Метою роботи є вдосконалення мікропроцесорної системи позиціонування сонячної панелі, спрямоване на спрощення її функціональної організації та зменшення вартості.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- аналіз сучасних підходів до побудови систем управління сонячними панелями;
- визначення принципів функціонування системи для забезпечення постійного позиціонування сонячної панелі на сонце;
- визначення принципів побудови мікропроцесорної системи позиціонування сонячної панелі, здатної ефективно підтримувати постійну орієнтацію сонячної панелі на сонце за будь-яких погодних умов.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовуються такі **методи дослідження**:

- системний аналіз;
- методи схемотехнічного проектування.

Наукова новизна полягає в тому, що набув подальшого розвиток метод управління позиціонуванням сонячної панелі за вирівнюванням сигналів від фотоприймачів, при якому за рахунок запам'ятовування положення панелі у визначені моменти часу отримується можливість відтворювати її орієнтування в умовах, коли не можливо здійснити управління за сигналами від фотоприймачів, наприклад, в умовах хмарності.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані підходи до побудови та функціонування системи позиціонування сонячної панелі дозволяють реалізувати орієнтацію сонячної панелі на сонце за будь-яких погодних умов за допомогою порівняно простих мікроконтролерних засобів низької вартості.

Апробація результатів роботи здійснена в доповіді на XLIX Науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету.

Матеріали роботи доповідались та опубліковувались:

Парасунько І. І. Система автоматизованого позиціонування та управління сонячними панелями / І. І. Парасунько, В.І. Роптанов, С.В. Богомолів // Тези доповіді. XLIX регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ з участю працівників науково-дослідних організацій. Вінниця 2020 р. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9367/7745>

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз сучасних підходів до використання сонячної енергії

Сонячну енергію людство використовує з давніх часів, наприклад, для сушіння харчових продуктів. У Стародавній Греції енергію Сонця використовували для освітлення, обігріву та будівництва будинків. Згодом сонячну енергію почали використовувати для нагрівання води, обігріву теплиць тощо. Сьогодні використання енергії сонця є одним з найбільш перспективних напрямів альтернативної енергетики. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі за тиждень, перевищує енергію усіх світових запасів нафти, газу, вугляр та урана [2].

Основними перевагами використання сонячної енергії є:

- загальнодоступність, невичерпність джерела;
- безпека з погляду екології та біології;
- тривалий термін служби;
- можливість застосування модульного принципу (можна збирати різні системи перетворювачів).

Поряд із цим їй притаманні такі недоліки:

- залежність від часу доби та погоди;
- необхідність акумуляції енергії;
- великі капітальні витрати;
- необхідність періодичного очищення від бруду поверхні, яка сприймає сонячні промені.

При використанні сонячної енергії, енергію сонячного випромінювання перетворюють в інші види енергії, наприклад в механічну (сонячний парус, фотонний двигун), у теплову, електричну або акумулюють її, використовуючи явище фотосинтезу в рослинах. Проте на сьогоднішній день найбільш широко використовуваними є перетворення енергії електромагнітного випромінювання Сонця у теплову та електричну енергію. Відповідно до цього найбільше поширення отримали три основні технології використання сонячної енергії:

- сонячні колектори для нагрівання рідкого або газоподібного теплоносія;
- технологія концентрованої сонячної енергії, в якій сонячне тепло використовується для одержання пари, за допомогою якої турбіни виробляють електроенергію;
- фотоелектричні технології, які дозволяють безпосередньо перетворювати сонячне випромінювання на електрику.

Серед зазначених технологій найбільш перспективними є фотоелектричні, які засновані на використанні напівпровідникових фотоперетворювачів. Розрізняють 3 покоління фотоелектричних елементів:

- 1) кристалічні (монокристалічні кремнієві; полікристалічні кремнієві);
- 2) тонко-плівкові (кремнієві-аморфні; мікрокристалічні; нанокристалічні; на основі телуриду кадмію; на основі селеніду меді-індію (галію));
- 3) органічні (полімерні) та неорганічні на основі каскадних структур.

Оскільки один сонячний елемент не виробляє достатньої кількості електроенергії, кілька таких елементів збирають у сонячні панелі. Сучасні сонячні панелі можна розділити на два типи: органічні (зазвичай панелі PEDOT) і неорганічні (на основі напівпровідникових матеріалів). Перевага органічних сонячних панелей: менша температура виготовлення, гнучкі властивості матеріалів (можуть встановлюватись на вигнуті поверхні). Проте технологія виробництва ще оптимізована і вартість панелей з урахуванням органічних матеріалів залишається високою [4].

Найбільш популярним фотоелектричними напівпровідниковими матеріалами для виготовлення неорганічних сонячних панелей є кремній (Si), фосфід індію (InP), арсенід галію (GaAs), телурид кадмію (CdTe) або селенід кадмію (CdSe) (рис. 1), які мають спектральну чутливість, відповідну довжинам хвилі сонячного випромінювання. Застосовуючи різні матеріали в багато перехідних елементах, можна поглинати більш широкий діапазон сонячного спектру, що підвищує ефективність сонячного елемента.

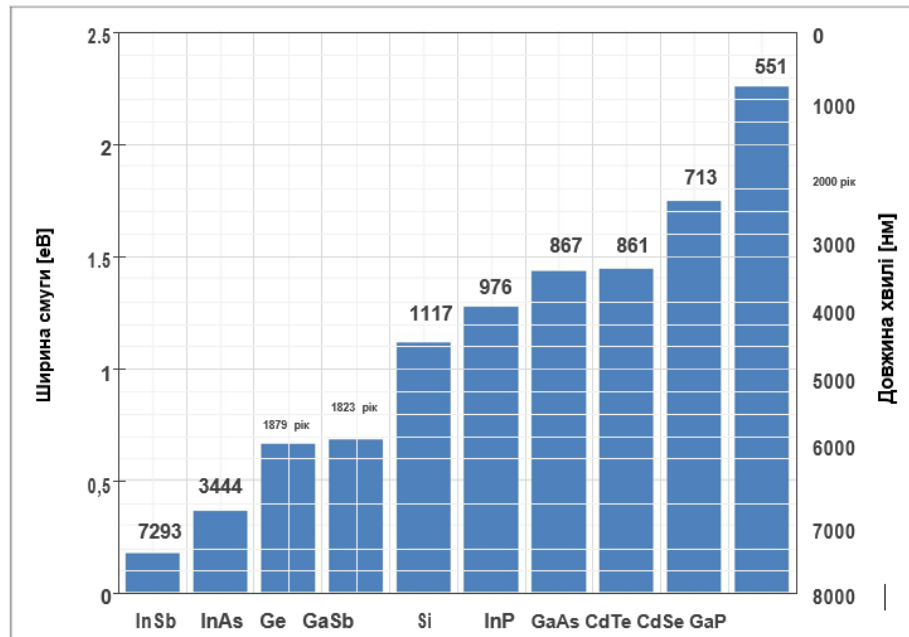


Рисунок 1 — Рівні забороненої зони типових напівпровідникових матеріалів і відповідні світлові хвилі значення довжини.

Конструктивно сонячна панель складається зі скляної плити, з тильного боку якої між двома шарами плівки, що герметизує, розміщені сонячні елементи, електрично з'єднані між собою металевими шинами. Нижній шар герметизуючої плівки захищений від зовнішніх дій захисним шаром. До внутрішньої сторони корпусу панелі прикріплено блок терміналів, під кришкою якого розміщені електричні контакти для підключення (рис. 2) [5].

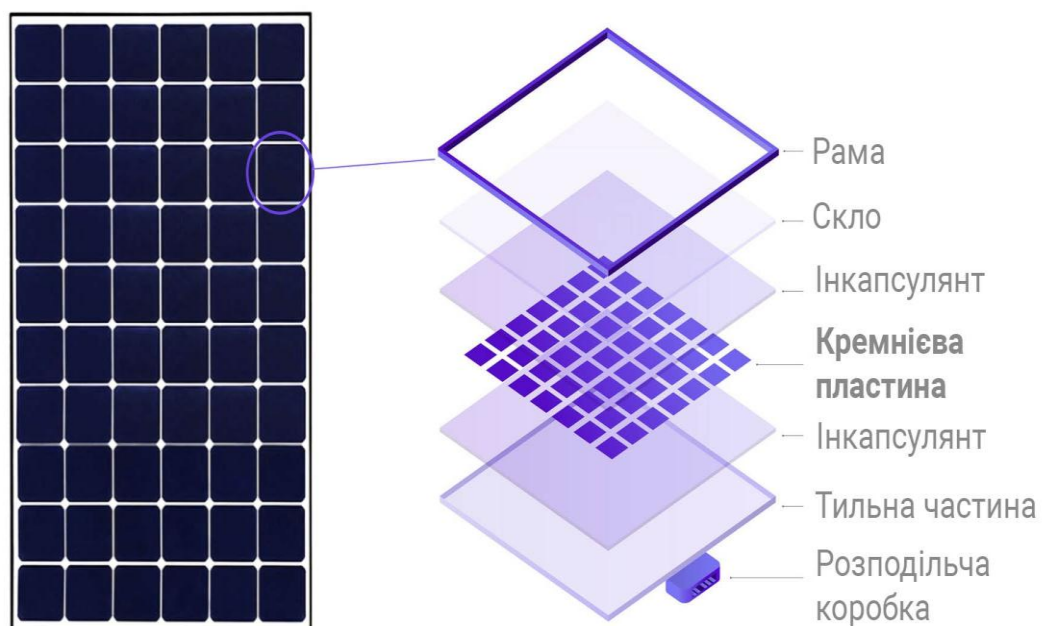


Рисунок 2 — Типова структура сонячної панелі

Герметизуючий матеріал необхідний для того, щоб забезпечити повну герметичність сонячних елементів під час роботи на відкритому повітрі. При попаданні повітря або вологи всередину сонячної панелі відбувається окислення та руйнування контактів сонячних елементів, що призводить до виходу з ладу. Як герметизуюча зазвичай застосовується етиленвінілацетатна (EVA) плівка. На жаль, вона і є одним з факторів старіння фотоелектричних панелей, оскільки з часом втрачає свою прозорість. Зараз у всьому світі ведуться роботи із заміни EVA-плівки на інші матеріали, але поки що, в основному, застосовується саме цей матеріал [6].

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, або коефіцієнт корисної дії сонячних панелей знаходиться в межах від 5 до 20% [7].

Експериментальним шляхом отримано, що максимальний ККД сонячної панелі можна отримати при попаданні прямого сонячного проміння, тобто під кутом 90° . Основи геодезичної астрономії вказують на те, що переміщення Сонця не повторює той самий шлях щодня протягом року. При цьому свій внесок вносить нахил осі обертання нашої планети під кутом $23,5^\circ$ у порівнянні з площиною обертання. Оскільки сонячні промені падають на панель під різними кутами, виникає питання вибору необхідності жорсткого монтажу зі стаціонарним кутом положення або використання активного приводу, що стежить за положенням Сонця. В останньому варіанті забезпечується постійний прямий кут падіння сонячного проміння на поверхню панелі, що надає можливість отримувати максимальний ККД панелі протягом усього світлового дня [8].

Орієнтування панелі у просторі відповідно до положення сонця здійснюється за допомогою так званого сонячного трекара. Основу трекара складає контролер, який кількома датчиками визначає оптимальне положення для сонячної батареї і змушує серводвигун повертати платформу з пристроєм у необхідний бік.

Сонячний трекара винайдений тому, що сонячна панель не дозволяє рухатися до сонячного світла, коли сонце рухається зі сходу на захід. Щоб

забезпечити максимальну вихідну потужність, сонячний трекер сконструйований з двигуном так, що сонячна панель буде рухатися до положення сонця. Щоб керувати сонячною панеллю, щоб вона завжди була звернена до сонця, схема має таймер, який відповідає руху сонця. Таймер показує час переміщення сонячної панелі за 12 годин. Він переміщує сонячну панель кожен годину. Він дає сигнал двигуну для переміщення сонячної панелі. Коли сонячна панель звернена прямо до сонця і має максимальну концентрацію сонячного світла до сонячної панелі, буде вироблятися максимальна вихідна потужність [8], [9].

Існує багато типів сонячних трекерів різної вартості, складності та продуктивності. Одним із добре відомих типів сонячних трекерів є геліостат, рухоме дзеркало, яке відбиває рухоме сонце у фіксованому місці, але також використовується багато інших підходів. Необхідна точність сонячного трекера залежить від застосування. Концентратори, особливо в застосуванні сонячних батарей, вимагають високого ступеня точності, щоб гарантувати, що концентроване сонячне світло спрямовується точно на пристрій із живленням, який знаходиться в (або поблизу) фокусної точки відбивача або лінзи.

Пристрої без концентрації вимагають меншої точності, і багато з них працюють без жодного відстеження. Однак відстеження може істотно підвищити як кількість загальної потужності, виробленої системою, так і потужність, вироблену під час критичних системних періодів (як правило, пізно вдень у жарких кліматичних умовах).

Хоча трекери не є необхідною частиною фотоелектричної системи, їх впровадження може значно покращити вихідну потужність системи, зберігаючи сонце у фокусі протягом дня. Ефективність особливо покращується в ранкові та денні години, коли нерухома панель буде стояти далеко від сонячних променів. Зазвичай фотоелектричні модулі дорогі, і в більшості випадків вартість самих модулів переважає вартість системи трекера. Крім того, добре розроблена система, яка використовує трекер, потребуватиме менше панелей через підвищення ефективності, що призведе до зниження початкових витрат на впровадження [8].

Сонячні трекери можуть бути активними або пасивними і можуть мати одну або подвійну вісь. Пасивні сонячні трекери (рис. 3) працюють за основними термогідравлічними принципами. Він складається з двох трубчастих резервуарів, прикріплених вздовж панелі фотоелектричної панелі. Принцип роботи не такий складний, як активні трекери. Коли фотоелектрична панель не вирівняна у напрямку.



Рисунок 3 — Пасивний трекер

На сонці рідина (стиснений газ із низькою температурою кипіння) всередині трубчастого бака нагрівається, що призводить до утворення нерівномірного тиску в трубці. Цей тиск дозволяє рідині переміщатися з однієї сторони трубки на іншу, викликаючи рух фотоелектричної панелі до сонця. З іншого боку, пасивні трекери менш дорогі, а також менш схильні до пошкоджень через освітлення.

Активні трекери складаються з двигуна та редуктора, який керується за допомогою контролера, який реагує на положення сонця. Оскільки вони складаються з двигунів і рухомих частин, потрібне регулярне технічне обслуговування. Але вони пропонують краще використання сонячної енергії в порівнянні з пасивними трекерами

Одноосьові сонячні трекери обертаються вздовж однієї фіксованої осі. Перші сонячні трекери були одновісними трекерами, і аналіз ефективності показує, що вони виробляють на 20 — 25% більше електроенергії в порівнянні з встановленими сонячними панелями без трекера. Одноосьові трекери зазвичай

використовують полярне кріплення для максимальної сонячної ефективності. Одновісні треки зазвичай мають ручне регулювання висоти (нахилу осі) на другій осі, яке регулюється з регулярними інтервалами протягом року.

Полярні треки (рис. 4) мають одну вісь, вирівняну, щоб бути приблизно паралельною осі обертання Землі навколо північного та південного полюсів — звідси назва полярних. Відстеження по одній осі часто використовується в поєднанні з вимірюванням часу використання, оскільки сильна продуктивність після обіду особливо бажана для фотоелектричних систем, пов'язаних з мережею, оскільки виробництво в цей час буде відповідати час пікового попиту на кондиціонування повітря в літній сезон. Фіксована система, орієнтована на оптимізацію цього обмеженого часу, матиме відносно низький річний обсяг виробництва. Полярна вісь має бути нахилена на північ, а кут між цією віссю та вертикаллю повинен дорівнювати вашій широті.



Рисунок 4 — Полярний трекер

Прості полярні треки з одновісним відстеженням також можуть мати коригування вздовж другої осі: кута схилення. Його можна налаштувати вручну або автоматично, залежно від вашого пристрою полярного відстеження.

Якщо ви взагалі не плануєте коригувати цей кут схилення протягом року, він зазвичай встановлюється на нуль градусів, розташовуючи панель прямо перпендикулярно до полярної осі, оскільки саме там знаходиться середній шлях сонця. Періодичні або безперервні коригування схилення компенсують зсув

сонця на північ і південь шлях по небу, коли він рухається через пори року (і навколо екліптики) протягом року [9].

Деякі виробники можуть постачати одноосі горизонтальні трекери, які можуть бути орієнтовані як пасивними, так і активними механізмами, залежно від виробника. У них довга горизонтальна труба спирається на підшипники, встановлені на опорах або рамах. Вісь труби знаходиться на лінії північ-південь. Панелі встановлені на трубі, і трубка буде обертатися навколо своєї осі, щоб відстежувати видимий рух сонця протягом дня.

Оскільки вони не нахиляються до екватора, вони не є особливо ефективними під час зимової середини дня (якщо вони не розташовані поблизу екватора), але додають значну кількість продуктивності протягом весняного та літнього сезонів, коли сонячний шлях знаходиться високо в небі. Ці пристрої менш ефективні у високих широтах. Основною перевагою є притаманна міцність несучої конструкції та простота механізму. Оскільки панелі горизонтальні, їх можна компактно розмістити на осьовій трубі без небезпеки самозатінення, а також легко доступні для очищення [10].

Двовісні системи мають два ступені обертання, тобто поворот по азимуту (що дозволяє панелі рухатися по коловому шляху паралельно поверхні) і горизонтальний поворот, також званий кутом місця rotation (що дозволяє панелі рухатися вгору і вниз). Двовісні системи можуть орієнтуватися на сонце, щоб панель могла безпосередньо контактувати з сонцем для максимального виробництва енергії.

1.2 Аналіз аналогів

Одним з аналогів розглядуваної системи є система стеження за сонцем ST1500 [11]. Принцип роботи системи заснований на обчисленні розташування Сонця та підстроюванні азимутального та зенітного кутів повороту робочої поверхні для орієнтації на Сонце. Вихідними даними для обчислень є точні географічні координати розміщення трекера, а також поточна дата та час. Для визначення координат та дати/часу контролер оснащений GPS приймачем.

Основні технічні характеристики система стеження за сонцем ST1500:

- об'єкт керування — сонячна панель до 2000 Вт (6шт);
- кут повороту — 180 градусів;
- площини обертання — 2 (двохосьовий трекер (рух по параболі));
- кількість двигунів¹ — (рух параболою);
- принцип роботи розрахунок положення сонця за даними GPS;
- робоча напруга — 12 В/24 В/36 В/48 В;
- споживаний струм не більше 10 мА;
- точність позиціонування по азимуту не гірша за 2°;
- точність позиціонування по куту від горизонту не гірша за 3°;
- робоча температура — від -40 до +60 °С;
- регульований напрям кутів;
- можлива комплектація датчиком вітру.

Ще одним з аналогів розглядуваної системи є двох осьовий сонячний трекер ST54M3S30w (рис. 5) з точністю поворотного приводу до 0,1 градуса і задньою структурою для 15 штук сонячних панелей розміром 0,99 м x 1,95 м і вагою до 25 кг кожна [12]. Таким чином загальна площа сонячної панелі може складати 35 м². Підходить для фотоелектричних панелей, концентраторів – CPV, геліостатів.

Основні технічні характеристики пристрою ST54M3S30w:

- кількість осей руху — 2, азимут і висота
- алгоритм астрономічного відстеження так, точність 0,5 градусів
- використання CPV (концентроване використання фотоелектричної енергії);
- годинник і дата реального часу з ВСК. БАТТ;
- інтерфейс USB або RS485 до ПК;
- налаштування через ПК;
- моніторинг через ПК;
- оновлення за допомогою ПК;

- керування та керування через ПК;
- очікуваний термін служби — 800-1500 годин роботи двигуна (двигун постійного струму заміна на 8 років, якщо кожен день один цикл), резервна батарея заміна на 3-5 років, якщо батарея працює, всі інші 25 років;
- годинний кут — азимутальний кут 350° (поворотний привід), кут підйому



Рисунок 5 — Solar Tracker 2-осьовий ST54M3S30 w

Пристрій ST54M3S30w призначений для використання в домашніх умовах: мережа на даху будинків, дорожньо-транспортна сигналізація, вуличне освітлення, котеджі, малі та великі електростанції, де сонячні панелі підключені послідовно, а вихід підключений безпосередньо до інвертора або зовнішнього зарядного пристрою. Максимальна швидкість вітру при роботі в будь-якому робочому положенні 20 м/с, виживання максимальна швидкість поривів вітру не працює (стіл не в безпечному положенні вітру 30 м/с).

2 ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

2.1 Аналіз загальних принципів побудови сонячної фотоелектричної системи

Генератор фотоелектричної енергії є важливим компонентом фотоелектричної системи, але він повинен бути пов'язаний з багатьма іншими, щоб забезпечити повне рішення, яке функціонує належним чином і надійно. PV-система складається з ряду різних компонентів і підсистем, які ретельно розроблені та разом з'єднані для забезпечення бажаного виробництва електроенергії. Типові компоненти фотоелектричної системи представлені на рис. 6.

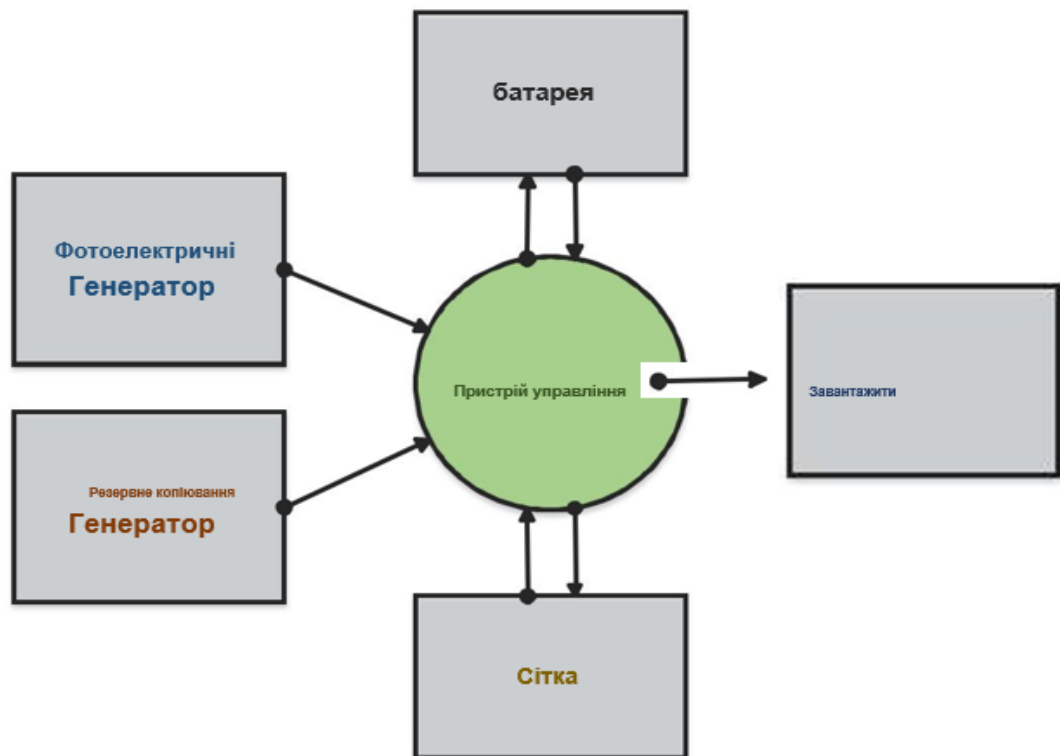


Рисунок 6 — Типові компоненти/підсистеми сонячної фотоелектричної системи

Фотоелектричний генератор є основною частиною або фотоелектричною системою. Він побудований шляхом з'єднання декількох фотоелектричних модулів у сонячні панелі, які можна додатково з'єднати між собою для створення сонячної масив для більшої вихідної потужності. Генератор підтримується

механічним модулем у фіксованому положенні або в обертанні. PV генератор перетворює енергію сонячного світла в вихідну потужність постійного струму, яку можна використовувати різними способами, залежно від застосування. У невеликих фотоелектричних системах вихід постійного струму зазвичай споживається прямим навантаженням або заряджається в акумуляторі для тривалого використання. Для ще більш важких застосувань більші фотоелектричні системи також складаються з інверторів, які забезпечують вихід однофазного або трифазного змінного струму для промислового використання або житлових мереж.

Для надійної роботи фотоелектричного генератора важливо захистити окремі фотоелементи в затінених умовах. Завдяки послідовному з'єднанню осередків затінений може виступати в якості навантаження за рахунок прямого зміщення. Отже, струм, що генерується з інших осередків, може нагріти затінений і спалити його, що призведе до збою системи. Цю проблему можна запобігти за допомогою байпасних діодів, щоб надати альтернативний шлях для PV струму, якщо деяка комірка затінена [9]. Крім того, у програмах, які використовують фотоелектричний генератор для зарядки батареї, а блокуючий діод використовується для запобігання завантаженню батареї фотоелементів, коли вони неактивні (затінений стан).

Енергія, що перетворюється з сонячного світла, змінюється весь час, тому зберігання цієї енергії зазвичай є вимогою. Хімічна батарея є популярним вибором для накопичення енергії. Для зарядки батареї фотоелектричні системи використовують регулятор заряду для найкращої продуктивності та захисту акумулятора. Захист сонячної панелі, регулювання заряду, модуль стеження за світлом та інші регулюючі модулі керуються і контролюються блоком управління, щоб забезпечити належну функціональність системи.

Усі компоненти або підсистеми фотоелектричної системи підтримуються та фізично з'єднані різними механічними компонентами. Вони спеціально розроблені, щоб відповідати вимогам застосування та адаптуватися до робочого середовища. Конкретна механічна система, як-от система відстеження, може

сильно вплинути на ефективність і продуктивність системи, оскільки може впливати на те, наскільки добре фотоелектричний генератор може поглинати енергію сонячного світла. У наступному розділі детальніше буде розглянуто важливість такого механічного модуля для продуктивності сонячних панелей.

2.2 Модель осьової системи відстеження позиції сонця

Як було зазначено у розділі 1 найкращі умови для генерації електроенергії створюються при орієнтації сонячної панелі перпендикулярно сонячному світлу. Положення сонця на небосхилі визначається двома координатами – піднесенням та азимутом. Піднесення або нахил — це кут між лінією, що з'єднує спостерігача і Сонце, та горизонтальною поверхнею. Азимут — це кут між напрямком на Сонці та напрямком на південь.

Перед математичним виведенням варто констатувати, що завданням системи відстеження сонця на осі є наведення сонячного колектора до сонця, повертаючи його навколо двох перпендикулярних осей, щоб сонячне проміння завжди було нормальним відносно поверхні колектора. За цієї обставини кути, які необхідні для переміщення сонячного колектора до цієї орієнтації від його початкової орієнтації, відомі як кути відстеження сонця. При виведенні формули відстеження сонця необхідно описати вектор положення сонця та вектор нормалі колектора в одній системі відліку координат, яка є системою колектор-центр[10].

Одиничний вектор положення Сонця зазвичай описується в системі земного центру через щоденні та річні обертальні рухи Сонця відносно Землі. Таким чином, щоб отримати формулу відстеження сонця, було б зручно використати метод перетворення координат для перетворення вектора положення Сонця з кадру з центром Землі в рамку поверхні Землі, а потім у систему з центром колектора. Описуючи вектор положення Сонця в системі колектор-центр, ми можемо розділити його на сонячний азимут і кути сонячної висоти відносно сонячного колектора, а потім можна легко визначити кількість кутів, необхідних для переміщення сонячного колектора. Вектор положення Сонця відносно центру землі Землі можна визначити, як показано на рис. 7.

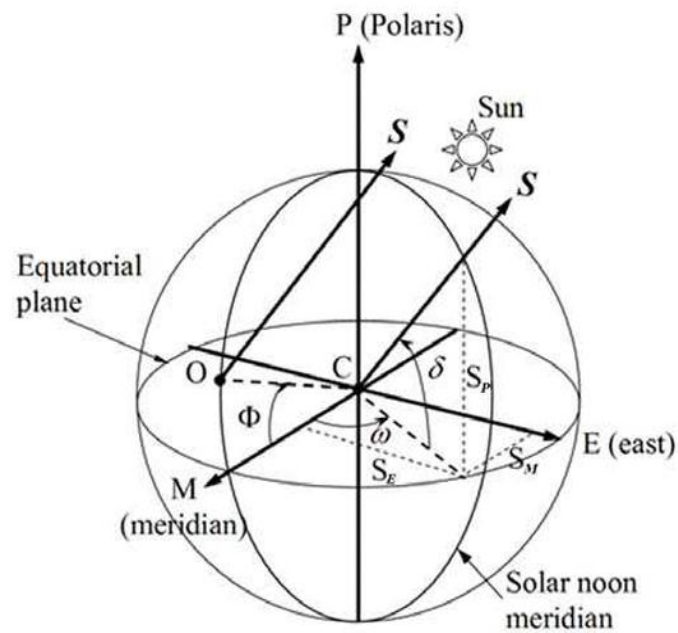


Рисунок 7 – Вектор положення Сонця відносно центру Землі.

Осі CM , CE і CP представляють три ортогональні осі від центру Землі, спрямовані до меридіану, сходу та Полярної зірки відповідно. Уніфікований вектор положення сонця в системі з центром Землі можна записати у вигляді косинусу напрямку наступним чином:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_M \\ S_E \\ S_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \omega \\ -\cos \delta \sin \omega \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

де δ — кут схилення;

ω годинний кут.

Точність кутів схилення важлива в навігації та астрономії. Однак для багатьох сонячних цілей достатньо наближення з точністю до 1 градуса. Одним з таких наближень для кута схилення є:

$$\delta = \sin^{-1}\{0.39795 \cos [0.98563 (N-173)]\} \quad (2.2)$$

де N — номер дня.

Годинний кут показує час доби по відношенню до сонячного полудня. Це кут між площинами спостерігача, що містить меридіан, і меридіаном, який стосується лінії Земля-Сонце. Опівдні він дорівнює нулю і щогодини зростає на 15° :

$$15(t_s - 12) \omega = \omega \quad (\text{degrees}) \quad (2.3)$$

де t_s — сонячний час у годинах.

Сонячний час — це 24-годинний годинник з 12:00 як точний час, коли сонце знаходиться в найвищій точці неба. Концепція сонячного часу полягає у передбаченні напрямку сонячного променя відносно точки на Землі. Сонячний час залежить від місця розташування або поздовжнього. Зазвичай він відрізняється від місцевого часу (LCT) (визначені політично часовими поясами) [11].

На рис. 8 зображена система координат у системі «земля-поверхня», яка складається з осей OZ, OE та ON, у яких вони вказують на зеніт, схід та північ відповідно. Перетворення вектора S від центральної системи до кадру поверхні землі можна отримати за допомогою кута повороту, який еквівалентний куту широти Φ .

Тепер розглянемо нову систему координат, яка визначається трьома ортогональними осями координат у системі колектор-центр, як показано на рис. 9. Для рамки колектор-центр початок координат O визначено в центрі колекторної поверхні і воно збігається з походженням каркаса земна поверхня. OV визначається як вертикальна вісь у цій системі координат і паралельна першій осі обертання сонячного колектора. Тим часом OZ називається опорною віссю, на якій один із кутів стеження β визначається відносно цієї осі. Третя ортогональна вісь, ON, називається горизонтальною віссю і вона паралельна початковому положенню другої осі обертання. Осі OR і ON утворюють площину рівня, де поверхня колектора рухається відносно цієї площини.

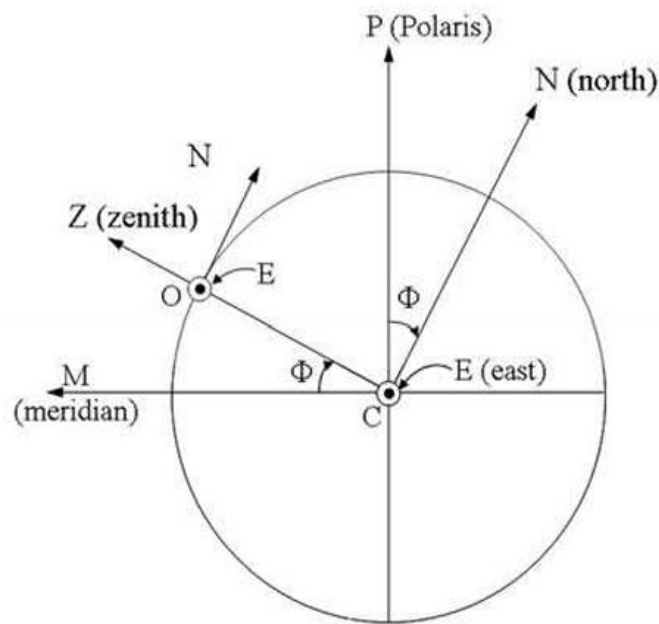


Рисунок 8 — Система координат у системі Земля-поверхня,

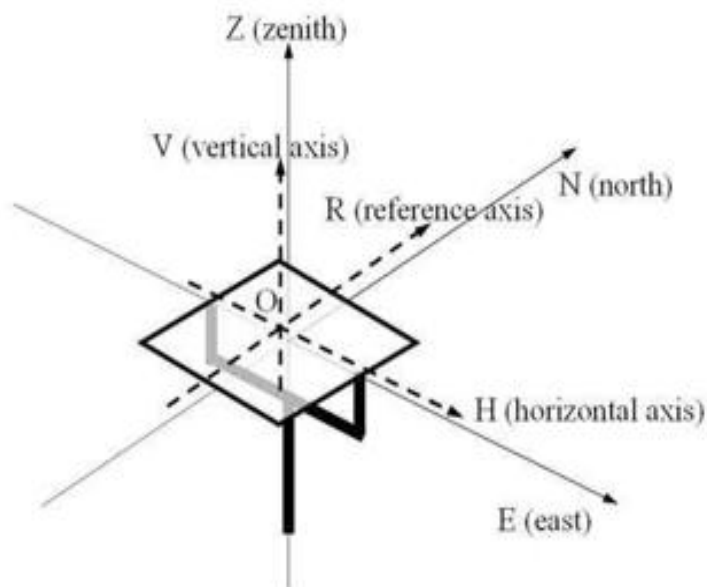


Рисунок 9 — Ідеальна азимутально-підйомна система: осі OV , OH та OR колекторно-центрної рамки паралельні осям OZ , OE та ON системи земна поверхня відповідно.

На рис. 10 також показана найпростіша конструкція сонячного колектора можна керувати двома осями обертання: перша вісь обертання, яка паралельна OV , і друга вісь обертання, відома як пунктирна лінія (вона може обертатися навколо першої осі під час відстеження сонця, але завжди має бути

перпендикулярною до першої осі). З рис. 9 θ — величина кута повороту навколо ϵ вісь, виміряна від осі OV , тоді як β — кут повороту навколо осі OV , вимірний від осі OR . Крім того, α — кут сонячної висоти в колекторно-центровій рамці, який дорівнює $\pi/2 - \theta$. У колекторно-центровій рамці положення сонця можна записати у вигляді напрямних косинусів таким чином:

$$S' = \begin{bmatrix} S_V \\ S_H \\ S_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

В ідеальній системі азимутально-підйомного підйому осі OV , OH та OR колекторно-центрової рамки паралельні осям OZ , OE та ON системи земної поверхні відповідно, як показано на рис. 11.

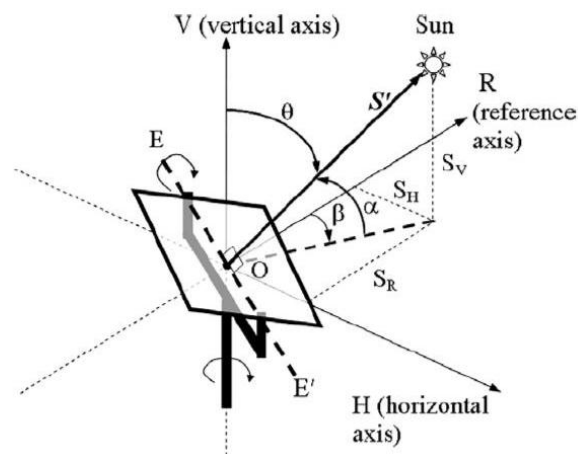


Рисунок 11 — Колекторно-центрова рамка: початок координат O визначено в центрі поверхні колектора

Щоб узагальнити математичну формулу з конкретна азимутально-висотна система для будь-якої довільно орієнтованої системи відстеження сонця, орієнтації осей OV , OH та OR будуть описані трьома нахиленими кутами щодо системи відстеження земної поверхні. Тут введено три кути нахилу, тому що двовісний механічний привід може бути довільно орієнтований щодо будь-якої з

трьох головних осей каркаса земля-поверхня:

φ — це кут повороту навколо осі зеніту, якщо два інші кути є нульовими;

λ — це кут повороту навколо північної осі, якщо два інші кути є нульовими;

ζ — це кут повороту навколо східної осі, якщо два інші кути є нульовими.

Крім того, комбінація вищезгаданих кутів може додатково генерувати більше неповторюваних орієнтацій двох осей стеження в рамці «земля-поверхня», що дуже важливо при подальшому розгляді для підвищення точності відстеження сонячного колектора.

OV визначається як вертикальна вісь у цій системі координат і паралельна першій осі обертання сонячного колектора. Тим часом OR називається віссю відліку, а третя ортогональна вісь, OH , називається горизонтальною віссю. Осі OR і OH утворюють площину рівня, де поверхня колектора рухається відносно цієї площини

Найпростіша конструкція сонячного колектора, яка може рухатися по двох осях обертання: перша вісь обертання, яка паралельна OV , і друга вісь обертання, відома як EE' пунктирна лінія (вона може обертатися навколо першої осі під час відстеження сонця, але завжди повинна залишатися перпендикулярною до першої осі). З діаграми θ — це величина кута повороту навколо EE' вісь, виміряна від осі OV , тоді як β — величина кута повороту навколо осі OV , виміряна від осі OR . Крім того, α — кут сонячної висоти в системі колектор-центр, який виражається як $\pi/2 - \theta$.

Нова загальна формула відстеження сонця по осі для різних видів довільно орієнтованих сонячних колекторів по осі була отримана з використанням методу перетворення координат і інтегрована в систему відстеження сонця по азимуту-висоті, призначену для підвищення точності відстеження. Відповідно до експериментальних результатів, незважаючи на те, що зсув на осі азимута відносно осі зеніту знаходиться в межах 0,5 градуса, отримана похибка відстеження сонця є значною, особливо для сонячного колектора, який вимагає високої концентрації сонячного світла і, зокрема, для фотоелектричних систем концентраторів із щільною матрицею (CPV)[12].

Завдяки цим результатам підтверджується, що загальна формула відстеження сонця здатна виправити помилку установки сонячного концентратора зі значним покращенням точності відстеження сонця. Насправді, існує багато рішень для підвищення точності відстеження, таких як додавання системи зворотного зв'язку із замкнутим циклом до контролера, розробка гнучкої механічної платформи, яка може мати два ступені свободи для точного регулювання азимутального валу тощо. рішення вимагають більш складної інженерної конструкції сонячного колектора, що також є складнішим і дорогим. Загальна формула відстеження сонця дозволяє сонячному концентратору на вісі точно відстежувати сонце і спрощує виготовлення та монтаж сонячного концентратора з більшим допуском щодо вирівнювання осей відстеження.

Замість використання складного методу відстеження сонця, інтегрована по осі загальна формула відстеження сонця в відкриту систему відстеження сонця — це розумний спосіб отримати досить високу точність відстеження сонця з дуже простою конструкцією та економічно вигідною. Такий підхід може значно покращити продуктивність і знизити вартість сонячних колекторів, особливо для систем високої концентрації.

2.3 Визначення структурної схеми системи

Розглядувана у даній магістерській роботі система позиціонування сонячної панелі повинна забезпечувати постійну орієнтацію сонячної панелі на сонце. Це завдання може бути вирішено кількома способами.

У першому випадку положення сонця можна відслідковувати за допомогою кількох фотоприймачів. За допомогою певних конструктивних рішень, можна забезпечити однаковий рівень їх освітленості лише при нормальному падінні сонячних променів на їх поверхню. У цьому випадку сигнали, отримувані з фотоприймачів також будуть однаковими. При зміщенні сонця відносно нормалі відбудеться розбалансування системи. Якщо нормалі до поверхонь фотоприймачів співпадають за напрямом з нормаллю до поверхні сонячної панелі, а самі фотоприймачі нерухомо з'єднанні з нею, то за рахунок усунення

розбалансування в сигналах, що формуються фотоприймачами, можна підтримувати постійну орієнтацію панелі на сонце. Основним недоліком такого рішення є неможливість роботи у похмуру погоду, при опадах та забрудненні фотоприймачів.

При другому підході система повинна з врахуванням широти та довготи місця свого розташування періодично розраховувати положення сонця у певні моменти часу доби та визначати значення азимутального та зенітного кутів. Це надасть змогу переорієнтувати панель на розрахункове положення. Такий варіант функціонування системи не залежить від зовнішніх факторів, проте є більш складним у реалізації.

У розглядуваній системі пропонується застосувати підхід, при якому основним режимом роботи буде забезпечення орієнтації сонячної панелі на сонце за допомогою фотоприймачів. При цьому система буде періодично запам'ятовувати положення панелі у певні моменти часу. При хмарній погоді, коли реєстрація прямих сонячних променів не можлива, керування орієнтацією сонячної панелі буде здійснюватися відповідно до часу доби з використанням тих даних, що були отримані при керуванні за допомогою фотоприймачів.

Виходячи з цього приходимо до структурної схеми системи, яка наведена у додатку Б. Основними структурними блоками системи є: мікроконтролер, блок фотоприймачів, блок синхронізації часу, блок сервоприводу, сенсори позиціонування та блок живлення.

Мікроконтролер є основним функціональним блоком системи, що забезпечує її роботу. Основними його завданнями є підтримка постійної орієнтації сонячної панелі, при якій забезпечується нормальне падіння променів на неї. Це завдання вирішується за допомогою фотоприймачів та механічного приводу. При відсутності можливості здійснювати управління за сигналами з фотоприймачів, для керування використовуються сигнали, отримувані від блоку синхронізації часу. Орієнтація сонячної панелі контролюється за допомогою сенсорів положення.

Блок фотоприймачів призначається для формування сигналів, за яким

мікроконтролер отримує можливість відстежувати зміну положення сонця та визначати яким чином треба змінювати орієнтацію сонячної панелі. Конструктивно блок фотоприймачів та сонячна панель нерухомо з'єднанні між собою.

При косому падінні променів не всі фотоприймачі будуть освітлені однаково. Отже і їх вихідні сигнали будуть різними. Саме ця різниця і є тим інформативним параметром для мікроконтролер, за яким його програмне забезпечення може визначити зміну положення сонця. Порівнюючи сигнали, що надходять від кожного з фотоприймачів, мікроконтролер виробляє сигнали керування, які змінюють орієнтацію сонячної панелі так, щоб вихідні сигнали фотоприймачів стали однаковими. Така орієнтація буде відповідати нормальному падінню променів на кожний з фотоприймачів, а значить і найбільш ефективній роботі сонячної панелі [13].

Керування орієнтацію сонячної панелі здійснюється мікроконтролером за допомогою блоку сервоприводу. Цей блок складається з силових перемикальних напівпровідникових елементів (драйверів) та електродвигунів. Контроль за позиціонуванням сонячної панелі здійснюється за допомогою сенсорів позиціонування. Можна обмежитися трьома сенсорами: для фіксації крайніх та середнього позицій. Проміжні позиції можна визначати за тривалістю сигналу того чи іншого сигналу управління, що прикладається до електродвигуну, коли зміна орієнтації панелі між моментами часу t_i та t_{i+1} здійснюється шляхом вирівнювання сигналів з фотоприймачів. Для зменшення енергоспоживання системою приймемо, що змін орієнтації панелі буде відбуватися раз на годину.

При вмиканні системи, яке відбувається по завершенню її монтажу або кожний раз на світанку мікроконтролер здійснює тестування сервопривода, а саме:

- поворот сервопривода до початкової позиції;
- поворот сервопривода до кінцевої позиції;
- поворот сервопривода до середньої позиції.

Після тестування система переходить до основного режиму, в якому вона

керує орієнтацією сонячної панелі з метою забезпечення прямого кута падіння сонячних променів на її поверхню. Азимутний кут повороту сонячної панелі є функцією часу. В ясну погоду він визначається безпосередньо за положенням сонця, а в хмарну — за часом доби.

Відлік добового часу здійснюється за допомогою блоку синхронізації часу. Не зважаючи на те, що мікроконтролер дозволяє здійснювати відлік часу самостійно за допомогою вбудованого таймера/лічильника, точність відліку залежать від кварцового резонатора. Частотні параметри кварцового резонатора, який забезпечує мікроконтролер тактовою частотою, характеризуються певною похибкою. Крім того, сам метод організації відліку за допомогою таймера/лічильника також має певну похибку. Протягом кожної доби похибки у відліку накопичуються, що призводить до суттєвого відхилення часу від реального. Крім того, відлік реального часу за допомогою мікроконтролера вимагає застосування засобів для корегування часу, принаймні для ініціалізації при вмиканні живлення. Використання блоку синхронізації часу дозволяє усунути усі зазначені недоліки.

Найпростішим способом точної синхронізації часу є синхронізація за сигналом GPS. GPS — протокол глобального супутникового позиціонування. GPS-система здатна забезпечити точність синхронізації в 10 наносекунд відносно значення універсального координованого часу UTC. Прийом сигналу GPS здійснюється за допомогою GPS-приймача, який забезпечує прийом сигналів зі супутників, встановлених на навколосемній орбіті. Синхронізація можлива, коли приймач зміг встановити з'єднання принаймні з трьома супутниками.

На теперішній час на ринку пропонуються GPS-приймачі різних виробників, проте усі вони, незважаючи на різні характеристики, мають спільний формат передачі даних. Крім стандартного, деякі приймачі можуть мати додатковий формат, який визначається його особливостями. Стандартним протоколом кодування інформації та передачі даних з виходу GPS-приймача є стандарт NMEA-0183, розроблений Національною асоціацією морської електроніки США (National Marine Electronics Association). Як інтерфейс між

GPS-приймачем та зовнішнім пристроєм, як правило, використовується послідовний асинхронний порт UART для підключення до мікроконтролера або інтерфейси RS232/USB/Bluetooth для підключення до персонального комп'ютера [10].

Протокол NMEA-0183 має текстовий формат, тобто при передачі повідомлень використовуються цифри, символи латинського алфавіту та символи роздільників. GPS-приймач формує такі основні повідомлення:

- GGA — фіксовані дані GPS (час, широта, довгота, висота, кількість використовуваних супутників і ін.);
- GLL — географічне положення (широта, довгота, час, якість даних);
- GSA — інформація про кількість супутників і показників точності (режим вимірювання, кількість супутників для визначення результату розрахунку позиції, точність вимірювань);
- GSV — детальна інформація про положення супутників з прив'язкою за ідентифікатором (кількість видимих супутників, їх висота і азимут, відношення сигнал / шум);
- RMC — рекомендована мінімальна інформація GPS (час, широта, довгота, висота, системний статус, швидкість, курс, дата);
- VTG — вектор швидкості (із зазначенням курсу і величини швидкості);
- ZDA — дата, локальне час і всесвітній координований час UTC.

Для задач розглядуваної системи достатньо використовувати лише RMC повідомлення.

Вироблена за допомогою сонячних батарей енергія частково використовується для живлення системи. Оскільки сонячне випромінювання не є стабільним у часі, до складу системи введений блок живлення на основі стабілізатора та акумулятора. За своєю суттю він являє собою джерело постійної напруги безперервної дії. У нормальному режимі напруга, що формується цим блоком, використовується для живлення усіх компонентів системи та для підзарядження акумуляторних батарей.

3 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ

3.1 Аналіз можливої реалізації структурних блоків та вибір елементної бази

Вибір елементної бази розпочнемо з вибору мікроконтролера. Оскільки функціонування розглядуваної системи буде проходити у реальному часі і не передбачає складних обчислень, для його побудови достатньо використати 8-ми бітний мікроконтролер з RISC архітектурою. Це обумовлено тим, що продуктивності сучасних восьмибітних RISC-мікроконтролерів, у яких переважна більшість команд виконується лише за один такт, буде достатньо для підтримання усіх функцій, що повинні виконуватися розроблюваною системою [14].

Основна концепція RISC-архітектури полягає у скорочений набір команд, більшість з яких виконується за один машинний такт, та відмова від архітектури з регістром-акумулятором на користь регістрового, де кожен регістр "сам собі акумулятор". До традиційних застосувань RISC-мікроконтролерів є телекомунікації, системи збору даних, системи охорони, автоелектроніка, системи відображення інформації і т.д. Популяризації 8-розрядних RISC-мікроконтролерів сприяє і оптимальне співвідношення пропонованої продуктивності та ціни [15], [16].

Сьогодні найбільш популярним сімейством серед 8-ми бітних RISC-мікроконтролерів є сімейство AVR. Ядро AVR-мікроконтролерів складає потужний гарвардський RISC-процесор з роздільним доступом до пам'яті програм і даних і розвинутою системою команд фіксованої 16-бітної довжини. До складу базової архітектури AVR входять: тридцять два регістра загального призначення, кожний з яких може працювати як регістр-акумулятор, 8-ми та 16-ти розрядні таймери-лічильники з підтримкою режиму широтно-імпульсної модуляції, аналоговий компаратор, асинхронний та синхронний послідовні приймачі/передавачі UART та SPI, сторожовий таймер та модуль скидання по вмиканню живлення. Усе це перетворює AVR-мікроконтролери в потужний засіб

для реалізації сучасних, високопродуктивних і економічних пристроїв різного призначення [17].

Усі AVR мають Flash-пам'ять програм та енергонезалежну пам'ять даних EEPROM. Пам'ять програм використовується для збереження програмних інструкцій, що забезпечують функціонування мікроконтролер. Технологія Flash-пам'яті надає можливість багатократного перепрограмування. Гарантована кількість циклів перезапису — не менше 10 тис (типове значення 100 тис.). В залежності від типу мікроконтролера об'єм пам'яті може бути від 1 до 256 КБайт.

Енергонезалежна пам'ять даних EEPROM може використовуватися для довготривалого зберігання даних, які можуть змінюватися в процесі роботи мікроконтролерної системи. Дані, що зберігаються в EEPROM, є програмно доступним, а тому пам'ять даних EEPROM є зручною для зберігання різних констант, серійних номерів, ключів і т.п. Об'єм пам'яті в залежності від типу мікроконтролера може складати від 64 Байт до 4 КБайт, Кількість циклів стирання/запис — не менше 100 тис.

Оперативна пам'ять даних мікроконтролерів AVR є статичним ОЗП, має байтовий формат і використовується для оперативного зберігання даних. Розмір оперативної пам'яті в залежності від мікроконтролера може бути від 64 Байт до 4 КБайт. Число циклів читання і запису в RAM не обмежена.

Кожна лінія портів введення/виведення може бути індивідуально запрограмована на вхід або на вихід. Навантажувальна здатність складає 20 мА на лінію порту (втікаючий струм) при максимальному значенні 40 мА, що дозволяє безпосередньо керувати світлодіодами та біполярними транзисторами. Загальна струмова навантаженість на всі лінії одного порту не повинна перевищувати 80 мА.

Для отримання можливості аналізувати та порівнювати сигнали з виходів фотоприймачів необхідно буде реалізувати операцію аналого-цифрового перетворення. Тому одним з основних критеріїв при виборі мікроконтролера є наявність вбудованого у нього аналого-цифрового перетворювача. Іншими критеріями може бути співвідношення між функціональними можливостями та

вартістю, а також поширеність на ринку. Серед мікроконтролерів AVR будемо зазначеним критеріям у повній мірі задовольняє мікроконтролер Atmega328P-PU (рис. 12).

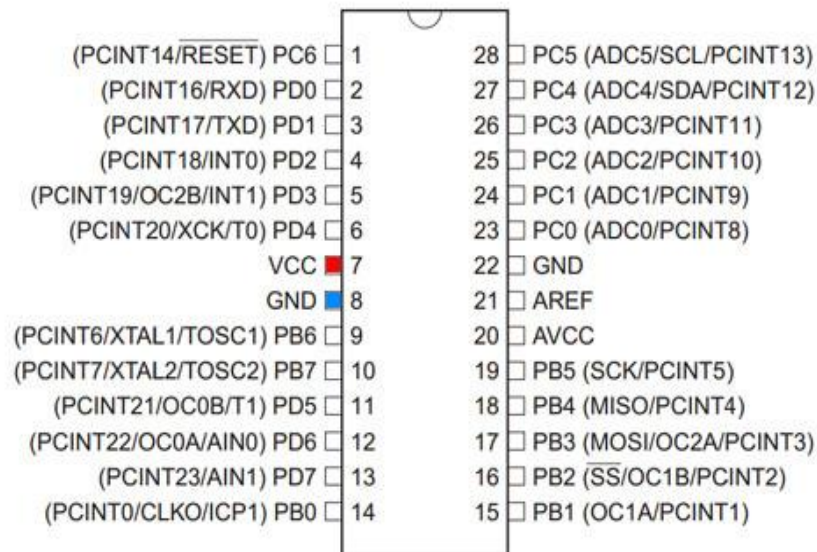


Рисунок 12 — Мікроконтролер ATmega328P-PU

На користь його вибору говорить і той факт, що на ринку пропонується готовий модуль Arduino Nano на базі цього мікроконтролера (рис. 13). Arduino Nano є повнофункціональним мініатюрним пристроєм на базі мікроконтролера ATmega328, який крім самого мікроконтролера містить інші компоненти, необхідні для його функціонування.



Рисунок 13 — Модуль Arduino Nano

Основні параметри мікроконтролера Atmega328P-PU наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Основні параметри мікропроцесора Atmega328P-PU

Назва параметру	Кількісне значення
Ядро	AVR
Робочий діапазон частот	0 – 20, МГц
Об'єм Flash пам'яті	32, Кбайт
Об'єм оперативної пам'яті	2, Кбайт
Об'єм пам'яті даних	1, Кбайт
Кількість 8-бітних таймерів	2, шт
Кількість 16-бітних таймерів	1, шт
Кількість каналів ШІМ	6, шт
Часи реального часу	Так
Універсальний асинхронний інтерфейс	1, шт
Послідовний периферичний інтерфейс	1, шт
Універсальний двохпровідний послідовний інтерфейс	1, шт
Кількість розрядів АЦП	10, біт
Кількість каналів АЦП	8, шт
Частота вибірок АЦП	76,9 тис. / с
Кількість аналогових компараторів	2, шт
Максимальна кількість ліній вводу/виводу	23, шт
Діапазон напруг	1.8 – 5.5, В
Струм	40, мА
Діапазон робочої температури	-40 – 85, °С

Як фотоприймач можна використати фоторезистор або фотодіод. Принцип дії фоторезистора заснований на явищі фотопровідності, тобто він є резистором опір якого залежить від значення світлового потоку, що потрапляє на нього. Основними перевагами фото резисторів є лінійність їх вольт-амперної та люкс-амперної характеристик, простота схемо технічного використання, мала вартість.

Головними недоліками фоторезисторів є доволі велика інерційність та залежність їх характеристик від температури [18].

На відміну від фоторезистора, що будується з напівпровіднику одного типу провідності, в основі фотодіода лежить напівпровідникова структура з р-n-переходом. При потраплянні оптичного випромінювання на фотодіод у ньому відбувається генерація електронно-діркових пар, які розділяються електричним полем р-n-переходу незрівноважені носії заряду. У результаті дірки рухаються в один бік, а електрони в інший. Внаслідок цього утворюється електричний струм, напрям якого збігається за напрямом зі зворотним струмом р-n-переходу.

Фотодіод може використовуватися у двох режимах: фотодіодному і вентильному. У фотодіодному режимі фотодіод використовується залежність зворотного струму фотодіода від оптичного випромінювання. При такому використанні фотодіод вмикається в електричне коло так, що до нього прикладається зворотна напруга. У вентильному режимі або, як його ще називають, режимі фото-ЕРС, фотодіод використовується як джерело напруги або струму [18].

Оскільки для розроблюваної системи параметри чутливості та швидкодії не мають особливого значення, а головним є лінійність перетворення світлового потоку в електричний сигнал, фотоприймач будемо реалізовувати на фоторезисторі. Основним критерієм при виборі фоторезистора є чутливість в оптичному діапазоні видимого спектра.

Наступним елементом системи є блок сервоприводів. Сервопривід є пристроєм, що конструктивно об'єднує електродвигун, редуктор, датчик та блок керування. Редуктор складається з шестерень, що забезпечують перетворення крутного моменту та знижують швидкості обертання вихідного валу. За допомогою датчика блок керування контролює положення вихідного валу. Блок керування забезпечує вмикання електродвигуна на такий проміжок часу, щоб його вал повернувся на заданий кут.

Принцип дії сервоприводу заснований на використанні імпульсного сигналу, що має три важливі характеристики — частоту повторення, мінімальну

та максимальну тривалість. Саме тривалість імпульсу визначає кут повороту двигуна.

Імпульсні сигнали, які отримують сервопривод, мають стандартну частоту, проте їх тривалість в залежності від моделі може становити від 0,8 до 2,2 мс. Паралельно з надходженням вхідного імпульсу управління активується робота генератора опорного імпульсу, який зв'язаний з датчиком. Блок керування на основі різниці між тривалістю вхідного та опорного імпульсів визначає різницю між очікуваним (заданим) положенням валу та реальним (вимірним за допомогою датчика). Потім проводиться коригування шляхом подачі напруги живлення двигуна.

Як сервопривід вибираємо сервопривід Futaba S3003, основні характеристики якого наведені у табл. 3.2 [19].

Таблиця 3.2 — Основні технічні характеристики сервоприводу Futaba S3003

Параметр	Значення
Швидкість обертання	60 градусів/(0.23-0.19) сек.(4.8 - 6 В)
Пусковий момент	3.2 - 4.1 кг·см (4.8 - 6 В)
Робоча напруга	4.8 - 6 В
Габаритні розміри	40.3мм x 20мм x 44.1мм

Для реалізації GPS-приймача скористаємося готовими модулями, що зменшить навантаження на мікроконтролер та дозволить спростити розробку. Серед GPS-приймачів сьогодні найбільшою популярністю серед розробників користується модуль GPS приймача GY-NEO6MV2 з активною антеною [20].

Модуль GY-GPS6MV2 побудований на мікросхеми Ublox NEO-6M, містить вбудовану пам'ять та резервну батарею для збереження налаштувань. Модуль також комплектується активною антеною. Для підключення до мікроконтролерів використовується інтерфейс UART. Зовнішній вигляд модуля GY-GPS6MV2 наведений на рис. 14, а його основні технічні характеристики в табл. 3.3.

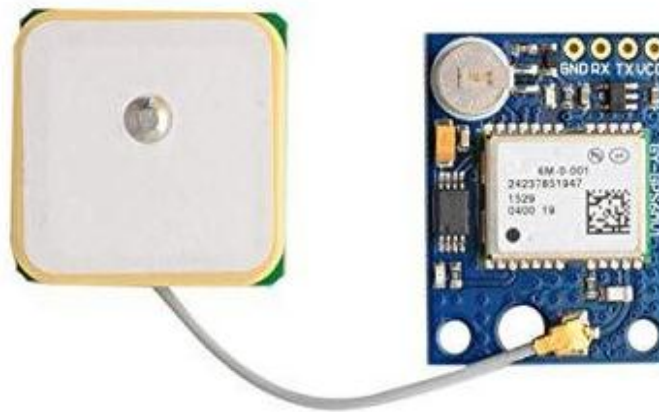


Рисунок 14 — Модуль GPS приймача GY-NEO6MV2

Обмін даними з модулем GY-NEO6MV2 здійснюється за протоколом NMEA 0183. Відповідно стандарту NMEA всі повідомлення починаються з символу "\$" і закінчуються спецсимволами <CR> — повернення каретки (шістнадцяткове значення 0x0D) і <LF> — переведення рядка (шістнадцяткове значення 0x0A). Перші два символи після "\$" є ідентифікатором системи, наступні три символи — ідентифікатор повідомлення, наприклад \$GPZDA, де GP — глобальна система позиціонування, ZDA — означає, що повідомлення містить інформацію про дату по UTC і локальний часовий пояс.

Таблиця 3.1 — Основні технічні характеристики GPS модуля GY-NEO6MV2

Параметр	Значення
Чутливості відстеження	-162 дБ
Частота оновлення розташування	5 Гц
Напруга живлення	3-5 В
Вихідний інтерфейс	UART
Швидкість обміну даними за замовченням	9600 бод
Підтримуваний протокол	NMEA 0183,

Після ідентифікатора повідомлення слідує поля, що містять значення

параметрів, в кінці повідомлення після символу "*" знаходиться контрольна сума. Поля розділяються комами, деякі значення в полях можуть бути відсутніми, при цьому коми в повідомленні не видаляються. Залежно від кількості видимих супутників, модуль кожену секунду видає від 6 до 8 повідомлень.

3.3 Розробка функціональної схеми

За структурною схемою позиціонування сонячної розробляємо її функціональну схему. Розроблена функціональна схема системи управління сонячною батареєю наведена у додатку В.

Основним елементом системи є мікроконтролерний модуль Arduino Nano. Головним елементом модуля є мікроконтролер Atmega328P-PU, що працює на тактовій частоті 16 МГц. Крім мікроконтролера модуль містить ряд додаткових компонентів, що забезпечують його функціонування. Основними з них є кварцовий резонатор та лінійний регулятор напруги.

Мікроконтролерний модуль забезпечує функціонування системи, яке відбувається під управлінням програми, що записана до FLASH пам'яті програм мікроконтролера. Головним завданням програми є забезпечення постійної орієнтації сонячної панелі на сонце таким чином, щоб світлові промені падали на сонячну панель під прямим кутом. У сонячну погоду це забезпечується за допомогою сигналів, що отримуються з фоторезисторів R1 та R3.

Кожну годину програмне забезпечення мікроконтролера аналізує сигнали, що формуються фоторезисторами, і здійснює відповідні кроки для зміни орієнтації модуля фоторезисторів так, щоб сигнали з фоторезисторів стали рівними. При цьому програмне забезпечення запам'ятовує визначене таким чином положення. При зміні орієнтації панелі програма генерує певні сигнали керування. Таким чином, кожна нова позиціонування сонячної панелі визначається параметрами сигналу керування, які забезпечили це позиціонування у порівнянні з попереднім. Відповідно до цього, програма мікроконтролера кожену годину запам'ятовує параметри сигналів керування, які генеруються нею у даний момент часу. У хмарну погоду, коли прямі сонячні промені відсутні, програма кожену годину

відтворює нове позиціонування панелі за даними, що були збережені при прямому управлінні за положенням сонця. Крайнє початкове позиціонування, від якого починається відлік послідовності необхідних кроків, визначається за допомогою сенсорів позицій.

Сигнали, за якими визначається рівень освітленості фото резисторів, формуються резистивними подільниками напруги R1R2 та R3R4. Ці сигнали надходять на входи A0 та A1 модуля Arduino Nano, які електрично зв'язані з лініями введення/виведення PC0 та PC1 мікроконтролера Atmega328P-PU, альтернативною функцією яких є входи ADC0 та ADC1 вбудованого в мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача.

При, наприклад, збільшення рівня освітленості фоторезистора, його опір зменшується, у результаті чого напруга на лініях PC0 та PC1 збільшується. За допомогою аналого-цифрового перетворювача ця напруга перетворюється у цифровий код, що дозволяє програмі здійснювати відповідне управління.

Відлік часу доби ведеться за допомогою GPS модуля. Після синхронізації прийомні з трьома супутниками GPS модуль щосекунди формує пакети даних, в яких міститься інформація про значення точного часу. Дані передаються по послідовному асинхронному каналу зв'язку. Інтерфейс GPS модуля з Arduino Nano утворюється підключенням до ліній D0 та D1, які з'єднані з лініями введення/виведення PD0 та PD1 мікроконтролера, альтернативною функцією яких є лінії RxD та TxD відповідно вхідних та вихідних послідовних даних вбудованого в мікроконтролер універсального асинхронного приймача/передавача UART.

Керування сервоприводом відбувається через лінію PB1 мікроконтролера. До складу сервоприводу входять три основні елементи: двигун, датчик положення та електрична схема управління. У більшості випадків датчиком є потенціомер, зв'язаний з вихідним валом, та вимірює кут положення вихідного валу. Але можуть бути використані інші датчики. Вхідний сигнал для сервоприводу є необхідний кут вихідного валу. Електрична схема управління, подаючи на електродвигун необхідну напругу, забезпечує обертання вихідного

валу до заданого положення, використовуючи датчик кута як зворотний зв'язок. Таким чином, подаючи на сервопривід вхідний сигнал із заданим положенням вихідного валу, сервопривід повертатиме вихідний вал в це положення.

Сигналом управління сервоприводом є імпульсний сигнал прямокутної форми. Часова діаграма сигналу представлена на рис. 15. Період повторення імпульсів становить 20 мс. Довжина імпульсу відповідає заданому куту повороту валу сервоприводу. Імпульс 1 мс відповідає крайньому лівому положенню, 2 мс — крайньому правому, 1,5 мс відповідає середньому положенню. Отже при управлінні сервоприводом використовується принцип шіроотно-імпульсної модуляції (ШИМ).

Таким чином для зміни положення валу сервоприводу мікроконтролер повинен на його вході керування сформувати імпульсний сигнал періодом 20 мс та тривалістю від 1 мс до 2 мс. Саме значення тривалості імпульсів визначаються і запам'ятовуються програмою мікроконтролера при зміні позиціонування сонячної панелі при управлінні нею за сигналами від фотоприймачів (пряме управління за положенням сонця).

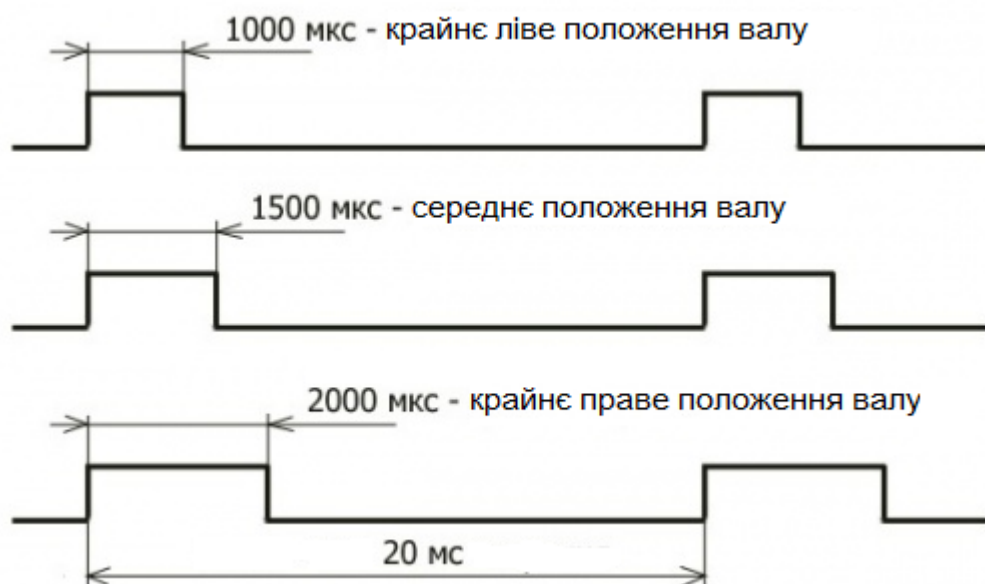


Рисунок 15 — Часові діаграми керування сервоприводом

Контролер заряду автоматично регулює рівень струму та напруги від сонячної панелі для забезпечення заряду акумуляторних батарей, таким чином

оберегаючи акумулятори від пошкоджень. Контролери заряду в основному бувають трьох типів: on/off контролер, PWM (ШІМ) контролери та MPPT (ТММ) контролери.

Контролер заряду on/off типу виконує функцію відключення акумуляторів від джерела при досягненні певної напруги. Такий тип контролерів на сьогоднішній день практично не використовується. Це найпростіша альтернатива ручному контролю заряду акумуляторів.

PWM або ШІМ контролер є більш просунутим варіантом для заряду акумуляторів, оскільки в автоматичному режимі контролює рівень струму і напруги, а також стежить за настанням максимуму напруги. Після того, як максимум напруги досягнуто, ШІМ контролер утримує його деякий час для стабілізації акумулятора та досягнення максимальної ємності. Як правило, такі контролери коштують недорого і можуть задовольнити простим сонячним системам.

Контролери MPPT (ТММ) є найсучаснішим рішенням для сонячних електростанцій. Сонячні панелі найбільш ефективно виробляють електричну потужність при строго визначених значеннях струму та напруги. Цей режим називається Точкою Максимальної Потужності (ТММ). MPPT контролер дозволяє відстежувати цю точку і може найефективніше використовувати енергію сонячних батарей, що у свою чергу збільшує швидкість заряду акумуляторів. Такі контролери можуть на 30-40% ефективніше заряджати акумулятори (банк акумуляторів), тому для резервних та автономних сонячних електростанцій найбільш вигідним стає використання саме таких контролерів не дивлячись на їх більш високу вартість у порівнянні з ШІМ контролерами.

Живлення мікроконтролерного модуля, фоторезисторів та сервопривіду завжди відбувається від акумулятора. Перетворення напруги на виході акумулятора у стабілізовану напругу +5В, яка використовується для живлення електричної схеми, забезпечується за допомогою лінійного стабілізатора напруги. Ця сама напруга використовується як опорна напруга AREF для вбудованого в мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача.

3.4 Розробка програми для мікроконтролера

Основним функціональним елементом схеми є мікроконтролер. Він виконує роботу по прийманню сигналу від фоторезисторів та керування сервоприводом. На даному етапі розробляється алгоритм мікроконтролера.

Робота системи починається з оголошення бібліотек, призначення пінів та констант.

Далі виконується режим тестування сервопривода. Цей режим виконується тільки один раз при подачі напруги, далі пристрій буде працювати в основному режимі.

В основному режимі мікроконтролер зчитує інформацію з фоторезисторів та контролює положення сонячних батарей через сервопривід. Якщо на один із фоторезисторів попадає більше світла, то мікроконтролер подає сигнал на сервопривід та повертає в сонячні батареї в бік де більше світла.

Наступним етапом розробки трекара на сонячних батареях є складання програми для мікроконтролера в інтегрованому середовищі розробки Arduino.

Це багатоплатформовий додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату. Середовище розробки засноване на мові програмування Processing та спроектована для програмування новачками, не знайомими близько з розробкою програмного забезпечення. Мова програмування аналогічна мові Wiring. Строго кажучи, це C++, доповнений деякими бібліотеками. Програми обробляються за допомогою препроцесора, а потім компілюється за допомогою AVR-GCC.

Розробка програми здійснюється на основі аналізу алгоритму, зображеного у графічній частині на кресленні.

У початковій секції програми описуються бібліотеки (в нашому випадку `servo.h`), визначаються піни і константи.

В наступній частині коду використання функцій `Setup ()`. Ця функція виконується тільки один раз при запуску програми. Тут виконується тестування сервопривода по всій траєкторії до лімітів.

Фінальна частина коду виконується в циклічній функції loop (). Тут зчитуються значення з датчиків, проводяться всі розрахунки і видаються команди на сервопривід.

Також, в програмі використовується допоміжна функція getTravel (), яка використовується для обчислення, куди повертати серво — вліво, вправо або взагалі нічого не робити. Функція просто повертає значення: 0 — нічого не відбувається, -1 поворот вліво, +1 поворот право.

Для запобігання надмірного повороту платформи присутні програмні ліміти повороту. Також, в кодї програми передбачена константа deadband, при різниці з датчиків менше значення цієї константи, контролер не даватиме команду на поворот серводвигуна. Т.ч. запобігає смикання платформи.

Також, на всякий випадок додано 2 змінні дозволяють згладити значення від датчиків. Це допомагає відфільтрувати "викиди" і шум.

3.5 Розробка макетної плати

Макетна плата — універсальна друкована плата для складання та моделювання прототипів електронних пристроїв. Макетні плати поділяються на два типи: для монтажу за допомогою пайки (рис. 16) і без неї (рис. 17).

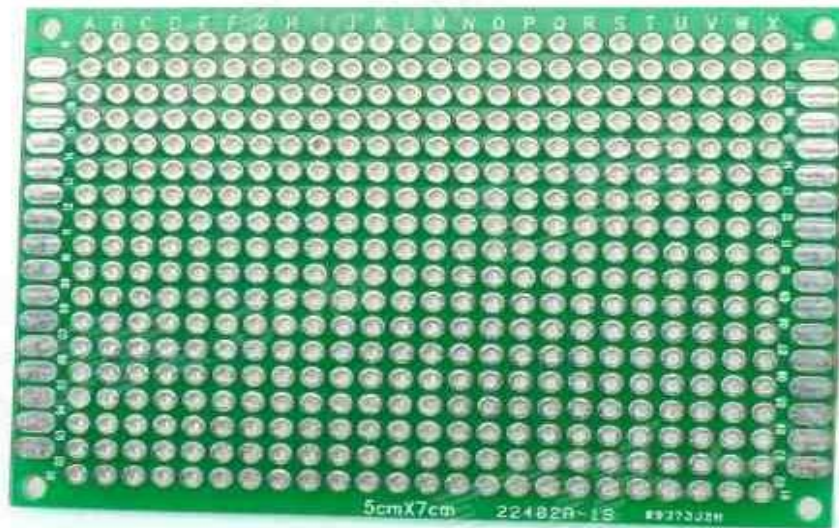


Рисунок 17 — Макетна плата зі пайкою

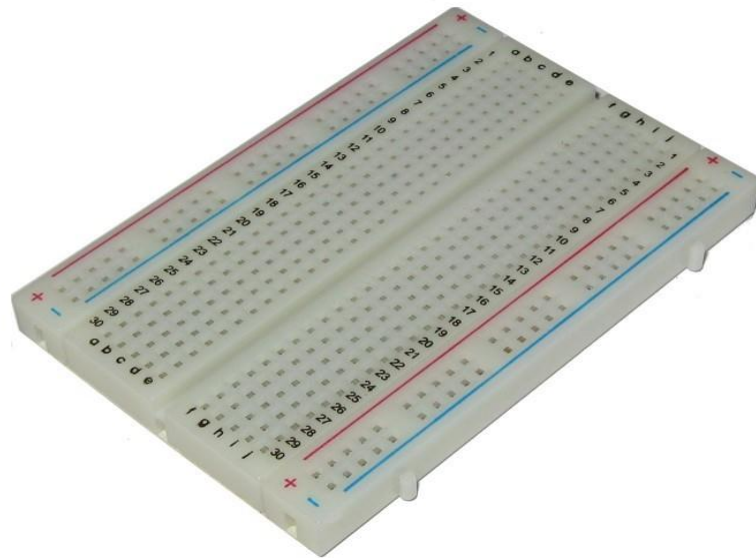


Рисунок 18 — Макетна плата без пайки

У трекері на сонячній батареї використано макетну плату з пайкою.

Подібні плати можуть бути самих різних розмірів і форм. Втім, всі вони без винятку розробляються таким чином, щоб на них було зручно збирати проекти на основі інтегральних мікросхем і інших сучасних радіоелементів. Якщо говорити більш конкретно, то подібна сумісність передбачає, перш за все, що відстань між отворами складає 0,1 дюйма (близько 2,5 мм).

Макетні плати згодяться тоді, коли потрібно швидко зібрати готову фіксовану схему, але не хочеться самому проходити досить трудомісткий процес власноручного виготовлення друкованої плати. Один з найпростіших способів швидко почати роботу над моделлю схеми полягає в з'єднанні радіодеталей шляхом скручування виводів і провідників. Якщо ж макетна плата має контактні площадки і доріжки, то можна паяти радіоелементи прямо на них.

Макетна плата виявилась дуже зручною і при побудові постійних схем, а не тільки моделей. Трапляється, що структура готового макету ідеально задовольняє всім вимогам до топології друкованої плати. Використовуючи зручне розташування контактів по кілька штук поруч, можна швидко і легко з'єднати компоненти між собою.

Макетні плати використовуються так же само як і друковані плати. Після попереднього очищення поверхні плати від пилу і забруднень (щоб мідні

майданчики сяяли на сонці) досить вставити виводи компонентів в потрібні отвори і спаяти їх. Після цього залишається з'єднати радіодеталі ізольованими проводами.

3.6 Інструкція з експлуатації апаратного засобу

Інструкція з експлуатації — документ, у якому викладено відомості, необхідні для правильної експлуатації (використання, транспортування, зберігання і технічного обслуговування) виробу (установки) та підтримання його (її) в постійній готовності до дії.

Для користування системою необхідно ознайомитись із даною інструкцією, яка буде корисна користувачу.

Умови експлуатації:

- оберігати пристрій від дії високої температури і підвищеної вологості повітря, температура не повинна перевищувати 55°C, а вологість повітря 80%;
- не допускати впливу на пристрій будь-якої рідини;
- падіння з висоти може призвести до виходу з ладу пристрою;
- потрапляння в систему металевих речей може спричинити коротке замикання, що призведе до часткового або повного виходу пристрою з ладу;
- для очищення сонячної батареї, а також всього пристрою, від пилу можна використовувати м'яку та суху тканину.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, а саме, мікропроцесорної системи позиціонування сонячної панелі, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Проведення технологічного аудиту здійснюється за допомогою експертного методу. Для цього залучено 2-х незалежних експертів.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ю критеріями, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
1	2	3	4	5	6
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче з ціни аналогів

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 4.1

10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Експерти	
	1	2
	Бали, виставлені експертами:	
1	4	4
2	2	4
3	3	2
4	4	4
5	4	4
6	3	2
7	3	4
8	4	3
9	2	2
10	4	3
11	3	4
12	2	1
Сума балів	СБ1 = 38	СБ2 = 37
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{38+37}{2} = 37,5$	

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Згідно результатів оцінювання комерційного потенціалу розробки, що наведено в таблиці 5.2, середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів складає 37,5. Використовуючи дані таблиці 5.3 можна зробити висновок, що рівень потенціалу розробки — вище середнього.

4.2 Прогнозування витрат на виконання роботи

Прогнозування витрат на розробку мікропроцесорної системи передбачає: розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даної роботи; розрахунок загальних витрат на виконання роботи та прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів даної роботи.

Розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи, можна здійснити за такими статтями та формулами:

1. Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_o , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2022 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (6500...13000) грн. за місяць;

T_p — число робочих днів в місяці, прийmemo $T_p = 22$ дні;

t — число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Згідно формули 5.1 розрахуємо основну заробітну плату для кожного з розробників. Результати розрахунку внесемо до таблиці 4.4.

2. Основна заробітна плата робітників Z_p розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i, \text{ грн} \quad (4.2)$$

де t_i — норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n — число робіт по видах та розрядах;

C_i — погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_{\text{мкс}} \cdot K_c}{T_p \cdot T_{\text{зм}}}, \quad (4.3)$$

де M_m — розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн./міс, $M_m = 3723$;

$K_{\text{мкс}}$ — коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. 5.5);

T_p — число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = 22$ дні;

$T_{\text{зм}}$ — тривалість зміни, зазвичай $T_{\text{зм}} = 8$ годин.

Таблиця 4.4 — Результати розрахунку витрат на виконання даної роботи

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
1. Інженер	8500	386	10	3860
2. Лаборант	7200	327	10	3270
Всього				$3_0 = 7130$

Таблиця 4.5 — Міжкваліфікаційні співвідношення для встановлення тарифних ставок робітникам (для цього випадку)

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{\text{мкс}}$	1,0	1,1	1,35	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4

Згідно формул 4.2 та 4.3 розрахуємо заробітну плату для кожного з робітників. Результати розрахунку внесемо до таблиці 4.6.

3. Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = (0,1 \dots 0,12) \cdot (Z_o + Z_p), \text{ грн} \quad (4.4)$$

$$Z_d = 0,1 \cdot (7130 + 997) = 812,7 \text{ (грн)}$$

Таблиця 4.6 — Результати розрахунку заробітної плати робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н.-годин.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати, грн
1. Монтажні	7	3	55	385
2. Налагоджувальні	5	2	41	205
3. Інсталяційні	12	1	34	407
Всього				$Z_p = 997$

4. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн} \quad (4.5)$$

де Z_o — основна заробітна плата розробників, грн;

Z_p — основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_d — додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн;

β — ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %. Ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування для бюджетних організацій встановлена у розмірі 22%.

$$H_{зп} = (7130 + 997 + 1099,6) \cdot \frac{22}{100} = 2029,8 \text{ (грн)}$$

5. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи. Результати розрахунків внесемо у таблицю 5.7

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А розраховуються за формулою:

$$A = \frac{Ц+Н_a}{100} \cdot \frac{T}{12}, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де Ц — загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн;

N_a — річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$;

T — термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 4.7 – Результати розрахунків амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1.Комп'ютери	70000	20	12	2000
3.Обладнання	60000	20		900
4.Приміщення	150000	10	12	1500
Всього				A = 4400

6. Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot П \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \text{ грн} \quad (4.9)$$

де V — вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2022р. $V \approx 2,5$ грн./кВт;

П — установлена потужність обладнання, кВт; $П = 1,5$ кВт;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин. Прийmemo, що $\Phi = 24$ годин;

K_{Π} — коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} < 1$, прийmemo $K_{\Pi} = 0,9$;

Тоді витрати на електроенергію складуть:

$$V_e = 2,5 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 0,9 = 81 \text{ (грн)}$$

7. Інші витрати $V_{ін}$ можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати фахівців, які виконували дану роботу, тобто:

$$V_{ін} = (0,1..3) \cdot (Z_o + Z_p), \text{ грн} \quad (4.10)$$

$$V_{ін} = 3 \cdot (7130 + 997) = 24381 \text{ (грн)}$$

8. Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини етапу роботи — V .

$$\begin{aligned} V &= 7130 + 997 + 1099,6 + 2661 + 4400 + 81 + 24381 = \\ &= 40749,6 \text{ (грн)} \end{aligned}$$

Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи. Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за формулою:

$$V_{заг} = \frac{V}{\alpha}, \text{ грн} \quad (4.11)$$

де α — частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

Для нашого випадку приймемо, що $\alpha = 0,2$.

Тоді:

$$V_{заг} = \frac{40749,6}{0,2} = 203748 \text{ (грн)}$$

Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи виконується за формулою:

$$ЗВ = \frac{V_{заг}}{\beta}, \quad (4.12)$$

де β — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Якщо розробка знаходиться:

- на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$;
- на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$;
- на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$;
- на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$;
- на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$;
- на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$;
- на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

$$ЗВ = \frac{203748}{0,7} = 291068,6 \text{ (грн)}$$

Тобто прогнозовані витрати на виконання та можливе впровадження результатів даної роботи можуть скласти приблизно 291 тис. грн.

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі необхідно кількісно спрогнозувати, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи.

При цьому потрібно виходити з того, що в умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство від впровадження результатів розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства.

Саме зростання чистого прибутку забезпечить підприємству надходження додаткових коштів, які дозволять покращити фінансові результати діяльності.

Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta \Pi_i$ для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (4.13)$$

де $\Delta\Pi_o$ — покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N — основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки.

ΔN — покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

Π_o — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n — кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2022 році ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$;

v — ставка податку на прибуток. У 2022 році $v = 18\%$.

Припустимо, що в результаті впровадження результатів наукової розробки покращується якість певного продукту, що дозволяє підвищити ціну його реалізації на 10 тис. грн. Кількість користувачів також збільшиться: протягом першого року — на 10, протягом другого року — ще на 30, протягом третього року — ще на 40.

Орієнтовно: реалізація продукції до впровадження результатів наукової розробки складала 500 користувачів, а її ціна — 50 тис. грн.

Потрібно спрогнозувати збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Припустимо, що наша розробка буде користуватися підвищеним попитом на ринку протягом 3-років після впровадження.

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot 10) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 765303 \text{ грн}$$

Збільшення чистого прибутку $\Delta\Pi_2$ від можливої реалізації даної розробки протягом другого року складе:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot (10 + 40)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 1093289 \text{ грн} \end{aligned}$$

Збільшення чистого прибутку $\Delta\Pi_3$ від можливої реалізації даної розробки протягом третього року складе:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (10000 \cdot 500 + 60000 \cdot (10 + 40 + 50)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = \\ &= 1503273 \text{ грн} \end{aligned}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Розрахований у п. 4.3 комерційний ефект від можливого впровадження розробок ще не означає, що ця розробка реально буде впроваджена. Якщо збільшення прогнозованого прибутку від впровадження результатів наукової розробки є вигідним для підприємства, то це ще не означає, що інвестор погодиться фінансувати дану розробку. Інвестор погодиться вкласти кошти у реалізацію даної наукової розробки тільки за певних умов.

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

1. Розраховуємо теперішню вартість інвестицій PV, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю ми можемо вважати прогнозовану величину загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів НДДКР,

розраховану нами раніше за формулою (5.12), тобто будемо вважати, що $ЗВ = PV = 381650$.грн.

2. Розраховуємо очікуване збільшення прибутку $\Delta\Pi_1$, що його отримає підприємство від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження. Таке збільшення прибутку також було розраховане нами раніше за формулою (4.13).

3. Для спрощення подальших розрахунків будують вісь часу, на яку наносять всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання науково-дослідної роботи та впровадження її результатів. Характеристику руху платежів (інвестицій та додаткових прибутків) наведено на рис. 19.

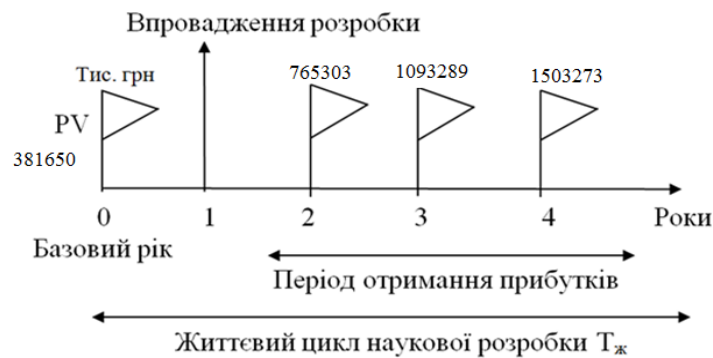


Рисунок 19 — Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

4. Розраховуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{абс}$. Для цього використаємо формулу:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.14)$$

де ПП — приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV — теперішня вартість інвестицій $PV = ЗВ$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.15)$$

де $\Delta\Pi_i$ — збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

t — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ — ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t — період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Якщо $E_{\text{абс}} < 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $E_{\text{абс}} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту.

$$\text{ПП} = \frac{765303}{(1 + 0,1)^2} + \frac{1093289}{(1 + 0,1)^3} + \frac{1503273}{(1 + 0,1)^4} = 2480642 \text{ грн}$$

Тоді, абсолютна ефективність вкладених інвестицій складе:

$$E_{\text{абс}} = 2480642 - 381650 = 2098991 \text{ грн}$$

Оскільки $E_{\text{абс}} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

5. Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій $E_{\text{в}}$. Для цього використаємо формулу:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (4.16)$$

де $E_{\text{абс}}$ — абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV — теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн;

$T_{\text{ж}}$ — життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{2098991}{381650}} - 1 = 0,59 \approx 59\%$$

Далі, розрахована величина $E_{\text{в}}$ порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{\text{мін}}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{\text{мін}}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.17)$$

де d — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні $d = (0,14...0,2)$;

f — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

Якщо величина $E_{\text{в}} > \tau_{\text{мін}}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

$$\tau_{\text{мін}} = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

$$\tau_{\text{мін}} = 30\%$$

Оскільки $E_{\text{в}} = 59\% > \tau_{\text{мін}} = 30\%$, то потенційний інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

б. Розраховуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{\text{ок}}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{в}}}, \quad (4.18)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,48} = 1,61 \text{ років}$$

Оскільки $T_{\text{ок}} < 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

Підводячи підсумки, зазначимо таке. Оцінений комерційний потенціал розробки має рівень вище середнього, що свідчить про доцільність ймовірного впровадження системи та отримання прибутку від її використання.

Позитивні результати від провадження розробки очікуються протягом трьох років після впровадження. Збільшення чистого прибутку протягом 1-го року складає — 765 303. грн, протягом 2-го року — 1 093 289 грн, протягом 3 — го року — 1 503 273 грн.

Абсолютна ефективність вкладених інвестицій $E_{abc} > 0$, свідчить про те, що впровадження наукових досліджень принесе прибуток, а розрахована відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування τ_{\min} , так як $E_v > \tau_{\min}$, то потенційний інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок} = 1,61$ років, звідси $T_{ок} < 3 \dots 5$ років, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

ВИСНОВКИ

Ефективність використання енергії сонця як одного з найбільш перспективних джерел альтернативної енергетики, залежить від багатьох факторів, основним з яких є погодні умови та кут падіння променів на поверхню, що забезпечує їх сприйняття.

Забезпечення постійної орієнтації сонячної панелі на сонце для підтримання перпендикулярності падіння променів на неї передбачає визначення положення сонця на небосхилі. Це може бути досягнуто за рахунок прямого стеження, що можливо здійснити лише в ясну погоду, або за рахунок математичних обчислень з врахуванням часу, дати та даних геолокації, що ускладнює апаратну та програмну реалізацію відповідних технічних засобів.

Запропоновані підходи до структурної та функціональної побудови мікропроцесорної системи позиціонування сонячної панелі засновані на запам'ятовуванні позиціонування сонячної панелі при прямому стеженні за сонцем, що дозволяє реалізувати позиціонування сонячної панелі на сонце за будь-яких погодних умов за допомогою порівняно простих мікроконтролерних засобів низької вартості.

Позитивні результати від провадження розробки очікуються протягом трьох років після впровадження. Абсолютна ефективність вкладених інвестицій має позитивне значення, що свідчить про те, що впровадження наукових досліджень принесе прибуток, а розрахована відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій склав 1,61 року, що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Загарій В. К. Відновлювана енергетика: тенденції розвитку у світі та Україні / В. К. Загарій, Т. Г. Ковальчук // Науковий вісник Ужгородського національного університету, 2021, №6, С. 70 – 75.
- 2 Сегеда М. С. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії : навч. посібник / М. С. Сегеда, М. Й. Олійник, О. Б. Дудурич ; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2019, 204 с.
- 3 Українська сонячна енергетика: як не повторити долю Ікара [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2019/02/15/645301/>
- 4 Жильцов С.А. Использование гелиотропических солнечных панелей для автономного электроснабжения потребителей / С. А. Жильцов, А. А. Карпушин // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 18. № 2. С. 266—274.
- 5 Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении.– М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
- 6 Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.
- 7 Research cell record efficiency chart. The National Center for Photovoltaics (NCPV) at the National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nrel.gov/ncpv/>
- 8 В. Коваль. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / Р. Івасечко, К. Козак // Енергосбереження. – 2015. – випуск 134.
- 9 Солнечный трекер, система слежения за солнцем. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-.html>

- 10 Одноосные трекары [Электронный ресурс]. Доступ: <http://ussolar.com.ua/ua/news/6-odnoosnye-trekery-povyshayuteffektivnostsolnechnoy-stantsii-na-15-17>.
- 11 Система слежения за солнцем ST1500. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://greenchip.com.ua/26-0-196-0.html>
- 12 Система слежения за солнцем ST54M3S30. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solar-motors.com/gb/solar-tracker-2-axis-st54m3s30-w-slewing-drive-for-30-m2-0099-st54m3s30-without-concrete-block-i557.shtml>
- 13 hX5J_rhju3NChD3t08REpFkX0rRJe7QKwAT4dDVgkCLQtiWol1HQU2wxoCIXYQAvD_BwE.
- 14 A collection of resources for the photovoltaic educator. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.pveducation.org>
- 15 Владимир Каулио Выбор и настройка встраиваемых GPS-приемников // Беспроводные технологии. 2009. №3. С. 34-38. Сердюков О.В., Мухин Ю.Н. Выбор микроконтроллера // Электронные компоненты. – 2002. - №5. – С.39-42.
- 16 Гребнев В.В. Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 176 с.
- 17 Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства фирмы Tiny и Mega фирмы Atmel. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
- 18 Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.
- 19 Сервопривод Futaba S3003. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mini-tech.com.ua/servomotor-s3003>
- 20 GPS-приемник GY-GPS6MV2 на базе чипа Ublox NEO-6M. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://schema.com.ua/p943243036-gps-priemnik-gps6mv2.html?gclid=CjwKCAiA7939BRBMEiwA->

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

проф., д.т.н.. Азаров О.Д.

_____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Мікропроцесорна система позиціонування сонячної панелі»

08-23.МКР.004.00.003.ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.

_____ Гарновський М. Г.

Виконав: студент групи 1КІ-20мз

_____ Парасунько І. І.

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 забезпечення зміни позиціонування сонячної панелі відповідно до положення сонця дозволяє підвищити ефективність процесу перетворення сонячної енергії в електричну, що, у свою чергу, відкриває шляхи до зменшеному використанню викопних ресурсів і, як наслідок, зниженню рівня шкідливих викидів, що забруднюють навколишнього середовища.

1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета робота — вдосконалення мікропроцесорної системи позиціонування сонячної панелі, спрямоване на спрощення її функціональної організації та зменшення вартості;

2.1 Призначення розробки — визначення підходів до побудови апаратно-програмних засобів автоматичного позиціонування сонячної панелі відповідно до положення сонця для забезпечення прямого кута падіння сонячних променів на неї.

3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Функціональне призначення — забезпечення позиціонування сонячної панелі відповідно до положення сонця;

3.2 Режим роботи — автоматичний;

3.3 Вхідний сигнал — оптичне випромінювання видимого та інфрачервоного діапазону спектру;

3.4 Тип виходу — електро-механічний з пусковим моментом не менше 3 кг·см; живлення - автономне.

4 Вимоги до виконання МКР

4.1 Провести обґрунтування доцільності розробки;

4.2 Провести аналіз сучасних технічних рішень, що забезпечують управління сонячними панелями;

4.3 Визначити підходи до реалізації апаратних та програмних засобів системи позиціонування сонячної панелі, здатної ефективно підтримувати постійну орієнтацію сонячної панелі на сонце за будь-яких погодних умов;

4.4 Оцінити комерційний потенціал розробки.

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз сучасних підходів до використання сонячної енергії та побудови систем управління сонячними панелями			Вступ Розділ 1
2	Аналіз загальних принципів побудови сонячної фотоелектричної системи. Розробка структурної схеми системи позиціонування сонячної панелі			Розділ 2, Структурна схема
3	Аналіз можливої реалізації структурних блоків та вибір елементної бази. Розробка функціональної схеми			Розділ 3, функціональна схема
4	Розробка програми для мікроконтролера			Блок схема алгоритму, програма
5	Оцінка комерційного потенціалу розробки			Розділ 4
5	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації			Пояснювальна записка, графічний матеріал, презентація

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук

наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008 : 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302 : 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— методичні вказівки. Кафедра обчислювальної техніки 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

ДОДАТОК Б

Структурна схема системи

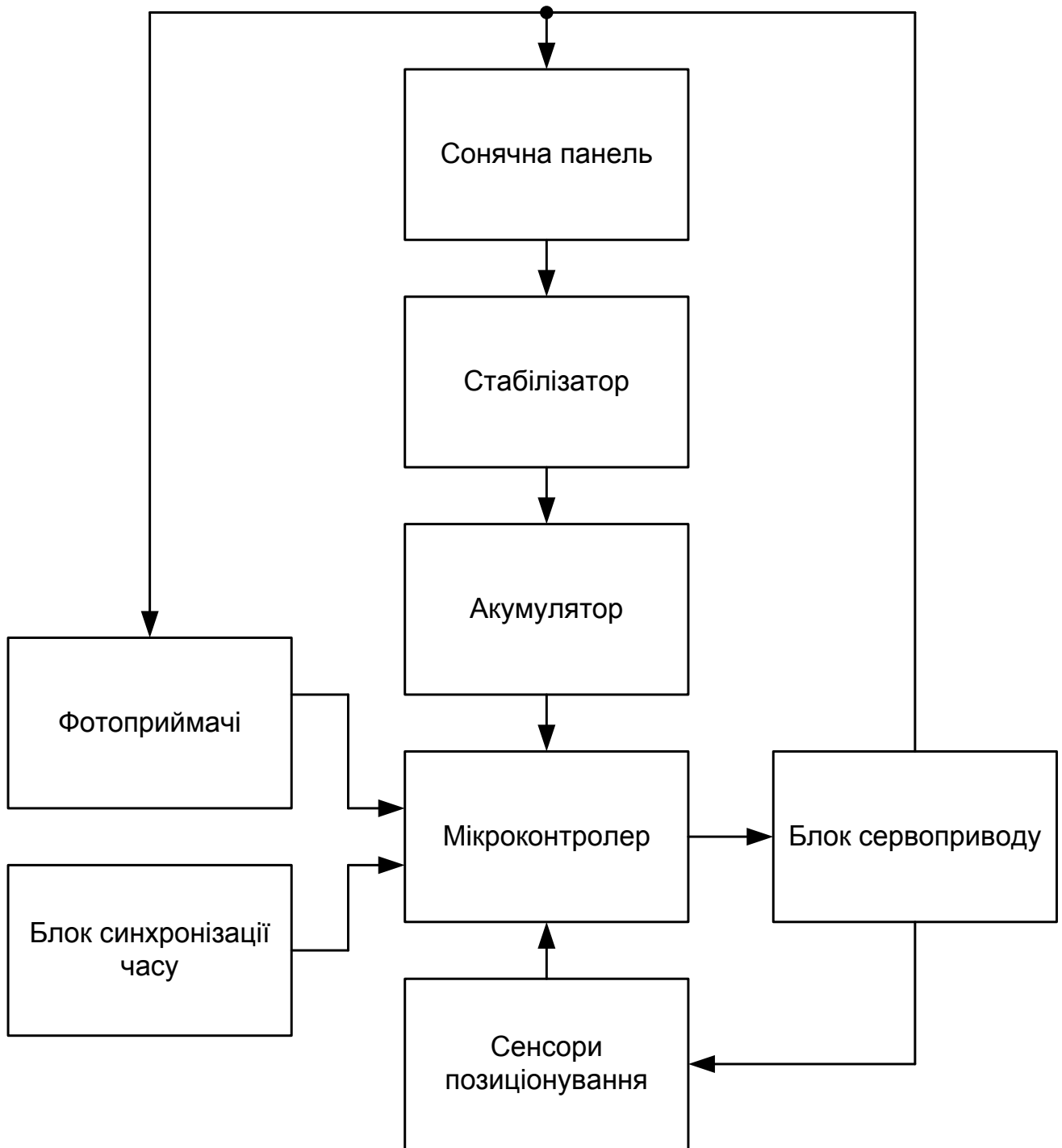


Рисунок Б.1 — Структурна схема мікропроцесорної системи

ДОДАТОК В

Функціональна схема системи

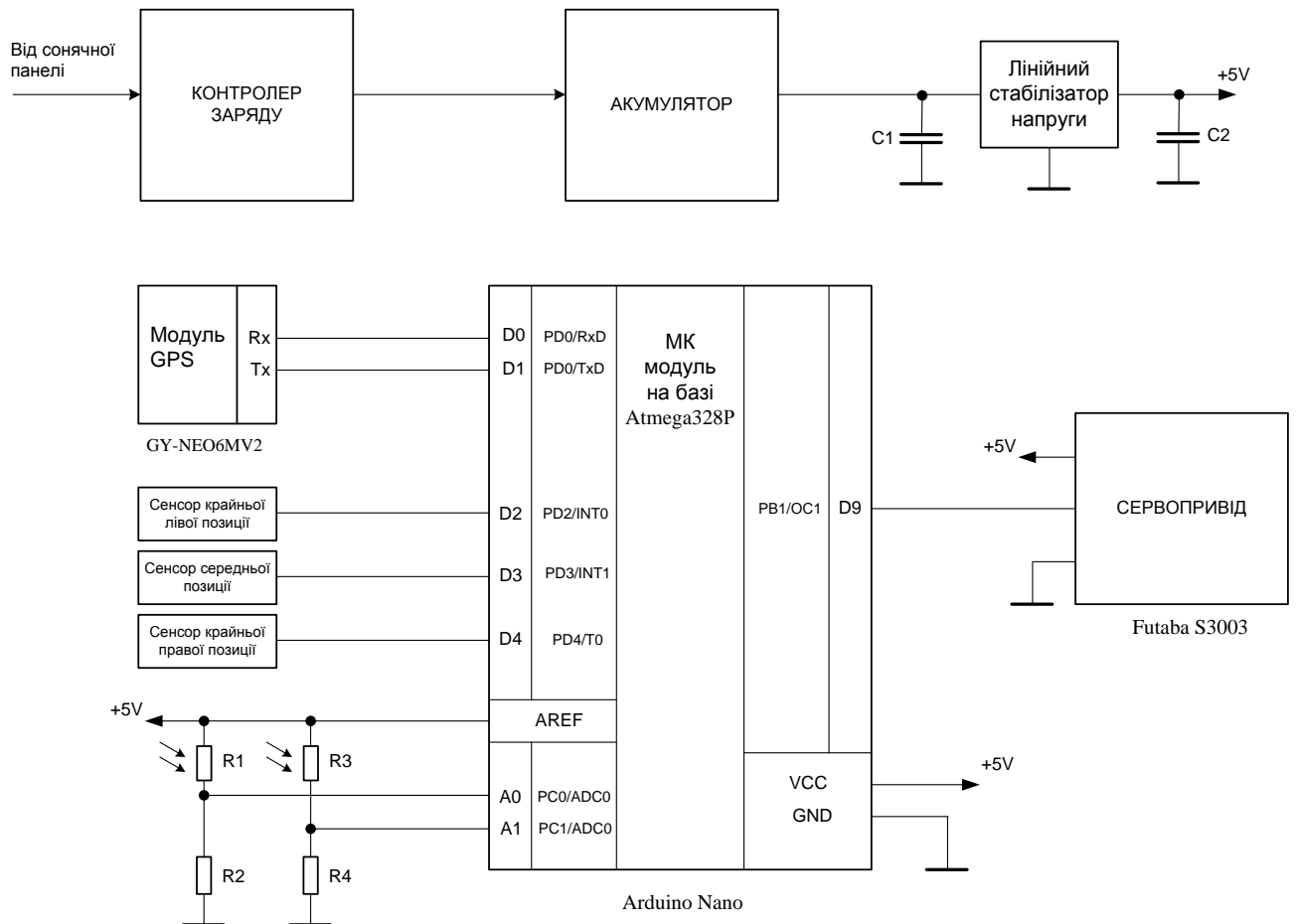


Рисунок В.1 — Функціональна схема системи

ДОДАТОК Г

Електрична схема модуля Arduino Nano

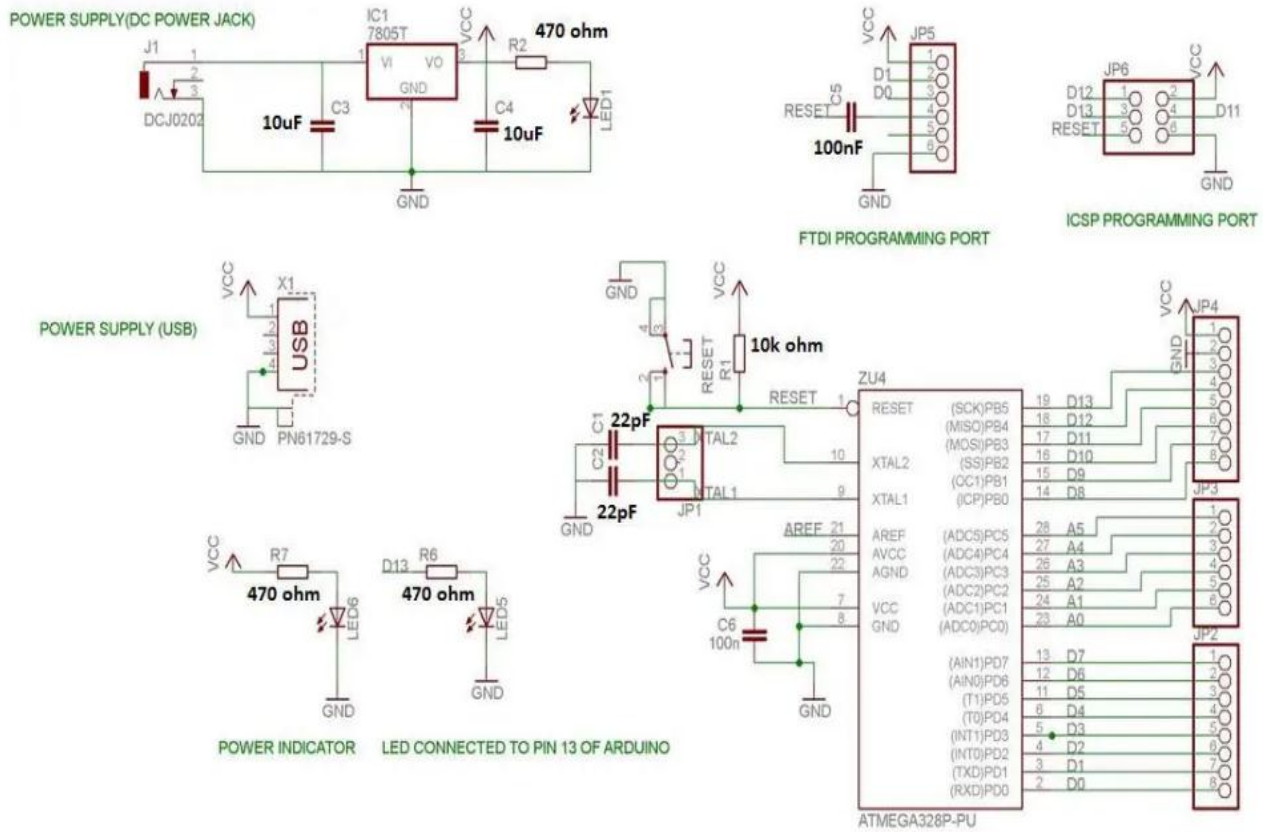


Рисунок Г.1 — Електрична схема модуля Arduino Nano

ДОДАТОК Д

Алгоритм перевірки працездатності системи

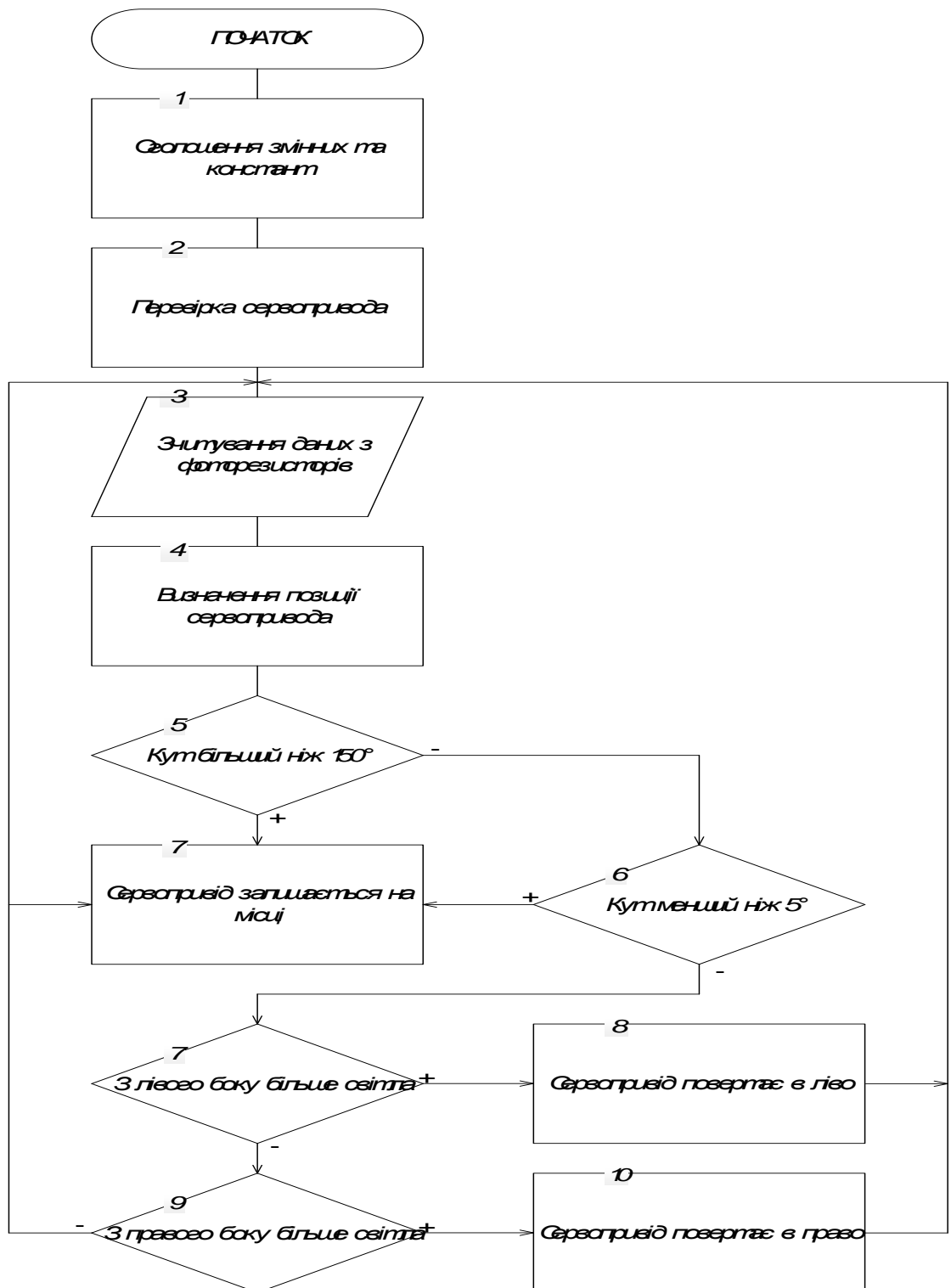


Рисунок Д.1 — Алгоритм працездатності систем

ДОДАТОК Е

Лістинг програмного засобу

```
#include
//IO Pins
int pinL = 5;      //IO Pin лівого фоторезистора
int pinR = 4;      //IO Pin правого фоторезистора
int pinServo = 11; //PWM pin серво
int leftValue = 0; //Значення лівого фоторезистора
int rightValue = 0; //Значення правого фоторезистора
int error = 0;     //Різниця між дані двох датчиків
int errorAVG = 0; //Error Average - Rolling 2 Point
int deadband = 10; //Мертва зона (захист від джиттера)
//Servo Stuff
Servo hServo;     //servo object
int Position = 45; //Position to write out
int minPos = 5;   //Min позиція
int maxPos = 150; //Max позиція
float output = (maxPos - minPos) / 2; //Initial output Position
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  hServo.attach(pinServo);
  //Set Servo to Centre for Alignment Purpose
  Serial.println("Переміщення до початкової позиції");
  hServo.write(minPos);
  delay(5000);
  Serial.println("Переміщення до кінцевої позиції");
  hServo.write(maxPos);
  delay(5000);
}
```

```
Serial.println("Переміщення до середньої точки");
hServo.write(output);
delay(5000);
Serial.println("Going Live.....");
}
{
  //Зчитування значень з фоторезисторів
  leftValue = analogRead(pinL);
  rightValue = analogRead(pinR);
  Serial.print("L = "); Serial.print(leftValue); Serial.print(" | ");
  Serial.print("R = "); Serial.print(rightValue); Serial.print(" | ");
  Serial.print("E = "); Serial.print(error); Serial.print(" | ");
  Serial.print("Eavg = "); Serial.print(errorAVG);
  Serial.println();
  //Позрахунок
  error = leftValue - rightValue;
  errorAVG = (errorAVG + error) / 2;
  float newOutput = output + getTravel();
  if (newOutput > maxPos)
  {
    Serial.println("At Upper Limit");
    newOutput = maxPos;
  }
  else
  {
    if (newOutput < minPos)
    {
      Serial.println("At Lower Limit");
      newOutput = minPos;
    }
  }
}
```

```
Serial.println("Writing output");
//Виведення команди управління серво
hServo.write(newOutput);
output = newOutput;
}
}
int getTravel()
{
    // -1 = Вліво; +1 = Вправо
    if (errorAVG < (deadband * -1))
    {
        return 1;
    }
    else
    {
        if (errorAVG > deadband)
        {
            return -1;
        }
        else
        {
            //Нічого не робимо
            return 0;
        }
    }
}
```

