

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи Сім-61  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гончаренко О.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дячук С.Ф.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Гончаренку Олегу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» жовтня 2021 року № 4/7-916

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи мова програмування C++, повнофункціональна плата Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega328P.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Методи побудови комп'ютеризованої системи керування сонячним трекером

3. Програмна та апаратна реалізація алгоритму комп'ютеризованої системи керування сонячним трекером

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність

2. Мета, об'єкт, предмет, методи дослідження, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів

3. Класифікація сонячних трекерів

4. Тестовий стенд сонячного трекера

5. Схема електрична принципова

6. Блок-схема роботи системи

7. Визначення положення Сонця

8. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Осухівська Г.М., зав. каф. КС		
	Стадник І.Я., проф. каф. ОХ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	28.10.2021 р.	Виконано
2	Аналіз предмету дослідження та предметної області	01.11.2021 р.	Виконано
3	Виконання розділу 1	08.11.2021 р.	Виконано
4	Виконання розділу 2	15.11.2021 р.	Виконано
5	Виконання розділу 3	22.11.2021 р.	Виконано
6	Виконання розділу 4	30.11.2021 р.	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	03.12.2021 р.	Виконано
8	Оформлення графічного матеріалу	07.12.2021 р.	Виконано
9	Попередній захист кваліфікаційної роботи	15.12.2021 р.	Виконано
10	Захист кваліфікаційної роботи	21.12.2021 р.	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Гончаренко О.Р.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Тиш Є.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером // Кваліфікаційна робота // Гончаренко Олег Романович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІм-61 // Тернопіль, 2021 // с. – 67, рис. – 21, табл. – 1, аркушів А1 – 8, додат. – 4, бібліогр. – 20.

Ключові слова: МЕТОДИ, СИСТЕМИ, КЕРУВАННЯ, СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР, СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, АЗИМУТАЛЬНИЙ КУТ.

У кваліфікаційній роботі розроблено апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

Проведено аналіз існуючих методів та засобів позиціонування сонячних панелей у напрямку Сонця та визначено основні вимоги до комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

Розроблено апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

## ANNOTATION

Hardware and software of solar tracker control computer system // Qualification Work // Honcharenko Oleh // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of computer systems and Networks, group CIM-61 // Ternopil, 2021 // p. – 67, fig. – 21, tab. – 1, sheets A1 – 8, addit. – 4, bibliography. – 20.

Keywords: METHODS, SYSTEMS, CONTROL, SOLAR TRACKER, SOLAR POWER PLANTS, AZIMUTH ANGLE.

In the qualification work, the hardware and software of solar tracker control computer system were developed.

The analysis of existing methods and means of orienting solar panels in the direction of the sun is carried out and the main requirements for a computer control system for a solar tracker are determined.

The hardware and software of solar tracker control computer system have been developed.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1. Кут нахилу сонячних панелей.....	11
1.2. Класифікація та основні компоненти сонячного трекера.....	12
1.3. Методи позиціонування сонячних панелей .....	14
1.4. Висновки до розділу.....	15
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ.....	16
2.1. Архітектура системи.....	16
2.2. Апаратна складова.....	18
2.2.1. Мікроконтролер.....	18
2.2.2. Годинник реального часу.....	18
2.2.3. Кроковий двигун та драйвер .....	19
2.2.4. Серводвигун.....	20
2.2.5. Модуль магнітного поля .....	21
2.2.6. OLED дисплей.....	21
2.3. Математичне забезпечення.....	22
2.3.1. Перетворення градусів у радіани.....	22
2.3.2. Меридіан місцевого стандартного часу .....	22
2.3.3. Рівняння часу .....	23
2.3.4. Корекційний коефіцієнт часу .....	24
2.3.5. Місцевий сонячний час .....	24
2.3.6. Часовий кут .....	25
2.3.7. Кут схилення Сонця .....	25
2.3.8. Кутова висота Сонця .....	25
2.3.9. Азимутальний кут.....	26
2.3.10. Часові зміни.....	27
2.4. Висновки до розділу.....	28

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ .....	30
3.1. Блок-схема роботи системи .....	30
3.2. Програмна реалізація алгоритму .....	31
3.2.1. Оголошення бібліотек та глобальних змінних .....	31
3.2.2. Функція «setup» .....	34
3.2.3. Функція «OledStart» .....	35
3.2.4. Функція «StepMotorCalibrations» .....	35
3.2.5. Функція «GetDateTime» .....	37
3.2.6. Функція «SPC» .....	37
3.2.7. Функції перетворення .....	38
3.2.8. Функція «loop» .....	39
3.2.9. Функція «WriteOled» .....	40
3.2.10. Функція «MovePanel» .....	41
3.3. Проектування тестового стенду .....	41
3.4. Висновки до розділу .....	44
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	45
4.1. Охороні праці .....	45
4.2. Створення і функціонування системи моніторингу довкілля з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території .....	47
4.3. Висновки до розділу .....	50
ВИСНОВКИ .....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	52
Додаток А. Апробація результатів роботи .....	55
Додаток Б. Код функції «WriteOled» .....	64
Додаток В. Блок управління сонячним трекером .....	65
Додаток Д. Перелік елементів .....	66

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Кожного року потреби населення Землі в енергії зростають все більше і більше, а з сучасними тенденціями на електрифікації темпи виробництва і споживання електричної енергії можуть суттєво збільшитися в найближчому майбутньому. Тому, все гостріше постає питання у ефективному та безпечному виробництві електроенергії, яке не буде зашкоджувати навколишньому середовищі.

На сьогоднішній день одним із найперспективніших видів видобутку електроенергії є сонячні та вітрові електростанції. Доля їх генерації збільшується на 20% кожного року, тоді коли доля видобутку електроенергії за допомогою процесу спалювання вугля, нафти, газу, а також використання атомної енергетики поступово знижується.

У зв'язку зі стрімко зростаючим попитом на сонячні електростанції виникає проблема в їх ефективному використанні. Сонячні електростанції є найбільш ефективними в тому випадку, коли вони спрямовані прямо на Сонце, але за звичай сонячні панелі розміщують на даху або на спеціальній конструкції у фіксованому положенні, в наслідок чого ефективність видобутку електроенергії суттєво знижується.

У багатьох країнах світу вже почалися розробки з підвищенням ефективності сонячних електростанцій. Один зі способів підвищення ефективності сонячних електростанцій полягає в програмному управлінні поворотом сонячних панелей в напрямку максимальної освітленості, а саме в організації системи стеження за переміщенням Сонця по небосхилу чим є так званий сонячний трекер.

**Метою дослідження** є розробка апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Здійснити огляд літературних джерел щодо розробки апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.



2. Проаналізувати різновиди сонячних трекерів, а також існуючі методи та засоби стеження за переміщенням Сонця по небосхилі.

3. Розробити архітектуру системи та здійснити підбір елементної складової апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

4. Обґрунтувати математичне забезпечення для отримання даних про точне положення Сонця на небосхилі.

5. Розробити програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером, а також створити тестовий стенд сонячного трекера.

**Об'єкт дослідження** – процес позиціонування сонячних панелей в напрямку Сонця.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та засоби побудови апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

**Методи дослідження.** Для розв'язку поставлених задач використано наступні методи:

– аналіз та узагальнення – при проведенні огляду та аналізу різновидів сонячних трекерів та методів їх керування, аналізовану впливу кута нахилу сонячних панелей,

– математичного моделювання – при розробці математичного забезпечення системи,

– проектування та програмування – при розробці апаратної та програмної складової сонячного трекера;

– експеримент та вимірювання – для апробації результатів кваліфікаційної роботи.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше розроблено та аналітично описано апаратне та програмне забезпечення повністю автономної комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

**Практичне значення одержаних результатів.** Полягає в тому, що апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером дозволяє відстежувати положення Сонця на небосхилі протягом усього

дня та позиціонувати фотоелектричні елементи в напрямку Сонця, в результаті чого досягається максимальна продуктивність від сонячної електростанції.

**Публікації.** Результати кваліфікаційної роботи магістра апробовано на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (23-24 листопада 2021 р.) Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, а також опубліковано статтю у журналі International Scientific Journal Grail Of Science (№10, Vinnytsia-Vienna, 2021).

**Структура роботи.** Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1. Кут нахилу сонячних панелей

Під час проходження сонячних променів через атмосферу Землі частина проміння поглинається атмосферою, а інша частина, що досягла поверхні Землі, називається прямим випромінюванням. Саме завдяки попаданню прямого випромінювання на фотоелектричні елементи відбувається перетворення сонячної енергії в електричний струм [7]. Тому чим більше сонячних променів будуть попадати на фотоелектричні елементи, тим більше електроенергії вони зможуть виробляти. Однак через зміну положення Сонця протягом дня та упродовж року (рис. 1.1) кут падіння сонячних променів на поверхню фотоелектричних елементів не є постійним [15], що безпосередньо впливає на продуктивність сонячної електростанції.

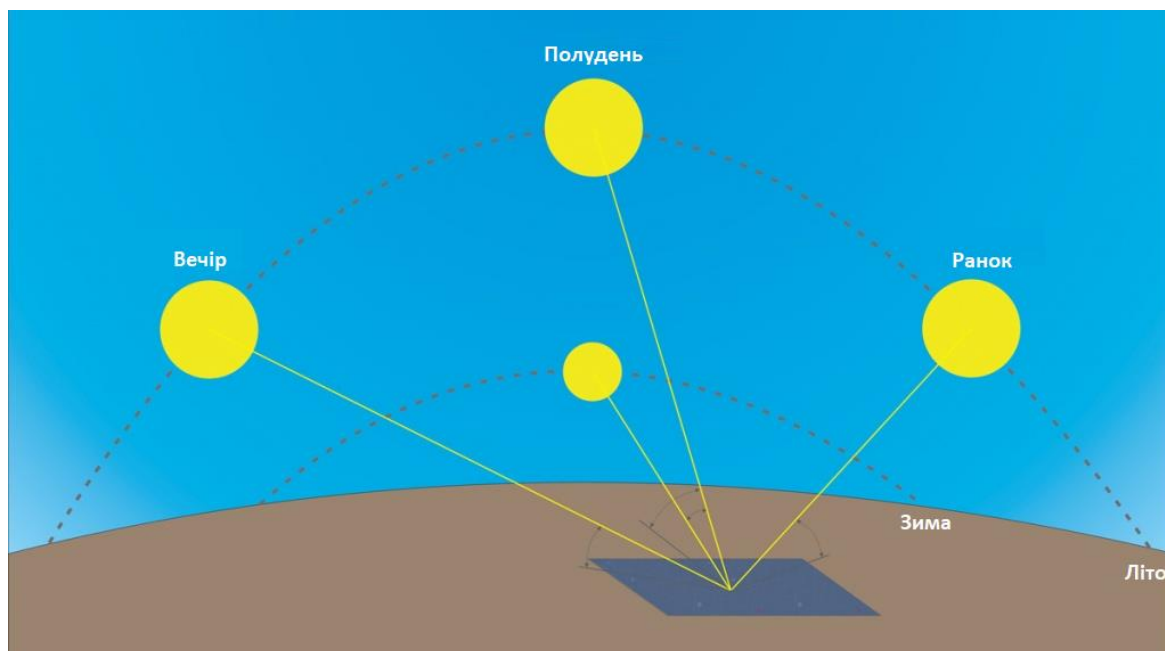


Рис. 1.1. Положення Сонця на протязі року

Отже для досягнення найбільшої ефективності сонячної електростанції фотоелектричні елементи повинні бути нахилені під оптимальним кутом в залежності від географічної широти, пори року та часу [12]. В таблиці 1.1 наведено оптимальний кут нахилу сонячних панелей для різних широт в літній період.

*Таблиця 1.1*

**Оптимальний кут нахилу сонячної панелі в залежності від географічної широти**

Широти	Кут нахилу
0°-15°	15°
15°-25°	10°
25°-30°	5°
30°-35°	10°
35°-40°	15°
Більше 40°	20°

При встановленні сонячних панелей під не оптимальним кутом витрати на видобутку електроенергії можуть становити від 2% до 38%, що суттєво зменшує їх ефективність. Максимальну ефективність сонячних панелей можна досягти використанням так званих сонячних трекерів, які в залежності від конструкції здатні підвищити видобутку електроенергії до 98.5% [9,17].

## 1.2. Класифікація та основні компоненти сонячного трекера

Сонячний трекер – це пристрій, який призначений для відстежування руху Сонця по небосхилу протягом дня та позиціонування сонячних панелей під оптимальним кутом.

Одним з головних критеріїв сонячного трекера є його відмовостійкість. Система повинна справлятися з будь-якими погодними умовами, адже через

сильні пориви вітру, парусність, корозію, зовнішній кліматичний вплив та вагове навантаження на конструкцію може призвести до часткового або повного виходу з ладу сонячного трекера.

На сьогодні виділяють дві основні конструкції сонячних трекерів, а саме одновісні та двовісні трекери [3].

Одновісні трекери є доволі простою конструкцією, ніж двовісні трекери. Завдяки своїй простій конструкції ці трекери досить дешеві, в результаті чого вони стали найбільш широко використовуваними [5]. Найпопулярніші конструкції одновісних трекерів можуть бути оснащені горизонтальною або вертикальною віссю обертання. Кожна з цих конструкцій має свою область та умови застосування.

Максимальну продуктивність від сонячних панелей можна досягти за допомогою двовісних сонячних трекерів, конструкція яких дозволяє позиціонувати сонячні панелі у напрямку Сонця по двом осям обертання, що працюють незалежно одна від одної. В більшості випадків використовується горизонтальна та вертикальна вісь (рис. 1.2).



Рис 1.2. Модель двовісного сонячного трекера

Основними компонентами конструкції сонячного трекера є [18]:

- опорна рама;
- виконавчий механізм;
- трансмісія;
- блоки управління;
- системи безпеки.

В залежності від типу конструкції виконавчий механізм може здійснювати переміщення конструкції використовуючи як гідропривід, так і електропривід. Електропривідні виконавчі механізми є найбільш поширеними та потребують значно меншого обслуговування системи.

Для конструкції сонячного трекера рекомендується використовувати три наступних типу електродвигунів:

- серводвигуни;
- крокові;
- лінійні.

Основними характеристиками електродвигунів є:

- напруга живлення;
- номінальна потужність;
- споживання електроенергії в різних режимах;
- робочий діапазон;
- відмовостійкість.

### 1.3. Методи позиціонування сонячних панелей

Сонячні трекери можуть бути реалізовані на основі різних методів керування [4], що зводяться до трьох основних систем.

В основі першої системи лежить використання фотодатчиків, за допомогою яких отримується інформація про місце з найбільшою освітленістю від сонячних променів [16]. Отримані дані аналізуються мікроконтролером та на

основі цих даних пристрій позиціонує сонячну панель в напрямку Сонця. При правильному налаштуванні цієї системи вона може бути повністю автономною та дешевою, але суттєвими недоліками даної системи є її надійність та точність позиціонування сонячної панелі. У погану погоду або при поганому обслуговуванні системи вона буде неспроможна визначити положення Сонця.

Іншим способом є система яка основна на використанні таймерів [16]. Для використання даної системи необхідно заздалегідь розрахувати дані про положення Сонця на кожен день, після чого ці дані вносяться в мікроконтролер, який направляє сонячну панель відповідно до введених даних. Точність позиціонування таких систем є невелика, а ефективність сумнівна, оскільки дані про положення Сонця доведеться розраховувати вручну для кожного дня та постійно оновлювати їх в мікроконтролері.

Найбільш ефективною системою керування сонячним трекером є алгоритмічне управління, засноване на автономному обчисленні положення Сонця за допомогою формул небесної механіки виходячи з географічних координатах сонячної електростанції, а також поточної дати та часу [6]. На основі цих даних мікроконтролер може точно визначити положення Сонця на небосхилі та направити сонячну панель в напрямку Сонця. Основними перевагами цієї системи є повна автономність, висока точність, працездатність в суворих кліматичних умовах та при високій хмарності [8].

#### 1.4. Висновки до розділу

Основні результати даного розділу:

1. Проаналізовано вплив кута нахилу сонячних панелей на ефективність сонячних електростанцій, а також описано оптимальні кути нахилу сонячних панелей в залежності від географічної широти.
2. Проаналізовано та описано різновиди сонячних трекерів.
3. Проведено аналіз різних методів позиціонування сонячних панелей в напрямку Сонця та описано їхні переваги та недоліки.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ

#### 2.1. Архітектура системи

Для реалізації апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером було розроблено структурну схему (рис. 2.1), яка відображає архітектуру системи в загальному вигляді.



Рис. 2.1. Структурна схема архітектури сонячного трекера

Виходячи з рис. 2.1 архітектура системи сонячного трекера включає в себе такі складові:

- блок живлення;
- модуль магнітного поля, який задає нульове положення для крокового двигуна;



- годинник реального часу для отримання даних про поточну дату та час;
  - мікроконтролер є основним ядром системи, за допомогою якого буде здійснюватися управління усіма компонентами в автономному режимі;
  - дисплей для виводу інформації про поточне положення Сонця та інші дані;
  - кроковий двигун для позиціонування сонячної панелі по горизонтальній осі;
  - серводвигун для позиціонування сонячної панелі по вертикальній осі.
- Для реалізації обраної архітектури було обране програмне забезпечення Arduino IDE.

Arduino IDE (рис. 2.2.) – це повністю безкоштовне спеціалізоване програмне забезпечення, яке призначена для написання так званих скетчів для сімейства програмованих плат Arduino [1]. Дане програмне забезпечення має велику базу прихильників, що, в свою чергу, призводить до великої кількості як безкоштовних, так і платних бібліотек.



```
SolarTracker | Arduino 1.8.16
Файл Правка Сетч Інструменти Допомога

SolarTracker DateTime Mathematics OLED

#include <math.h>
#include "microDS3231.h"
MicroDS3231 rtc;
DateTime NowDateTime;

#include <ServoSmooth.h>
ServoSmooth servo;

#include <GyverStepper.h>
GStepper<STEPPER4WIRE> stepper(2048, 9, 11, 10, 12);

#include <GyverOLED.h>
GyverOLED<SSD1306_128x64, OLED_NO_BUFFER> oled;

uint32_t Timer_DLSS;
uint32_t Timer_OLED_UPDATE;

byte ReedSwitch = 0;

int DayYear = 1, Year = 2021;
int8_t Date = 1, Month = 1, Hour = 0, Minute = 0, TimeZone = 2;
float latitude = 49.81650149, longitude = 24.90167921, Elevation_Degrees = 0, Azimuth_Degrees = 0, Zenith_Degrees = 0, Voltages = 0, sunrise = 0, sunset = 0;
bool EngineCalibration = false, ServoisStart = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(ReedSwitch, INPUT);
  // pinMode(Voltmeter, INPUT);
}
```

Рис. 2.2. Інтерфейс Arduino IDE

## 2.2. Апаратна складова

2.2.1. Мікроконтролер. Для реалізації комп'ютерної системи керування сонячним трекером було обрано компактну повнофункціональну плату Arduino Nano (рис. 2.3), яка побудована на базі мікроконтролера ATmega328P.

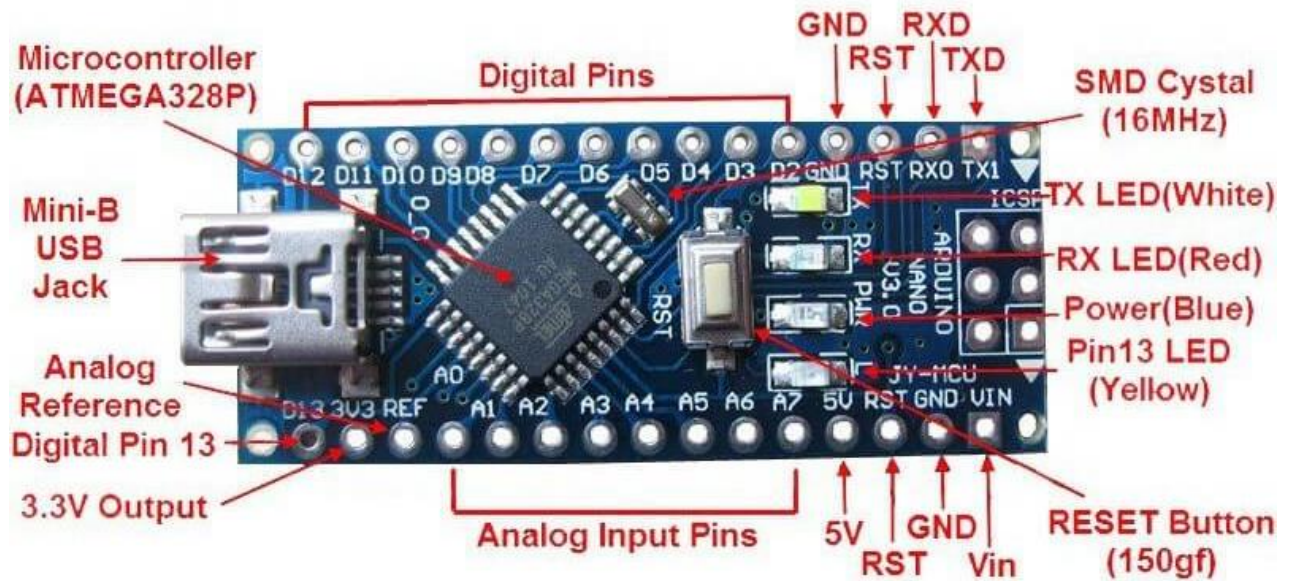


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд плати Arduino Nano

Мікроконтролер ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц має 32 кБ флеш-пам'яті, яка використовується для зберігання програмного коду та 2 кБ для зберігання завантажувача. Також даний мікроконтролер має власну оперативну пам'ять з розміром в 2 кБ та 1 кБ енергонезалежної пам'яті [2].

Плата Arduino Nano використовується для визначення позиції Сонця на небосхилі використовуючи дані при обчисленні математичного забезпечення, а також для позиціонування фотоелектричної панелі за допомогою управління кроковим двигуном та серводвигуном.

2.2.2. Годинник реального часу. Для позиціонування фотоелектричної панелі протягом дня мікроконтролеру потрібна додаткова плата з годинником

реального часу, за допомогою якої мікроконтролер зможе обчислювати точне положення Сонця протягом дня.

Найкраще для цієї задачі підходить годинники реального часу з вбудованими I2C інтерфейсом DS3231, який зображений на рис. 2.4.

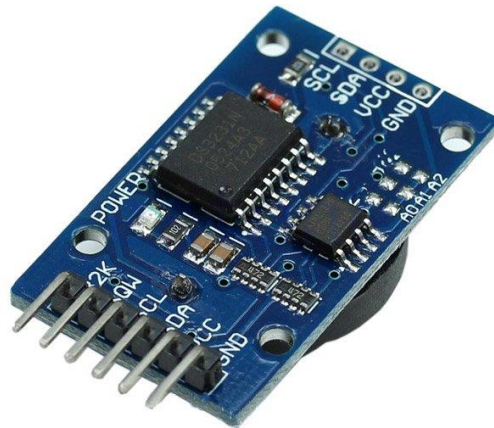


Рис. 2.4. Годинники реального часу DS3231

2.2.3. Кроковий двигун та драйвер. Для переміщення фотоелектричної панелі у горизонтальні площині був вибраний кроковий двигун 28BYJ-48 та драйвер ULN2003 [11].

28BYJ-48 – це надійний і потужний чотирьох фазний без щітковий кроковий двигун (рис. 2.5). Конструкція крокового двигуна дозволяє управляти валом з великою точністю, що, в свою чергу, забезпечує точне позиціонування фотоелектричної панелі.



Рис. 2.5. Кроковий двигун 28BYJ-48

Для управління кроковим двигуном 28BYJ-48 було вибрано найпопулярніший драйвер для цього двигуна, а саме ULN2003 (рис. 2.6). Даний драйвер може працювати з двигуном 28BYJ-48 з джерелом живлення від 5 В і до 12 В.



Рис. 2.6. Драйвер ULN2003

2.2.4. Серводвигун. Для переміщення фотоелектричної панелі у вертикальні плоскості був вибраний серводвигун MG996R.

Серводвигун MG996R (рис. 2.7) являє собою датчик положення, панель управління та електродвигун, який може обертати свій вал в заданий кут і отримувати поточне положення до тих пір, поки не отримає команду про зміну положення.



Рис. 2.7. Серводвигун MG996R

2.2.5. Модуль магнітного поля. Модуль магнітного поля (рис. 2.8) використовується для задання нульової точки для крокового двигуна та обмеження його робочого ходу. Принцип роботи такого модуля досить простий. У спеціальні вакуумні колби знаходяться два розімкнених або замкнутих контакти, які змінюють свій стан при впливі на них магнітного поля.

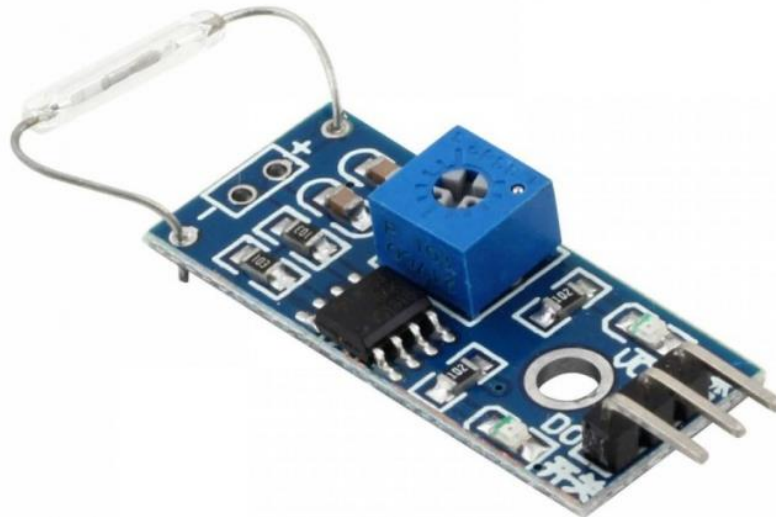


Рис. 2.8. Модуль магнітного поля

2.2.6. OLED дисплей. OLED дисплей (рис. 2.9) – це модуль відображення, який призначений для перетворення сигналів від мікроконтролера в графічну інформацію.



Рис. 2.9. OLED дисплей

### 2.3. Математичне забезпечення

Існують безліч способів для позиціювання сонячних панелей в напрямку Сонця, однак найефективнішими та життєздатним є процес використання програмного управління за допомогою якого мікроконтролер буде самостійно визначати положення Сонця шляхом проведення обчислень формул небесної механіки використовуючи географічні координати сонячної електростанції, а також поточну дату та час [6].

Для того, щоб позиціонувати фотоелектричні елементи в напрямку Сонця необхідно обчислити два основних параметри, а саме кутову висоту Сонця та азимутальний кут.

Слід також зазначити, що отримані дані про кутову висоту Сонця та азимутальний кут не можуть бути повторно використані для іншого проміжку часу через нахил Землі і її руху навколо Сонця.

2.3.1. Перетворення градусів у радіани. Для математичних обчислень основною одиницею вимірювання плоских кутів вважається радіан оскільки, тому для перетворення градусів в радіани слід використовувати наступну формулу:

$$Rad = \frac{v \cdot \pi}{180} \quad (2.1)$$

де  $v$  – це градусна одиниця, яку потрібно перевести в радіани.

2.3.2. Меридіан місцевого стандартного часу. Меридіан місцевого стандартного часу вважається еталонним меридіаном, який використовується для певного часового поясу, а також нульовим меридіаном, який використовується для середнього часу за Гринвічем (рис. 2.10).

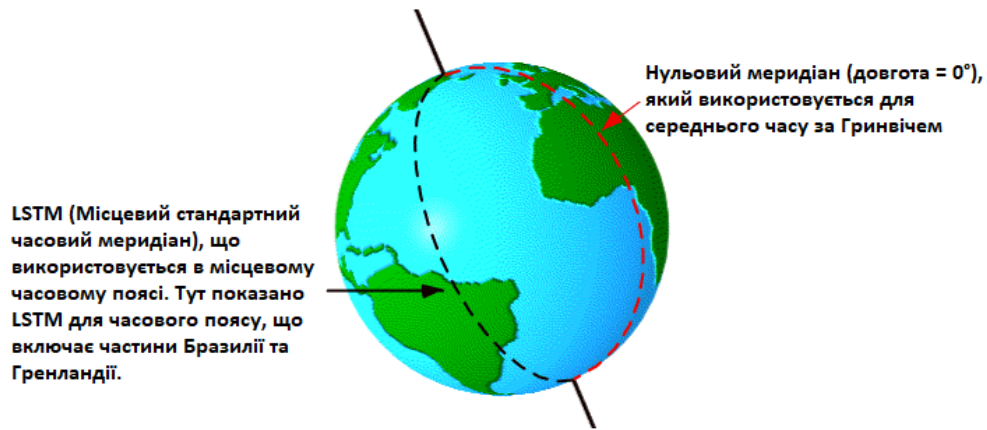


Рис. 2.10. Меридіан місцевого стандартного часу

Меридіан місцевого стандартного часу вираховується за формулою:

$$LSTM = 15 \cdot \Delta T_{UTC} \quad (2.2)$$

де  $\Delta T_{UTC}$  – це часовий пояс, який зазначений у Всесвітньому координованому часі (UTC).

2.3.3. Рівняння часу. Оскільки Сонце рухається по екліптиці нерівномірно [20], тривалість сонячного дня змінюється протягом року, як це зображено на рис. 2.11. Через ці зміни взимку в Північній півкулі день триває довше, ніж влітку, в той час, як в Південній півкулі все навпаки.



Рис. 2.11. Графік змін у рівнянні часу протягом року

Щоб визначити рівняння часу потрібно скористатися нижче наведеною формулою:

$$EoT = 9.87 \cdot \sin(2 \cdot B_{rad}) - 7.53 \cdot \cos(B_{rad}) - 1.5 \cdot \sin(B_{rad}) \quad (2.3)$$

де  $B$  визначається за формулою:

$$B = \frac{360}{365} \cdot (DY - 81) \quad (2.4)$$

де  $DY$  – це порядковий номер дня з початку року.

2.3.4. Корекційний коефіцієнт часу. Корекційний коефіцієнт часу враховує зміни місцевого сонячного часу в межах даного часового поясу через зміни довготи в межах часового поясу, а також містить рівняння часу.

Корекційний коефіцієнт часу можна визначити за формулою:

$$TC = 4 \cdot (Longitude - LSTM) + EoT \quad (2.5)$$

де  $Longitude$  – це координати довготи, рад;

$LSTM$  – це меридіан місцевого стандартного часу;

$EoT$  – це рівняння часу.

2.3.5. Місцевий сонячний час. Це час, що визначається в місці знаходження спостерігача видимим положенням сонця на небесній сфері. Для визначення місцевого сонячного час потрібно скористатися наступною формулою:

$$LST = H + \frac{TC}{60} + \frac{M}{60} \quad (2.6)$$

де  $H$  – це поточна година спостерігача;



$M$  – це поточна хвилина спостерігача;

$TC$  – це корекційний коефіцієнт часу.

2.3.6. Часовий кут. Часовий кут перетворює місцевий сонячний час в число радіан, на які Сонце рухається по небу.

Часовий кут визначається за формулою:

$$HRA = \frac{15 \cdot LST \cdot \pi}{180} \quad (2.7)$$

де  $LST$  – це місцевий сонячний час.

2.3.7. Кут схилення Сонця. Схилення Сонця – це кут між променями сонця і площиною екватора Землі [19]. Даний кут змінюється в залежності від сезону через нахил Землі навколо своєї осі обертання і обертання Землі навколо Сонця.

Кут схилення сонця можна обчислити за формулою:

$$\delta = \frac{23.45 \cdot \sin(B_{rad}) \cdot \pi}{180} \quad (2.8)$$

де  $B$  визначається за формулою 2.4.

2.3.8. Кутова висота Сонця. Висота Сонця над горизонтом не є постійною величиною, вона змінюється протягом дня і залежить від широти конкретного місця і дня року.

Щоб визначити кутову висоту Сонця протягом дня потрібно скористатися наступною формулою:

$$Elevation = \arcsin((\sin(\delta) \cdot \sin(Latitude)) + (\cos(\delta) \cdot \cos(Latitude) \cdot \cos(HRA))) \quad (2.9)$$

де  $\delta$  – це кут схилення Сонця;

*Latitude* – це координати широти, рад;

*HRA* – це часовий кут.

Таким чином, використовуючи формулу 2.9, для 03.11.2021 року і широти 49.80597 кутова висота Сонця буде виглядати так, як показано на рис. 2.12.

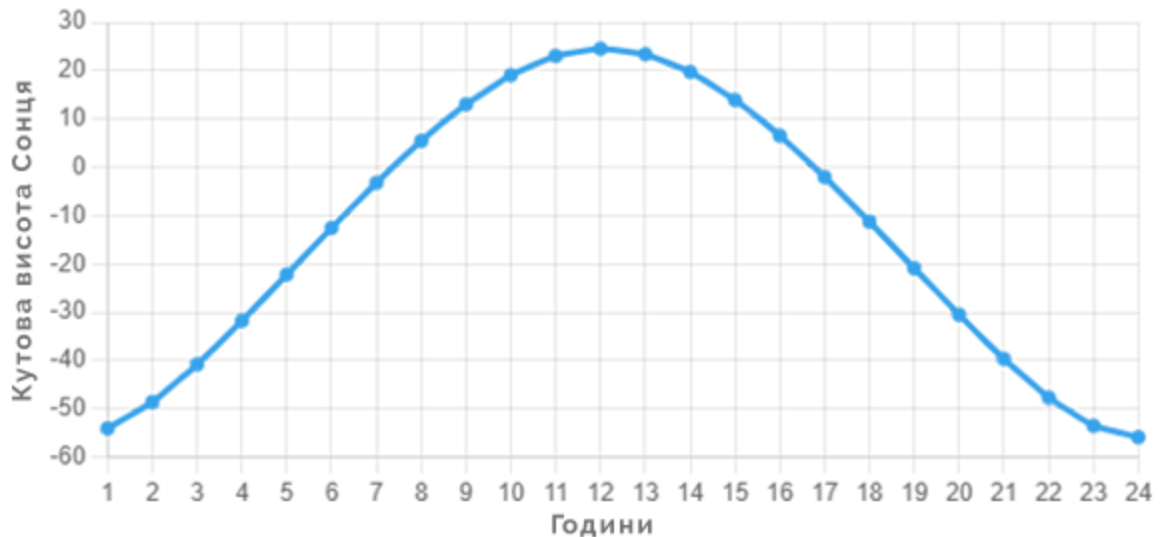


Рис. 2.12. Графік зміни кутової висоти Сонця протягом дня

2.3.9. Азимутальний кут. Азимутальний кут – це напрямок компаса, з якого надходить сонячне світло (рис. 2.13). У сонячний полудень сонце завжди знаходиться прямо на півдні в північній півкулі і прямо на півночі в південній півкулі.

У дні рівнодення Сонце встає прямо на Сході і сідає прямо на Заході незалежно від широти, тому азимутальні кути складають  $90^\circ$  на Сході і  $270^\circ$  на Заході. Однак в цілому азимутальний кут змінюється в залежності від широти і пори року.

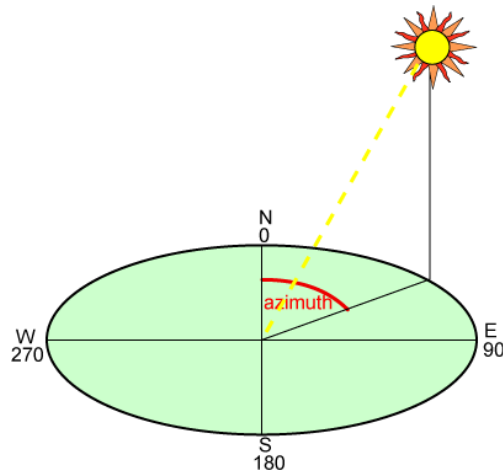


Рис. 2.13. Азимутальний кут

Азимутальний кут можна обчислити за формулою:

$$Azimuth = \arccos\left(\frac{\cos(Latitude) \cdot \sin(\delta) - \cos(\delta) \cdot \sin(Latitude) \cdot \cos(HRA)}{\cos(Elevation)}\right) \quad (2.10)$$

де  $\delta$  – це кут схилення Сонця;

*Latitude* – це координати широти, рад;

*HRA* – це часовий кут;

*Elevation* – це кутова висота Сонця.

2.3.10. Часові зміни. Для того, щоб коректно керувати сонячним трекером, потрібно визначити часові зміни, а саме тривалість дня і коли сходить та заходить Сонце. За допомогою цих даних можна буде налаштувати робочий час сонячного трекера.

Для розрахунку сходу і заходу сонця потрібно скористатися наступними формулами:

$$Sunrise = 12 - \frac{\arccos(A)}{0.261799} - \frac{TC}{60} \quad (2.11)$$

$$Sunset = 12 + \frac{\arccos(A)}{0.261799} - \frac{TC}{60} \quad (2.12)$$

де  $TC$  – це корекційний коефіцієнт часу;

$A$  визначається за формулою:

$$A = -1 \frac{\sin(Latitude) \cdot \sin(\delta)}{\cos(Latitude) \cdot \cos(\delta)} \quad (2.13)$$

де  $Latitude$  – це координати широти, рад;

$\delta$  – це кут схилення Сонця.

Тривалість дня можна розрахувати за формулою:

$$DL = \frac{24}{\pi} \cdot \arccos(-\operatorname{tg}(Latitude) \cdot \operatorname{tg}(\delta)) \quad (2.14)$$

де  $Latitude$  – це координати широти, рад;

$\delta$  – це кут схилення Сонця.

#### 2.4. Висновки до розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи магістра була розроблена архітектура комп'ютерної системи керування сонячним трекером, а також проведено аналіз та вибір елементної складової сонячного трекера.

Для реалізації системи було вибрано наступні компоненти:

- Arduino Nano V3 на мікроконтролері ATmega328P;
- годинник реального часу DS3231;
- кроковий двигун 28BYJ-48 на 5В;
- драйвер крокового двигуна ULN2003;
- серводвигун MG996R;
- модуль магнітного поля;
- OLED дисплей.

Крім того, було розроблено математичне забезпечення для отримання даних про точне положення Сонця на небосхилі виходячи з географічних координат сонячної електростанції та поточної дати й часу.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМНА ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ

#### 3.1. Блок-схема роботи системи

Блок-схему комп'ютерної системи керування сонячним трекером наведено на рис. 3.1.

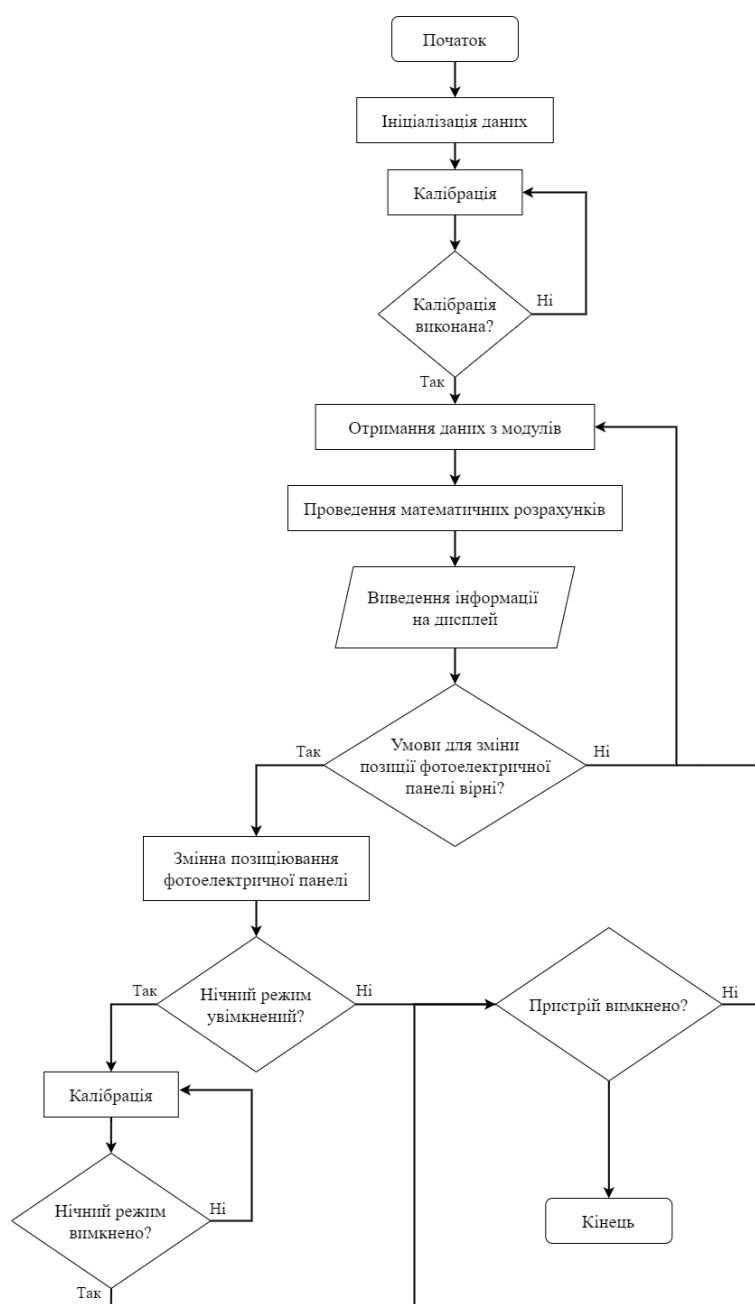


Рис. 3.1. Блок-схема алгоритму

Як видно з наведеної блок-схеми на рис. 3.1 після запуску пристрою проводиться ініціалізація всіх даних після чого запускається процес калібрації.

Під час калібрування кроковий двигун починає обертати свій вал проти годинникової стрілки, поки не досягне нульової точки (модуля магнітного поля). Нульовою точкою в цій системі вважається нульовий азимут. Після завершення калібрації, мікроконтролер звернеться до усіх наявних моделей в системі для отримані даних з них. Отримані дані будуть використані в подальших математичних обчисленнях для визначення положення Сонця.

Після завершення процесу обчислення мікроконтролер відобразить отримані дані на дисплеї, а також перевірить умови для подальшого позиціонування сонячних панелей. Якщо умови для розміщення панелей вірні, то мікроконтролер відправить команду кроковому двигуну і серводвигуну, щоб розташувати сонячну панель в напрямку Сонця уздовж горизонтальної і вертикальної осей.

Обчислення положення Сонця і подальше переміщення сонячних панелей буде відбуватися циклічно до моменту відключення пристрою або переходу в нічний режим.

Нічний режим вмикається автоматично через дві години після заходу сонця за горизонт і вимикається за дві години до світанку. Даний режим призначений для повторної калібрації та встановлення двигунів в початкову точку. Повторне калібрування виконується для запобігання помилок в позиціонуванні сонячної панелі по азимутальному куті.

## 3.2. Програмна реалізація алгоритму

3.2.1. Оголошення бібліотек та глобальних змінних. Оскільки мікроконтролер ATmega328 має всього-на-всього 32 кБ флеш-пам'яті необхідно було максимально оптимізувати код та підібрати бібліотеки, які займають мінімальний обсяг пам'яті мікроконтролера.

Для управління усіма модулями системи було вибрано наступні бібліотеки:

- «math.h» – призначена для виконання простих математичних операцій;
- «microDS3231.h» – бібліотека для управління годинником реального часу;
- «ServoSmooth.h» – призначена для управління серводвигуном;
- «GyverStepper.h» – використовується для управління кроковим двигуном;
- «GyverOLED.h» – бібліотека для відображення інформації на дисплеї.

Бібліотека «math.h» є стандартною бібліотекою в програмному забезпеченні Arduino IDE, тому її непотрібно встановлювати окремо, на відміну від чотирьох інших бібліотек. Чотири інші бібліотеки можна безкоштовно завантажити на офіційному веб-сайті їх розробника, а саме за адресу [alexgyver.ru](http://alexgyver.ru). Далі необхідно завантажені бібліотеки перенести в папку «libraries», яка знаходиться в кореневій папці Arduino IDE.

Після встановлення бібліотек в Arduino IDE можна приступити до їх оголошення, як це наведено у лістингу 3.1.

### Лістинг 3.1. Оголошення бібліотек

```
#include <math.h>
#include "microDS3231.h"
MicroDS3231 rtc;
DateTime NowDateTime;

#include <ServoSmooth.h>
ServoSmooth servo;

#include <GyverStepper.h>
GStepper<STEPPER4WIRE> stepper(2048, 9, 11, 10, 12);

#include <GyverOLED.h>
GyverOLED<SSD1306_128x64, OLED_NO_BUFFER> oled;

uint32_t Timer_DLSS;
uint32_t Timer_OLED_UPDATE;
```



Наступним кроком після оголошення бібліотек потрібно оголосити глобальні змінні (лістинг 3.2). Простими словами глобальні змінні – це змінні, які можна використовувати в будь-якому місці програми.

В даному алгоритмі використовуються наступні змінні:

- «Timer\_DLSS» і «Timer\_OLED\_UPDATE» – призначені для зберігання інформації про кількість мілісекунд, що пройшли з моменту запуску. На основі цих змінних був розроблений таймер для оновлення інформації про положення Сонця раз на хвилину і оновлення інформації на OLED-дисплеї раз в секунду;

- «ReedSwitch» – використовується для оголошення піна, до якого підключений модуль магнітного поля;

- «DayYear», «Year», «Date», «Month», «Hour», «Minute» та «TimeZone» – це змінні в яких зберігається інформація про поточний день року, дату і час, а також часовий пояс;

- «latitude» і «longitude» – призначені для запису поточних координат місце перебування пристрою;

- «Elevation\_Degrees», «Azimuth\_Degrees» і «Zenith\_Degrees» – призначені для зберігання інформації про положення Сонця на даний момент, а також відображення їх на OLED-дисплеї;

- «sunrise» і «sunset» – використовуються для зберігання інформації про час світанку та заходу Сонця;

- «EngineCalibration» – призначений для зберігання стану калібрування крокового двигуна. Коли кроковий двигун відкалібрований, стан цієї змінної зміниться з False на True.

- «ServoIsStart» – використовується для зберігання стану роботи серводвигуну.

### Лістинг 3.2. Оголошення глобальних змінних

```
uint32_t Timer_DLSS;
uint32_t Timer_OLED_UPDATE;

byte ReedSwitch = 8;

int DayYear = 1, Year = 2021;
int8_t Date = 1, Month = 1, Hour = 0, Minute = 0, TimeZone = 2;

float latitude = 49.81650149, longitude = 24.90167921,
Elevation__Degrees = 0, Azimuth__Degrees = 0, Zenith__Degrees = 0,
Voltages = 0, sunrise = 0, sunset = 0;
bool EngineCalibration = false, ServoIsStart = false;
```

3.2.2. Функція «setup». Призначена для виконання лише один раз, а саме після подачі живлення на плату. Дана функція використовується для визначення режимів роботи системи, ініціалізації компонентів, а також для проведення початкової калібрації двигунів. Код функції «setup» наведено у лістингу 3.3.

### Лістинг 3.3. Код функції «setup»

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ReedSwitch, INPUT);
  OledStart();
  stepper.reverse(true);
  stepper.autoPower(true);
  stepper.enable();

  servo.attach(7, 0);
  servo.setDirection(false);
  servo.setAutoDetach(false);
  servo.smoothStart();
  servo.setMaxAngle(100);
  servo.setSpeed(10);
  servo.setAccel(0.5);
  servo.setTargetDeg(0);
  servo.stop();

  EngineCalibration = false;
  while(!EngineCalibration)
    StepMotorCalibrations(digitalRead(ReedSwitch));
}
```

3.2.3. Функція «OledStart». Виконується під час запуску системи для ініціалізації OLED дисплею та виводу початкової інформації про пристрій. Код функції «OledStart» наведено у лістингу 3.4.

#### Лістинг 3.4. Код функції «OledStart»

```
void OledStart() {
    oled.init();
    oled.clear();
    oled.setScale(1);
    oled.setCursor(28, 4);
    oled.invertText(true);
    oled.print("Solar Tracker");
    oled.fastLineH(42, 28, 105);
    oled.setCursor(21, 7);
    delay(500);
    oled.invertText(false);
    oled.print("Олег Гончаренко");
    delay(2000);
    oled.clear();
}
```

3.2.4. Функція «StepMotorCalibrations». Дана функція, як і попередня, виконується при першому запуску системи для калібрації крокового двигуна, а саме встановлення його в нульову позицію. У даній системі нульовою точкою вважається північна сторона світу, яка є нульовим азимутом. Код для калібрування крокового двигуна наведено у лістингу 3.5.

Під час калібрування кроковий двигун буде обертати свій вал проти годинникової стрілки до тих пір, поки не досягне модуля магнітного поля, тобто нульової точки. Коли кроковий двигун досягне нульової точки, модуль магнітного поля змінить свій стан на протилежний, що буде сигналізувати про завершення калібрування крокового двигуна і установці нульового положення, а також отримання даних з годинника реального часу та проведення математичних розрахунків.

## Лістинг 3.5. Код функції «StepMotorCalibrations»

```

void StepMotorCalibrations(byte ReedSwitch){
  if (ReedSwitch == 1 && !EngineCalibration) {
    oled.setCursor(30, 4);
    oled.print("КАЛІБРУВАННЯ");
    oled.setCursor(41, 5);
    oled.print("Розпочато");
    stepper.reverse(false);
    stepper.setRunMode(KEEP_SPEED);
    stepper.setSpeedDeg(20);
    stepper.tick();
  } else if (ReedSwitch == 0 && !EngineCalibration) {
    oled.clear();
    oled.setCursor(30, 4);
    oled.print("КАЛІБРУВАННЯ");
    oled.setCursor(41, 5);
    oled.print("Завершено");
    stepper.stop();
    stepper.reverse(true);
    stepper.setRunMode(FOLLOW_POS);
    stepper.setCurrentDeg(0);
    EngineCalibration = true;
    delay(500);

    GetDateTime();
    SPC(latitude, longitude, DayYear, TimeZone, Hour, Minute);
    delay(1000);
    oled.clear();
  }
}

```

Також під час калібрування крокового двигуна на OLED-дисплеї буде відображатися інформацію про стан калібрування, як це зображено на рисунку 3.2.

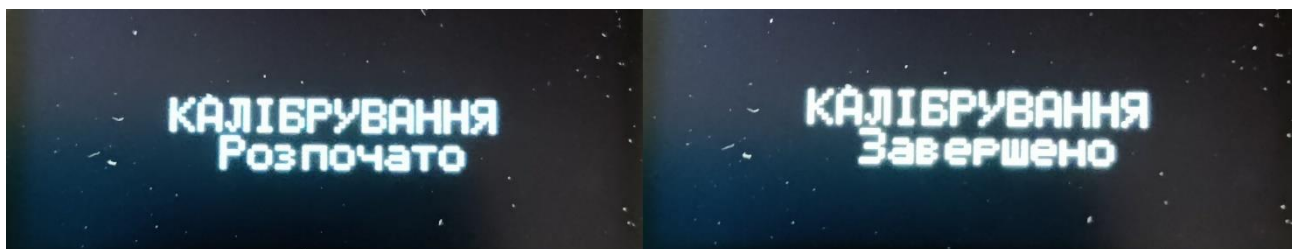


Рис. 3.2. Інформація про стани калібрування крокового двигуна на OLED-дисплеї

3.2.5. Функція «GetDateTime». Використовується для отримання даних про поточного часу та дати з годинника реально часу, а також для визначення порядкового номера дня в році з урахуванням високосного року (лістинг 3.6).

#### Лістинг 3.6. Код функції «GetDateTime»

```
void GetDateTime() {
    int i = 0;
    NowDateTime = rtc.getTime();
    Date = NowDateTime.date;
    Month = NowDateTime.month;
    Year = NowDateTime.year;
    Hour = NowDateTime.hour;
    Minute = NowDateTime.minute;

    if (Year % 4 == 0) i = 1;
    switch (Month)
    {
        case 1: DayYear = Date; break;
        case 2: DayYear = 31 + Date; break;
        case 3: DayYear = 59 + Date + i; break;
        case 4: DayYear = 90 + Date + i; break;
        case 5: DayYear = 120 + Date + i; break;
        case 6: DayYear = 151 + Date + i; break;
        case 7: DayYear = 181 + Date + i; break;
        case 8: DayYear = 212 + Date + i; break;
        case 9: DayYear = 243 + Date + i; break;
        case 10: DayYear = 273 + Date + i; break;
        case 11: DayYear = 304 + Date + i; break;
        case 12: DayYear = 334 + Date + i; break;
        default: DayYear = Date; break;
    }
}
```

3.2.6. Функція «SPC». Дана функція є основним елементом цього алгоритму, оскільки в ній застосовується математичне забезпечення за допомогою якого можна визначити точне положення Сонця на небосхилі. Реалізація цієї функції наведено у лістингу 3.7.

## Лістинг 3.7. Алгоритмічна реалізація математичного забезпечення

```

void SPC(float latitude, float longitude, int DayYear, int8_t TimeZone,
int8_t Hour, int8_t Minute){
    float LAT = ToRadian(latitude);

    float B = ToRadian((360.0 / 365.0) * (DayYear - 81.0));
    float EoT = 9.87 * sin(2 * B) - 7.53 * cos(B) - 1.5 * sin(B);
    float LSTM = 15.0 * TimeZone;
    float time_correction = 4.0 * (longitude - LSTM) + EoT;
    float LST = Hour + (time_correction / 60.0) + (Minute / 60.0);
    float HRA = ToRadian(15.0 * (LST - 12.0));
    float dec = ToRadian(23.45 * sin(B));

    float A = -1.0 * (sin(LAT) * sin(dec)) / (cos(LAT) * cos(dec));
    float local_solar_time = acos(A) / ToRadian(15);
    sunrise = 12.0 - local_solar_time - (time_correction / 60.0);
    sunset = 12.0 + local_solar_time - (time_correction / 60.0);

    float Elevation = asin((sin(dec) * sin(LAT)) + (cos(dec) * cos(LAT) *
cos(HRA)));
    float Azimuth = acos((cos(LAT) * sin(dec) - cos(dec) * sin(LAT) *
cos(HRA)) / cos(Elevation));
    float Zenith = ToRadian(90) - Elevation;
    if (HRA > 0) Azimuth = 2.0 * M_PI - Azimuth;

    Elevation__Degrees = ToDegrees(Elevation);
    Azimuth__Degrees = ToDegrees(Azimuth);
    Zenith__Degrees = ToDegrees(Zenith);
}

```

В результаті виконання функції «SPC» буде отримано два основних параметри, а саме кутову висоту Сонця та азимутальний кут. За допомогою цих двох параметрів буде виконуватися позиціювання фотоелектричної панелі на Сонце по горизонтальні та вертикальні осі.

3.2.7. Функції перетворення. Використовуються для перетворення різних одиниць з одного типу даних в інший (лістинг 3.8).

### Лістинг 3.8. Функції перетворення

```
String ToString_TimeHM(float value){
    int h = floor(value);
    int m = round(60 * (value - h));
    return (h < 10 ? "0"+String(h) : String(h))+":"+ (m < 10 ? "0"+String(m)
: String(m));
}

int ToInt_TimeH(float value){
    return floor(value);
}

float ToDegrees(float value){
    return 180.0 * value / M_PI;
}

float ToRadian(float value) {
    return value * M_PI / 180.0;
}
```

В даному алгоритмі використовуються наступні функції перетворення:

- «ToString\_TimeHM» – призначена для перетворення часу з float в String;
- «ToInt\_TimeH» – використовується для перетворення часу з float в int;
- «ToDegrees» та «ToRadian» – призначені для перетворення радіан в градуси та навпаки.

3.2.8. Функція «loop». «loop» – це циклічна функція, яка виконується нескінченну кількість раз (лістинг 3.9). Код в даній функції відповідає за обробку даних з усіх модулів, виконання математичних обчислень та виклику функції для позиціонування фотоелектричної панелі.

## Лістинг 3.9. Код функції «loop»

```

void loop() {
  if(EngineCalibration){
    if (millis() - Timer_DLSS >= 60000) {
      Timer_DLSS = millis();
      GetDateTime();
      SPC(latitude, longitude, DayYear, TimeZone, Hour, Minute);
    }
    WriteOled();
    MovePanel();
  } else while(!EngineCalibration)
  StepMotorCalibrations(digitalRead(ReedSwitch));
}

```

3.2.9. Функція «WriteOled». «WriteOled» (додаток Б) використовується для відображення різноманітних даних на OLED дисплеї (рис 3.3), а саме:

- поточну дату, час і часовий пояс;
- кутову висоту Сонця;
- азимутальний кут;
- зенітний кут;
- час сходу та заходу Сонця.

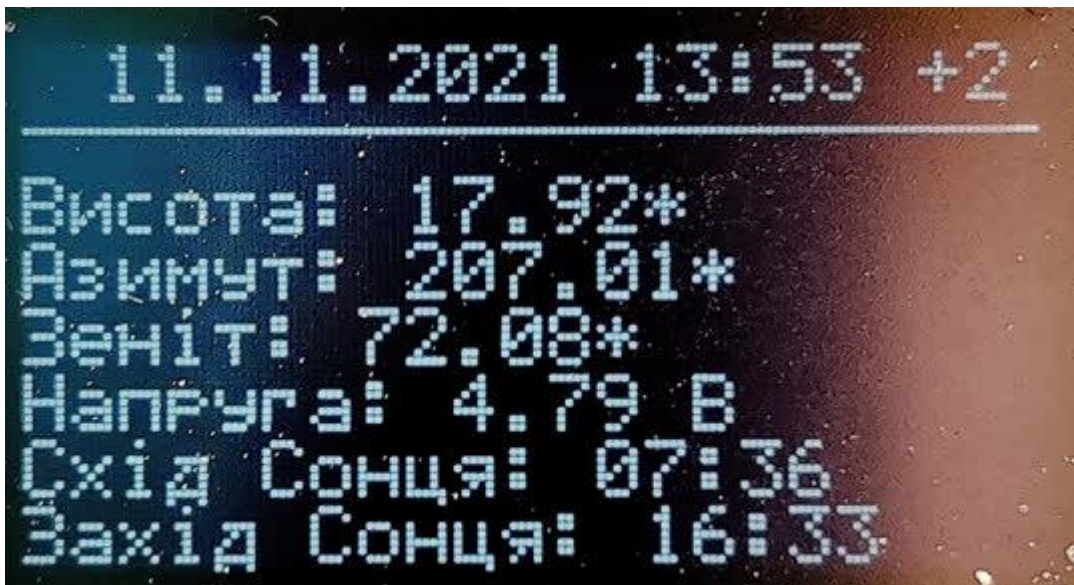


Рис. 3.3. Інформаційні дані на OLED дисплеї



3.2.10. Функція «MovePanel». Призначена для позиціювання фотоелектричної панелі в напрямку Сонця по горизонтальній і вертикальній осі за допомогою крокового двигуна та серводвигуна. Реалізація функції «MovePanel» наведено у лістингу 3.10.

### Лістинг 3.10. Код функції «MovePanel»

```
void MovePanel(){
    if(Hour >= (ToInt_TimeH(sunrise)-2) && Hour <=
    (ToInt_TimeH(sunset)+2)){
        if(Elevation__Degrees >= 1){
            if(!ServoIsStart){ServoIsStart = true; servo.start();}
            else if(servo.tick())
servo.setTargetDeg(Elevation__Degrees);
        } else if(ServoIsStart){ServoIsStart = false; servo.stop();}
        if (!stepper.tick() && Azimuth__Degrees < 300)
stepper.setTargetDeg(Azimuth__Degrees);
    } else {
        if(ServoIsStart){ServoIsStart = false; servo.stop();}
        if(digitalRead(ReedSwitch) == 1){
            stepper.reverse(false);
            stepper.setRunMode(KEEP_SPEED);
            stepper.setSpeedDeg(20);
            stepper.tick();
        } else if(digitalRead(ReedSwitch) == 0) {
            stepper.stop();
            stepper.reverse(true);
            stepper.setRunMode(FOLLOW_POS);
            stepper.setCurrentDeg(0);
        }
    }
}
```

### 3.3. Проектування тестового стенду

В результаті роботи над системою сонячного трекера був розроблений тестовий стенд (рис. 3.4) для налагодження програмної частини і проведення тестових випробувань.



Рис. 3.4. Тестовий стенд сонячного трекера з двохосьовим позиціюванням

Тестовий стенд складається з двох частин, а саме блока управління та бази.

Блок управління (додаток В) призначений для розрахунку інформації про поточне місце положення Сонця на небосхилі та відправкою команд в базу для зміни положення фотоелектричної панелі.

Блок управління складається з:

- мікроконтролера;
- годинника реального часу;
- OLED дисплею.

База – це основа конструкції, яка призначена для переміщення фотоелектричної панелі по горизонтальній і вертикальній осях.

У нижній частині бази (рис. 3.5) розташований драйвер та кроковий двигун, крутний момент від якого передається на спеціальний вал, який призначений для мінімізації вагового навантаження від верхньої частини бази на кроковий двигун. До самого валу кріпиться невелика пластина з неодимовий магніт, а до корпусу валу кріпиться модуль магнітного поля для визначення нульової точки.

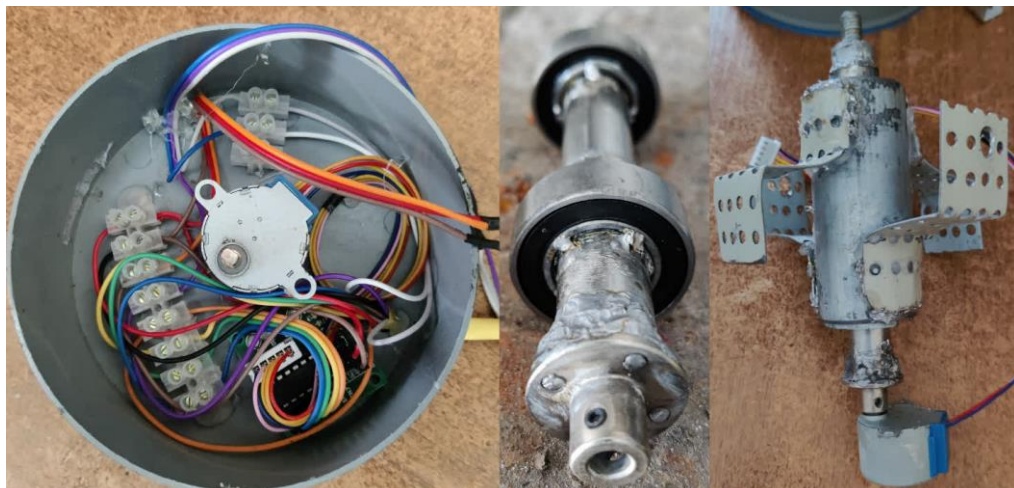


Рис. 3.5. Конструкція нижньої частини бази

Верхня частина бази (рис. 3.6) складається з фотоелектричної панелі та серводвигуна за допомогою якого змінюється положення по вертикальній осі. Сама ж верхня частина бази кріпиться до нижньої через спеціальний вал, що дає змогу змінювати положення фотоелектричної панелі по горизонтальній осі.

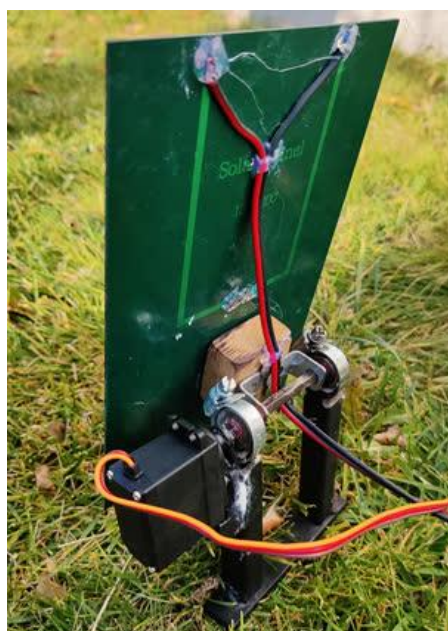


Рис. 3.6. Конструкція верхньої частини бази

### 3.4. Висновки до розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра розроблено апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером, а також спроектовано тестовий стенд сонячного трекера на базі мікроконтролера ATmega328P.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Охорона праці

Беручи до уваги можливі небезпеки під час розробки та подальшого використання апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером необхідно дотримуватися всіх вимог з охорони праці та техніки безпеки.

Відповідно до статті 11 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» від 16.10.2020 №555-IV експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за наступних умов [10]:

- безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії;
- енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії
- виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії;
- дотримання єдиних державних норм, правил усіма суб'єктами відносин, пов'язаних з будівництвом (створенням), експлуатацією, виведенням з експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, систем диспетчерського (оперативно-технологічного) управління;
- додержання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» від 16.10.2020 №555-IV протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

- запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок додержання вимог та правил;
- створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством;
- підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України;
- здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського (оперативнотехнологічного) управління з енергетичними мережами України;
- здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Оскільки система сонячного трекера включає в себе електроприлади (інвертор, контролер), необхідно дотримуватися «Правил безпечної експлуатації електроустановок», які затверджено наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 06.10.97 (НПАОП 40.1-1.01-97).

Ізоляція струмоведучих частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового контакту з частинами електроустановок, через які проходить струм. Електрозахисними засобами називаються вироби, що слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Для усунення можливих причин ураження струмом працівників, які виконують роботу під потенціалом проводу, необхідно дотримуватись таких умов:

- надійне ізолювання працівника від землі;

- застосування екрануючого комплексу одягу;
- вирівнювання потенціалів екрануючого комплексу одягу, робочої площадки та проводу.

На робочому місці яке обладнане персональним комп'ютером потрібно дотримуватися «Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями», які затверджені наказом Міністерство соціальної політики України від 14.02.2018 за № 207 [14]. Крім того, при експлуатації та у приміщеннях, де виконується робота над комп'ютерної системою керування сонячним трекером необхідно дотримуватися «Правил пожежної безпеки в Україні», які затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України 30.12.2014 № 1417.

Комп'ютерна система керування сонячним трекером спроектована таким чином, щоб уникнути ризику ураження електричним струмом за умови належного використання та правильного встановлення. Крім того, завдяки автоматизації системи взаємодія користувача з системою управління сонячним трекером було зведено до мінімуму.

4.2. Створення і функціонування системи моніторингу довкілля з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території

Сьогодні стан довкілля є загальнодержавною проблемою, комплексне її вирішення залежить не лише від міністерств чи органів місцевого самоврядування в кожному регіоні, а й від кожного громадянина. Тому з метою оцінки екологічної ситуації та забезпечення конституційного права людини на безпечне для його життя та здоров'я довкілля в Україні створена і функціонує державна система моніторингу довкілля.

Державна система моніторингу довкілля має на меті інтеграцію екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, і ґрунтується на принципах узгодженості нормативно-правового й організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного та програмного

забезпечення її складових частин, систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього, своєчасності отримання, комплексності обробки та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в Державній системі моніторингу довкілля, об'єктивності первинної, аналітичної та прогнозної екологічної інформації й оперативності її розповсюдження.

Створення і функціонування системи моніторингу з метою інтеграції екологічних інформаційних систем [13], що охоплюють певні території, ґрунтується на принципах:

- узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;

- систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;

- своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання інформації про стан довкілля (екологічної інформації), що надходить і зберігається в системі моніторингу;

- об'єктивності первинної, аналітичної і прогнозної інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та оперативності її доведення до органів державної влади, органів місцевого самоврядування, громадських організацій, засобів масової інформації, населення України, заінтересованих міжнародних установ та світового співтовариства.

Система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу і функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи.

Організаційна інтеграція суб'єктів системи моніторингу здійснюється Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів, обласними, Київською та Севастопольською міськими держадміністраціями, органом виконавчої влади



Автономної Республіки Крим з питань охорони навколишнього природного середовища.

До складу виконавців зазначених програм суб'єкти системи моніторингу можуть залучати підприємства, установи і організації незалежно від їх підпорядкування і форм власності.

Основними завданнями суб'єктів системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля;
- аналіз екологічного стану довкілля та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;
- інформаційне обслуговування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення екологічною інформацією населення країни і міжнародних організацій.

Фінансування робіт із створення і функціонування системи моніторингу та її складових частин здійснюється відповідно до порядку фінансування природоохоронних заходів за рахунок коштів, передбачених у державному та місцевих бюджетах згідно із законодавством.

Покриття певної частини витрат на створення і функціонування складових частин і компонентів системи моніторингу може здійснюватися за рахунок інноваційних фондів у межах коштів, передбачених на природоохоронні заходи, міжнародних грантів та інших джерел фінансування.

Висновки: створення та функціонування системи моніторингу довкілля з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території має сприяти екологічно раціональному використанню природного та соціально-економічного потенціалу держави, збереженню сприятливого середовища життєдіяльності суспільства, розв'язанню проблем, що виникають унаслідок забруднення довкілля, небезпечних природних явищ, техногенних аварій та катастроф, а також розвитку міжнародного співробітництва щодо збереження біорізноманіття природи, охорони озонового шару атмосфери,

запобігання антропогенній зміні клімату, захисту лісів і лісовідновлення, транскордонного забруднення довкілля, відновлення природного стану річок.

#### 4.3. Висновки до розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи магістра обґрунтовано безпечність експлуатації та розробки апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером з точки зору охорони праці та техніки безпеки, а також проаналізовано питання створення і функціонування системи моніторингу довкілля з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено апаратне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.

Отримано наступні результати:

1. Проведено аналіз впливу кута нахилу сонячних панелей на ефективність сонячних електростанцій, а також описано оптимальні кути нахилу сонячних панелей в залежності від географічної широти.
2. Проаналізовано різновиди сонячних трекерів, а також існуючі методи позиціонування сонячних панелей в напрямку Сонця.
3. Розроблено архітектуру системи та здійснено підбір елементної складової апаратного та програмного забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером.
4. Розроблено математичне забезпечення для отримання даних про точне положення Сонця на небосхилі та наведення сонячних панелей в напрямку Сонця виходячи з географічних координат сонячної електростанції та поточної дати й часу.
5. Розроблено програмне забезпечення комп'ютерної системи керування сонячним трекером, а також спроектовано тестовий стенд сонячного трекера на базі мікроконтролера ATmega328P.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino IDE. URL: <https://arduino-ide.com> (дата звернення: 15.11.2021).
2. Arduino Nano. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano> (дата звернення: 15.11.2021).
3. IEC 62817. Photovoltaic systems – design qualification of solar trackers. International Electrotechnical Commission. 2014. 67 с.
4. Mousazadeh H., Keyhani A., Javadi A. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. №13. С. 1800–1818.
5. Ya’u M.J. A Review on Solar Tracking Systems and Their Classifications. *Environmental & Chemical Engineering*. 2017. №2(3). С. 46–50.
6. Yilmaz S., Ozcalik H.R., Dogmus O. Design of two axes sun tracking controller with analytically solar radiation calculations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. №43. С. 997–1005.
7. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2014. 320 с.
8. Гончаренко О.Р., Тиш Є.В. Системи керування сонячних трекерів. Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (24-25 листопада 2021р.). Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 90.
9. Дубровін В.О., Романчук Л.Д., Кухарець С.М. та ін. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України. Центр учбової літератури. 2014. 335 с.
10. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 30.11.2021).

11. Ковальчук О. А., Пилипенко Ю. М. Система управління сонячними панелями. Київський національний університет технологій та дизайну. 2020. №1(34). 9 с.
12. Оптимальный угол наклона солнечных батарей. URL: <https://nsia-energy.ru/info/articles/16-optimalnyj-ugol-naklona-solnechnykh-batarej> (дата звернення: 08.11.2021).
13. Положення про державну систему моніторингу довкілля. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (дата звернення: 01.12.2021).
14. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> (дата звернення: 30.11.2021).
15. Рух Сонця і планет по небесній сфері. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D1%85\\_%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%86%D1%8F\\_%D1%96\\_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82\\_%D0%BF%D0%BE\\_%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%96%D0%B9\\_%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%96](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D1%85_%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%86%D1%8F_%D1%96_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%BF%D0%BE_%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%96%D0%B9_%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%96) (дата звернення: 11.11.2021).
16. Солнечный трекер. URL: <https://greenchip.com.ua/26-0-0-0.html> (дата звернення: 13.11.2021).
17. Сонячний трекер. Що це і кому варто встановлювати? URL: <https://prel.prom.ua/ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html> (дата звернення: 9.11.2021).
18. Сонячні електростанції на трекерах. URL: <https://setech.in.ua/solnechnye-jelektrostantsii-na-trekerah> (дата звернення: 12.11.2021).
19. Схилення (астрономія). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%85%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F\\_\(%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%8F\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%85%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_(%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%8F)) (дата звернення: 25.11.2021).

20. Тиш Є.В., Гончаренко О.Р. Алгоритм автоматизованого режиму роботи сонячного трекера. International Scientific Journal Grail Of Science. 2021. №10. С. 268–271.

Додаток А  
Апробація результатів роботи

Grail of  
Science  
Periodical scientific journal

ISSN 2710-3056

№ 10 November  
2021

The issue of journal contains

Proceedings of the II Correspondence  
International Scientific and Practical Conference

**SCIENCE OF POST-INDUSTRIAL  
SOCIETY: GLOBALIZATION AND  
TRANSFORMATION PROCESSES**

held on November 19<sup>th</sup>, 2021 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)  
LLC International Centre Corporate Management (Vienna, Austria)



Euro Science Certificate № 22338 dated 16.10.2021  
UKRISTEI (Ukraine) Certificate № 865 dated 22.10.2021

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL

## AND THEIR RADIO EQUIPMENT

Research group:

Brytov O., Chmil Yu., Dzhus V., Koplik O., Kozlov D., Kriuchkov D.,  
Lyaskovsky V., Medinets I., Sharapa I., Skopintsev O. ....248**СЕКЦІЯ XVI.  
ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГЕТИЧНЕ  
МАШИНОБУДУВАННЯ****СТАТТІ**

CONTROL SYSTEM OF ROBOT MANIPULATOR BASED ON DIGITAL CONTROLLER

Research group:

Biliuk I., Havrylov S., Savchenko O., Shareyko D., Malboroda O., Fomenko A. 257

**СЕКЦІЯ XVII.  
КОМП'ЮТЕРНА ТА ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ****СТАТТІ**

ZERO TRUST TECHNOLOGY APPLICATION FOR AI MEDICAL RESEARCH

Luchenko Y.V., Semenova V.V., Kravets N.S. ....264

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СОНЯЧНОГО  
ТРЕКЕРА

Тиш Є.В., Гончаренко О.Р. ....268

**СЕКЦІЯ XVIII.  
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МОДЕЛЮВАННЯ  
ТА ОПТИМІЗАЦІЯ****СТАТТІ**АНАЛІЗ ТОНАЛЬНОСТІ НОВОСТЕЙ О КРИПТОВАЛЮТЕ ПРИ  
ПОМОЦІ МОДЕЛИ BERT

Соболь А.А. ....272

ГЕНЕРУВАННЯ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО  
НАВЧАННЯ

Гаврілов В.С. ....277

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ БАЗОВОГО АКТИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ARIMA-GARCH МОДЕЛІ

Федейко Ю.В., Жиров О.Л. ....281

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ  
РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОГО ЗАБАРВЛЕННЯ ТЕКСТУ

Зайвелев Ю.І. ....285

ОСОБЛИВОСТІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ  
ЧАСОВИХ РЯДІВ

Безбах В.П., Яковлева А.П. ....288



DOI 10.36074/grail-of-science.19.11.2021.050

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

Тиш Євгенія Володимирівна 

канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
Україна

Гончаренко Олег Романович

здобувач освітнього рівня магістр кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
Україна

**Анотація.** В статті розглянуто метод визначення розташування Сонця на небосхилі та оцінювання двох основних його координат: кута висоти над горизонтом та азимутального кута. На основі даного розрахунку запропоновано алгоритм автоматизованої роботи сонячного трекера, що дозволить значно покращити ефективність генерації електроенергії сонячними електростанціями.

**Ключові слова:** сонячний трекер, кут висоти Сонця, азимутальний кут, алгоритм роботи.

На сьогоднішній день одним із найперспективніших видів генерації електроенергії є сонячні електростанції, доля яких в загальному обсязі видобутку електроенергії складає 3% та збільшується на 20% кожного року [1]. Ефективність роботи таких електростанцій залежить від способу розміщення фотоелектричної системи (наземне або дахове розміщення), особливостей рельєфу, орієнтації відносно сторін світу, а також умов інсоляції (вітру, запиленості повітря, хмарності, ранкових туманів, тощо).

Встановлено, що генерація електроенергії значно зростає, якщо фотоелектричної системи розмістити на нерухливій конструкції під оптимальним кутом до горизонту, що знаходиться в проміжку від 30 до 40 градусів [2]. Але найкращим способом підвищення ефективності генерації електроенергії сонячними електростанціями є застосування так званих сонячних трекерів, тобто пристроїв керування поворотом сонячних панелей в напрямку максимальної освітленості. Такі системи стежать за переміщенням Сонця по небосхилу протягом усього дня.

Існують безліч способів керування положенням сонячними панелями, але найбільш ефективним та точним способом є використання програмного управління, яке визначає точне розташування Сонця за допомогою формул небесної механіки виходячи з географічних координат точки спостереження й точного часу [3-5].

Враховуючи вище сказане, можна зробити висновок про актуальність розробки простого та доступного алгоритмічного та програмного забезпечення для визначення точного розташування Сонця для систем сонячних трекерів.

Для того, щоб навести сонячну панель в напрямку Сонця необхідно визначити горизонтальні координати: кут висоти Сонця та азимутальний кут (азимут). Центр даної системи координат збігається з місцезнаходженням спостерігача, а розрахунки ведуться відносно площини математичного горизонту.

Кутом висоти Сонця називається дуга вертикального кола від математичного горизонту до Сонця, або кут між площиною математичного горизонту та напрямком на світило [6].

Азимутальний кут (азимут) – це горизонтальна координата, що визначає кут між напрямком на та напрямком на південь. У дні рівнодення Сонце піднімається прямо на сході та сідає прямо на заході незалежно від широти, таким чином, азимутальні кути складають  $90^\circ$  на Сході та  $270^\circ$  на заході. Однак, в цілому, азимутальний кут змінюється в залежності від широти та пори року.

Для точного обчислення кута висоти Сонця та азимутального кута необхідно попередньо визначити наступні показники [7]:

- меридіан місцевого стандартного часу:

$$LSTM = 15 \cdot T, \quad (1)$$

де  $T$  – це різниця місцевого часу з універсальним координованим часом (UTC) в годиннику ( $T$  також дорівнює часовому поясу);

- рівняння часу, що коригує ексцентриситет орбіти Землі та нахил земної осі:

$$EoT = 9,87 \cdot \sin 2B - 7,53 \cdot \cos B - 1,5 \cdot \sin B, \quad (2)$$

де  $B$  розраховується згідно формули  $B = \frac{360}{365} (d - 81)$ , в якій  $d$  – кількість днів з початку року;

- місцевий сонячний час можна знайти, використовуючи попередні дві поправки для коригування місцевого часу

$$LST = LT + \frac{TC}{60}, \quad (3)$$

де  $LT$  – поточна година,

$TC$  – фактор корекції часу, що визначається за формулою:

$$TC = 4 \cdot (l - LSTM) + EoT,$$

в якій  $l$  – координата довготи спостерігача;

- кут схилення Сонця, що залежить від дня року, та обчислюється за формулою:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \cos \left( \frac{360}{365} \cdot (d + 10) \right), \quad (4)$$

де  $d$  – кількість днів з початку року;

- часовий кут, що перетворює місцевий сонячний час у градуси, на які Сонце рухається по небу, та визначається за формулою:

$$HRA = 15 \cdot LST. \quad (5)$$

Провівши розрахунки згідно формул (1)-(5) можна визначити кут висоти світила [4]:

$$\alpha = \sin(\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(HRA)) \quad (6)$$

де  $\varphi$  - широта місця розташування,

$\delta$  - кут схилення сонця, що обчислюється за формулою (4),

$HRA$  - часовий кут, що обчислюється за формулою (5).

Для визначення азимутального кута використовується наступна формула [4]:

$$Az = \cos\left(\frac{\sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) - \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(HRA)}{\cos(\alpha)}\right) \quad (7)$$

де  $\alpha$  - це висота над рівнем моря,

$\varphi$  - широта місця розташування,

$\delta$  - кут схилення Сонця, що обчислюється за формулою (4),

$HRA$  - часовий кут, що визначається згідно (5).

Запропонований метод розрахунку положено в основу алгоритму автоматизованої роботи сонячного трекера (рис.1).

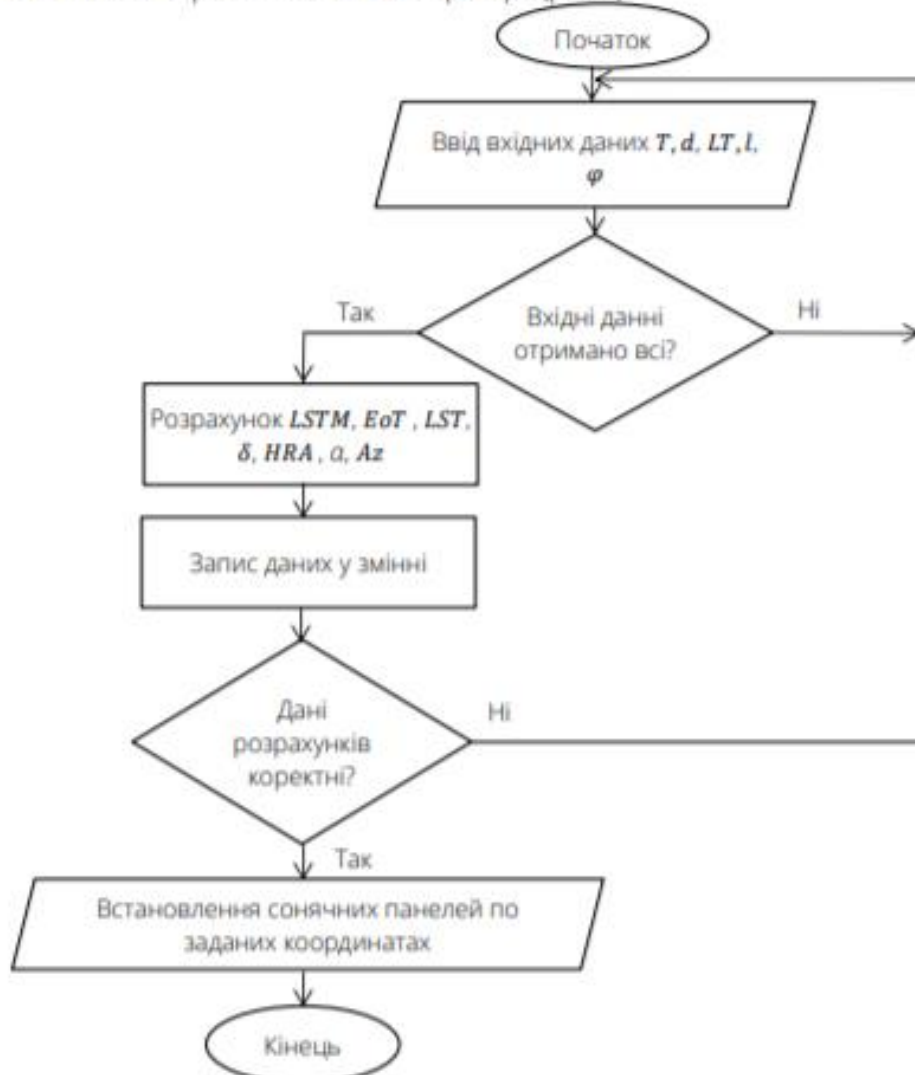


Рис. 1. Алгоритм автоматизованої роботи сонячного трекера

Вихідними даними алгоритму є часовий пояс  $T$ , кількість днів з початку року  $d$ , поточна година  $LT$ , координати довготи  $l$  та широти  $\varphi$  місця розташування сонячної електростанції. Оцінити програмну реалізацію алгоритму можна за посиланням [8]. На основі розрахунків кута висоти  $\alpha$  та азимуту  $Az$  можна точно виявити знаходження Сонця та встановити сонячні панелі під оптимальним кутом до нього.

**Висновки.** Ефективність генерації електроенергії напряму залежить від кута нахилу сонячних панелей до Сонця. Для забезпечення найоптимальнішого їх положення протягом дня є найкращим використання рухомих трекерів, що автоматично визначають динаміку зміни координат світила на небосхилі. В статті запропоновано метод визначення положення Сонця за двома координатами, а саме за кутом висоти Сонця та азимутальним кутом. Розроблений метод розрахунку положення в основу алгоритму автоматизованої роботи сонячного трекера.

#### Список використаних джерел:

- [1] *Статистика щодо розвитку відновлюваної енергетики. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України.* Вилучено з: <https://saee.gov.ua/uk/content/informatsiyi-materialy>.
- [2] Оптимальний кут сонячних панелей. *Сонячна енергія.* Вилучено з: [https://sun-energy.com.ua/articles/kut\\_paneli](https://sun-energy.com.ua/articles/kut_paneli).
- [3] Солнечные трекеры. Вилучено з: <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/solnechnye-trekery>.
- [4] Meysam Mahooti (2021). NREL's Solar Position Algorithm (SPA), *MATLAB Central File Exchange.* Retrieved from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/59903-nrel-s-solar-position-algorithm-spa>.
- [5] Reda, I.; Andreas, A. (2003). *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications.* 55 pp.; NREL Report No. TP-560-34302.
- [6] Літинський В. (Ред). (2001). *Геодезичний енциклопедичний словник.* Львів : Євровіт.
- [7] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. (2008). *Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов.* М.: Издательский дом МЭИ.
- [8] Сонячний трекер. Вилучено з: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.solartracker.android>.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина)  
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)  
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)  
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)  
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

# **АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Збірник**  
тез доповідей  
**Том I**

**X Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
24-25 листопада 2021 року



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2021**

- |     |                                                                                |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 9.  | <b>Ю.І. Пиндус, В.П.Калушка, Р.Р. Заверуха, О.Ю. Пиндус, Ю.І. Пипко</b>        | 77 |
|     | ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ РОБОТИ ДВИГУНА НА ДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ ТА БІОПАЛИВІ |    |
| 10. | <b>Р.М. Рогатницький, В.Л. Дмитроца, М.В. Грубешок, Р.П. Цапик</b>             | 79 |
|     | ТРАНСПОРТУВАННЯ НАСИПНОГО ПАЛИВА ГВИНТОВИМИ КОНВЕЄРАМИ                         |    |
| 11. | <b>Р.М. Рогатницький, Р. В. Хорошун, А.Д. Бобков, Р.Б. Шимків</b>              | 81 |
|     | МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ ТРАСІ                             |    |
| 12. | <b>В.В. Ткачук, Ю.С. Шуберт</b>                                                | 83 |
|     | ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЛОГІСТИЧНОГО СКЛАДУ                              |    |

#### СЕКЦІЯ: КОМПЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

- |     |                                                                                                                                     |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.  | <b>О.В. Балакунець, Є.В. Тиш</b>                                                                                                    | 84  |
|     | МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ                                       |     |
| 2.  | <b>О.М. Барановський, А.В. Жилін, Г.С. Голіч</b>                                                                                    | 85  |
|     | ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИРШЕННЯ ЗАДАЧІ ДЕТЕКТУВАННЯ ТОЧКОВИХ АНОМАЛІЙ У МЕРЕЖЕВОМУ ТРАФІКУ ЗАСОБАМИ SIEM SPLUNK |     |
| 3.  | <b>В.П. Волоський, Ю.З. Лещини, Н.Р. Романишин</b>                                                                                  | 87  |
|     | КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА БАЛАНСУВАННЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ                                                     |     |
| 4.  | <b>А. В. Гайдар, В. А. Готович</b>                                                                                                  | 89  |
|     | ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ                                                                   |     |
| 5.  | <b>О.Р. Гончаренко, Є.В. Тиш</b>                                                                                                    | 90  |
|     | СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ                                                                                                 |     |
| 6.  | <b>Р.О.Жаровський, Д.В.Дармопук</b>                                                                                                 | 91  |
|     | ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ                                                                                         |     |
| 7.  | <b>С.А.Криськова</b>                                                                                                                | 92  |
|     | ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ. ПОБУДОВА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ КАРТИ «ВИДАТНІ УКРАЇНСЬКІ ВЧЕНІ»                                  |     |
| 8.  | <b>Д.В. Кушинець, Ю.З. Лещини</b>                                                                                                   | 94  |
|     | ЗАСТОСУНОК ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДАНИХ РОЗУМНОГО БУДИНКУ                                                                                  |     |
| 9.  | <b>Р. М. Кучерешко</b>                                                                                                              | 95  |
|     | СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ПРОГРАМ                                        |     |
| 10. | <b>А.Д. Лавренів, І.В. Бойко</b>                                                                                                    | 97  |
|     | РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА WOLFRAM MATHEMATICA ТА МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ C++               |     |
| 11. | <b>Я.Р. Лапшин</b>                                                                                                                  | 99  |
|     | АНАЛІЗ ЗАГРОЗ КІБЕРБЕЗПЕКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВПЛИВУ                                                                               |     |
| 12. | <b>Р.В. Ларіоник, Н.С. Луцик</b>                                                                                                    | 100 |
|     | КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ                                                          |     |
| 13. | <b>Ю.З. Лещини, З.В. Кузик</b>                                                                                                      | 101 |
|     | МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗРОБКИ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ                                         |     |

УДК 044.3; 621.3

О.Р. Гончаренко, Є.В. Тиш, канд. техн. наук

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ

O.R. Honcharenko, Ie.V. Tysh, Ph.D

### SOLAR TRACKER CONTROL SYSTEMS

Сонячний трекер або система спостереження за Сонцем – це пристрій, який призначений для відстеження руху сонця по небосхилу та орієнтації фотоелектричних панелей під оптимальним кутом, що складає 90 градусів, до сонячних променів протягом дня.

На сьогоднішній день практичне застосування знайшли сонячні трекери двох типів [1,2]:

– одноосьові, що обертають фотоелектричні панелі тільки в одній з площин: горизонтальній або вертикальній;

– двоосьові, що забезпечують орієнтацію фотоелектричних панелей за двома осями обертання та мають максимальний ККД фотоперетворення протягом всього року.

Зазначені сонячні трекери можуть бути реалізовані на основі різних методів керування, що зводяться до трьох основних систем [3].

Перша система містить фотодатчики, які отримують інформацію про поточне місцеперебування сонця на небі. Пристрій керування сонячного трекера аналізує показники та на основі них зорієнтовує фотоелектричну панель в напрямку сонця. Суттєвим недоліком даної системи є те, що в похмуру погоду або через забрудненість фотодатчиків інформація, отримана за їх допомогою, буде суттєво відрізнитися і, тому, трекеру не вдасться коректно визначити положення сонця.

Іншою системою керування сонячним трекером є система, що оснований на використанні таймеру та заздалегідь розрахованої в ручну інформації про положення сонця, що згодом вносяться в пристрій. Точність орієнтації за допомогою таких пристроїв є невеликою, оскільки сонце протягом року змінює свій час сходу та заходу, а також розташування щодо горизонту.

Найбільш ефективною є система керування третього типу, в якій пристрій керування, виходячи з географічних координат і точного часу, самостійно розраховує положення сонця за допомогою формул небесної механіки. На основі цих даних сонячний трекер може точно зорієнтувати фотоелектричну панель в напрямку сонця.

Доповідь присвячено огляду існуючих варіантів встановлення сонячних трекерів, їх характеристикам, обґрунтуванню вибору методів їх керування, а також вибору апаратного та програмного забезпечення для побудови комп'ютеризованих систем стеження за Сонцем.

#### Література:

1. Сонячний трекер. Що це і кому варто встановлювати? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prel.prom.ua/ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html>
2. Сонячні електростанції на трекерах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://setech.in.ua/solnechnye-jelektrostancii-na-trekerah>
3. Солнечный трекер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://greenchip.com.ua/26-0-0-0.html>

## Додаток Б

## Код функції «WriteOled»

```

void WriteOled(){
  if(millis() - Timer_OLED_UPDATE >= 10000){
    Timer_OLED_UPDATE = millis();
    Voltages=analogRead(A7)* (5.0 / 1024.0);
    oled.clear();
    oled.setScale(1);
    oled.setCursor(10, 0);
    if(Date < 10) oled.print("0");
    oled.print(Date);
    oled.print(".");
    if(Month < 10) oled.print("0");
    oled.print(Month);
    oled.print(".");
    oled.print(Year);
    oled.print(" ");
    if(Hour < 10) oled.print("0");
    oled.print(Hour);
    oled.print(":");
    if(Minute < 10) oled.print("0");
    oled.print(Minute);
    if(TimeZone < 0) oled.print(" -"); else oled.print(" +");
    oled.print(TimeZone);
    oled.fastLineH(10, 0, 128);
    oled.setCursor(0, 2);
    oled.print("Висота: ");
    oled.print(Elevation__Degrees);
    oled.print("*");
    oled.setCursor(0, 3);
    oled.print("Азимут: ");
    oled.print(Azimuth__Degrees);
    oled.print("*");
    oled.setCursor(0, 4);
    oled.print("Зеніт: ");
    oled.print(Zenith__Degrees);
    oled.print("*");
    oled.setCursor(0, 5);
    oled.print("Напруга: ");
    oled.print(Voltages);
    oled.print(" В");
    oled.setCursor(0, 6);
    oled.print("Схід Сонця: ");
    oled.print(ToString_TimeHM(sunrise));
    oled.setCursor(0, 7);
    oled.print("Захід Сонця: ");
    oled.print(ToString_TimeHM(sunset));
  }
}

```



Додаток В  
Блок управління сонячним трекером



Додаток Д

<i>Поз. позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	Конденсатори		
C1, C2	CAP CER 1uF 6.3V 10% X5R 0603	2	
C3, C6, C7	CAP CER 0.1uF 50V 10% X7R 0603	3	
C4, C5	CAP CER 100nF 50V 10% X7R 0603	2	
	Кварцовий резонатор		
Y1	CER RESONATOR 16MHz	1	
	Діод		
D1	1N4148 100V 200mA	1	
	Мікросхеми		
U1	FT232RL	1	
U2	ATMEGA328	1	
U3	LM7805EE	1	
U4	DISPLAY-OLED-128X64-I2C	1	
U5	24C32	1	
U6	LM393	1	
U7	DS3231	1	
U8	ULN2003	1	
USB1	ST-USB-001G	1	
ICSP1	HDR2X3	1	
	Світлодіоди		
LED1...LED6, LED11	LED CHIPLED 570NM GREEN 0805 SMD	7	
LED7...LED10	LED 570NM GREEN FYL-5013	4	
	Резистори		
R1, R2, R5, R10, R13...R17, R19	RES ARRAY 1K OHM 4 RES 1206	10	
R3, R4, R6, R7	RES ARRAY 330 OHM 4 RES 1206	4	
R8, R9	RES ARRAY 4.7K OHM 4 RES 1206	2	
R11, R18	RES ARRAY 10K OHM 4 RES 1206	2	
R12	RES ARRAY 200 OHM 4 RES 1206	1	

КС КП 123.327.000 ПЗ

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гончаренко О.Р.			Сонячний трекер  Перелік елементів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Тиш С.В.					1	2
<i>Реценз.</i>						ТНТУ, ФІС, гр. СІМ-61		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Зав. каф.</i>		Осухівська Г.М.						

