



Відокремлений підрозділ Національного університету  
біоресурсів і природокористування України  
“Бережанський агротехнічний інститут”

Факультет енергетики та електротехніки



**Тема студентської наукової роботи:**

**«АНАЛІЗ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ  
ТРЕКЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ  
СТАНЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ»**

1

**Автори роботи:**

Ануліч О.Р. (№61), Харкевич В.А. (№62)

**Науковий керівник:**

Бунько В.Я. - канд.техн.наук, доцент, декан факультету енергетики та електротехніки

## Мета дослідження

Обґрунтування та аналіз впровадження трекерних сонячних установок, які використовуються за допомогою технічної системи поляризації фотоелектричних елементів для живлення споживачів електричної енергії.



## Об'єкт дослідження

Система трекерної установки з використанням позиціонування сонячних елементів для ефективного виробництва електричної енергії.



## Предмет дослідження

Параметри та процес роботи трекерної сонячної установки з використанням системи позиціонування фотоелектричних елементів.

## Методи досліджень

Основними методами дослідження таких систем є проведення випробувань сонячних перетворювачів в умовах близьких до експлуатаційних під час їх інсоляції сонячною радіацією або в лабораторних умовах з використанням сертифікованих та паспортизованих приладів-імітаторів відповідно до чинних нормативних документів.

## Актуальність роботи



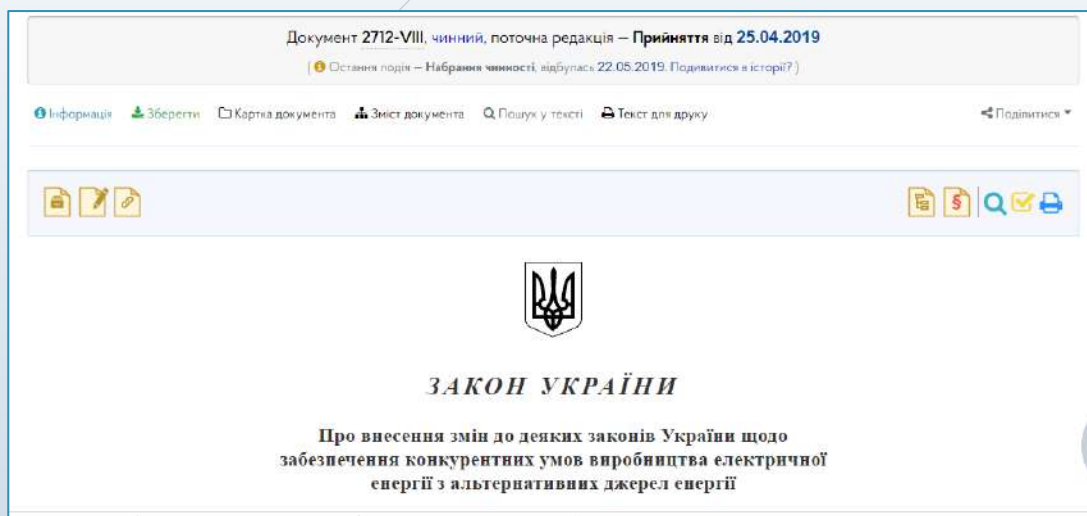
## Наукова новизна та практична цінність дослідження

Зменшення обсягів природних ресурсів та необхідність переходу на більш екологічні джерела електричної енергії призвело до активного впровадження так званих «зелених технологій», зокрема сонячних та вітроелектростанцій. Нині даний напрям розвитку енергетичної галузі визнано найбільш перспективним в усій Європі.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, забезпечить зміцнення енергетичної незалежності країни. Проте зі збільшенням кількості сонячних електростанцій виникне необхідність їх розвитку. Одним із способів збільшення виробітку сонячних панелей є будівництво спеціалізованих конструкцій, які здійснюють стеження за положенням сонця з метою забезпечення максимальної ефективності сонячних модулів – сонячних трекерів.

**Наукова новизна та практична цінність роботи** полягає у використанні трекерних систем для сонячних електростанцій, яка дозволить максимально ефективно отримати кількість виробленої електричної енергії за рахунок зміни кута для максимальної інсоляції сонячної радіації на фотоелектричні елементи при використанні мікропроцесорних систем керування та збільшення ККД сонячної електростанції.

# Зв'язок роботи з науковими програмами



## Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0120U101845

Відкрита

Дата реєстрації: 03-04-2020

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



### 1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 43 - власна ініціатива (якщо робота виконується з власної ініціативи за кошти виконавця НДР або безкоштовно)

КПКВК:

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Виконана робота є складовою частиною вирішення наукового завдання з дослідження та впровадження трекерних сонячних установок в системі електропостачання в рамках комплексної державної науково-технічної програми «Енергетика та енергоефективність» затвердженої Кабінетом Міністрів України №543-р від 26.07.2018р., наукової тематики кафедри енергетики і автоматики ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» «Дослідження відновлювальних джерел енергії та енергозберігаючих технологій в АПК» (номер державної реєстрації №0120U101845) та відповідно до Закону України №2712-VIII від 25.04.2019р. «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії».

# Матеріали проведених наукових досліджень за даною темою доповідались на міжнародних конференціях



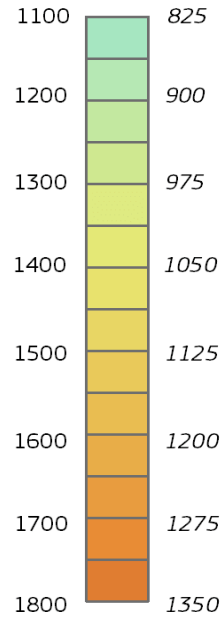
IV  
INTERNATIONAL SCIENCE CONFERENCE  
"PROSPECTS AND ACHIEVEMENTS IN APPLIED  
AND BASIC SCIENCES"  
Budapest, Hungary  
February 9 – 12

Бунько В.Я., Ануліч О.Р., Харкевич В.А. Аналіз способів керування трекерною установкою для сонячних електричних станцій систем електрозабезпечення. The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences», February 9–12, 2021, Budapest, Hungary. P. 654-656.

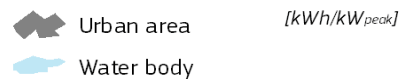
Бунько В.Я., Ануліч О.Р. Аналіз використання трекерних системи для сонячних електричних станцій. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. Переяслав, 2021. Вип. 67. С. 561-565.



Yearly sum of global irradiation  
[kWh/m<sup>2</sup>]



Yearly sum of solar electricity  
generated by 1kW<sub>p</sub> system  
with performance ratio 0.75



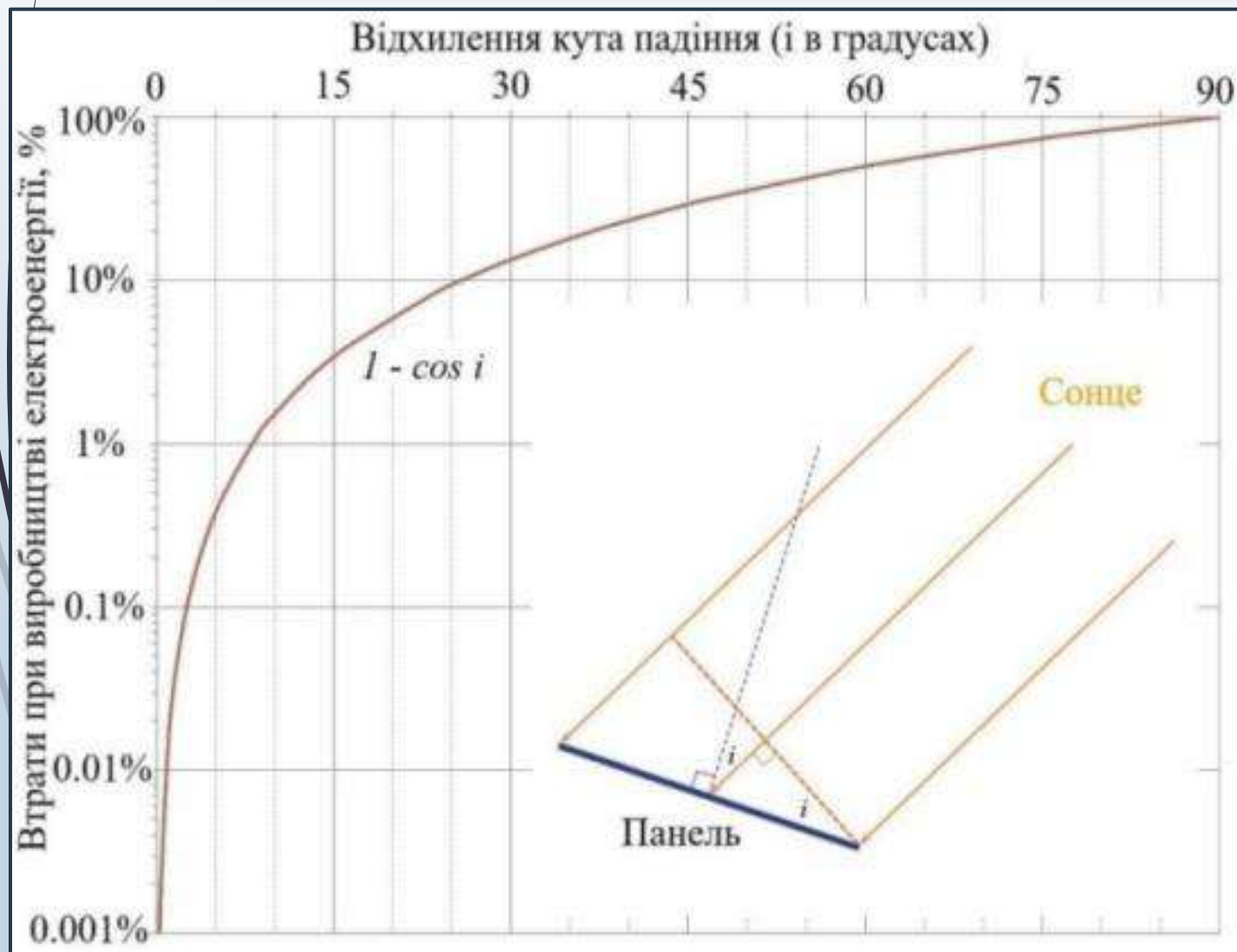
Projection: Lambert Azimutal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°  
Source of ancillary data:  
CORINE Land Cover  
DTM SRTM-30  
GISCO database  
Geonames  
Natural Earth

Joint  
Research  
Centre

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
European Commission • Joint Research Centre  
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

**Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні**

## Графік залежності між втратами при виробництві електроенергії і величиною відхилення кута падіння сонячних променів



Як відомо, сонячні панелі мають максимальний ККД в тому випадку, коли вони розташовані перпендикулярно падаючим на них сонячним променям. Але сонце переміщується за небосхилом, як результат, стаціонарно встановлені панелі через це втрачають частину своєї ефективності.

Даний графік показує залежність між величиною втрат при виробництві електроенергії сонячними батареями і величиною кута відхилення від оптимального положення площини панелі. З графіка залежності видно, що трекер при точності  $\pm 5^\circ$  забезпечує панель уловленням більше 99,6% енергії прямо падаючих променів та 100% розсіяного світла.

# Основні типи трекерів

8

Трекер обирається в залежності від умов, в яких він буде експлуатуватися. Погодні умови та площа для монтування установки відіграють основну роль при виборі трекера





Кількість сонячної енергії, що виробляється за рік фотоелектричною станцією визначається за формулою:

$$E_{\text{год}} = \sum_1^{365} W_i \cdot S \cdot \eta_{inv};$$

де  $W_i$  – енергія, вироблена з  $1\text{м}^2$  поверхні під нахилом за один день;  $S$  – загальна ефективна площа сонячної станції.

Загальна ефективна площа сонячної станції визначається за формулою :

$$S = N_m \cdot N_c \cdot S_c;$$

де  $N_m$  – кількість сонячних модулів в станції;  $N_c$  – кількість фотоелектричних кристалів на одному модулі, для вибраної моделі панелей рівняється 60;  $S_c$  – площа одного фотоелектричного кристала.

Енергія, вироблена за 1 день з  $1\text{м}^2$  похилої поверхні, визначається за формулою:

$$W_i = E_i \cdot \eta_m;$$

де  $E_i$  – сонячна енергія, що падає на  $1\text{м}^2$  похилої поверхні за один день;  $\eta_m$  – ККД сонячної панелі.

Сонячна інсоляція на  $1\text{м}^2$  похилій поверхні визначається за формулою:

$$E_i = \frac{E_{\text{гор}}}{\sin \alpha_i} \cdot \sin(\alpha_i + \beta);$$

де  $E_{\text{гор}}$  – сонячна енергія, що отримується за добу на  $1\text{м}^2$  горизонтальної поверхні;  $\alpha_i$  - кут висоти Сонця;  $\beta$  - кут нахилу сонячної панелі.

Кількість енергії, що виробляється з усієї фотоелектричної станції

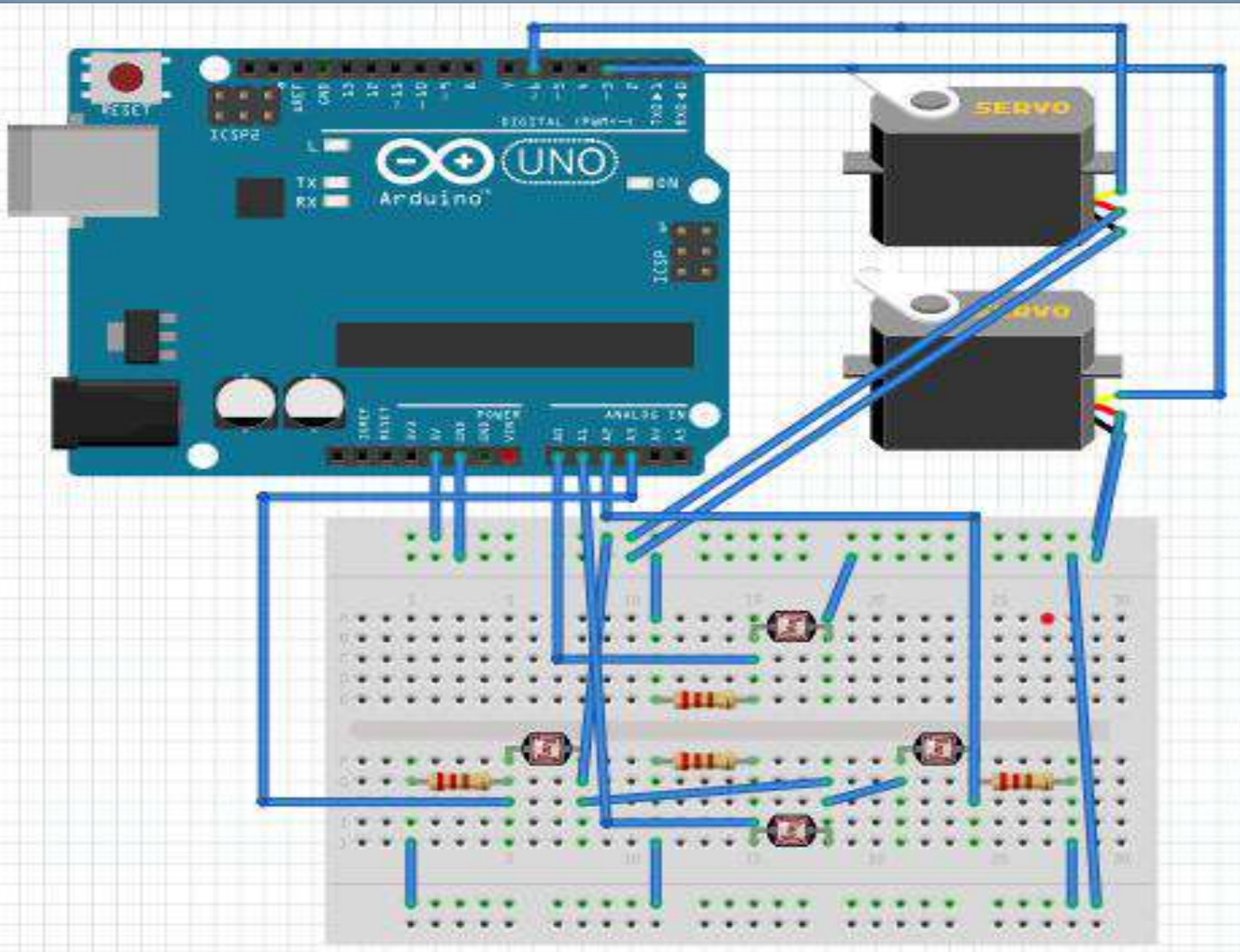
$$E_d = W_i \cdot S$$

# Загальний вигляд дослідної сонячної електростанції

10



# Схема підключення основних елементів до апаратного модуля Arduino



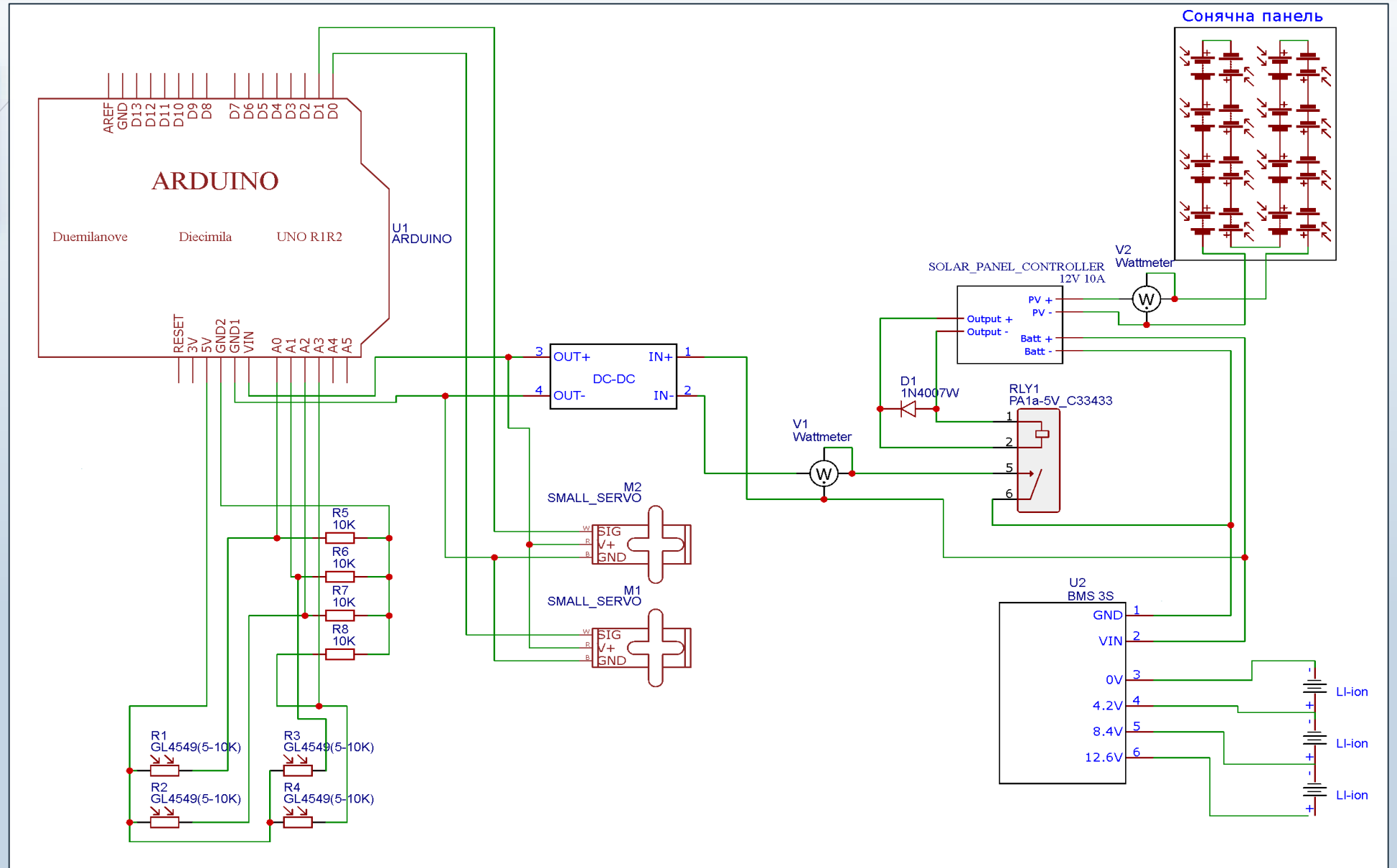
В даній установці прототип сонячного трекера збирався на базі Arduino. Для обертання платформи в горизонтальній і вертикальній осі використовуються сервоприводи, кут повороту, яких залежить від потужності падаючого на фоторезистори світла.

Для реалізації технічного рішення використані такі елементи:

- апаратна платформа (мікроконтролер) Arduino UNO;
- сервопривід – 2х;
- фоторезистор – 4х;
- резистор 10 кОм – 4х.

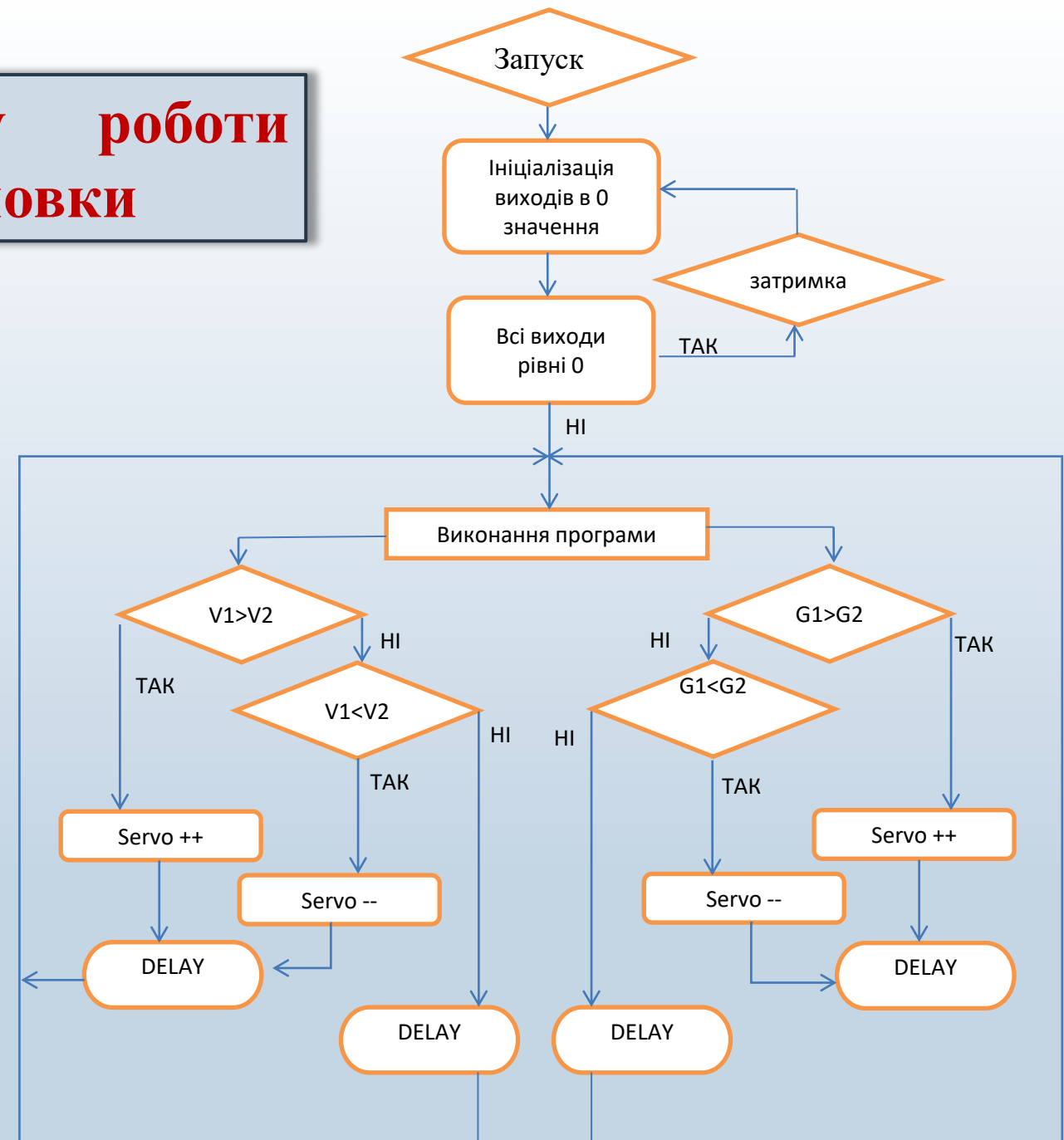
# Принципова електрична схема керування установкою

12



## Блок-схема алгоритму роботи трекерної сонячної установки

Загальний алгоритм роботи полягає в обробці даних з фоторезисторів за допомогою АЦП, який базується на 4 елементах, тобто 4 показники, які знаходимо як різницю значень між лівим і правим або верхнім і нижнім елементом. Якщо різниця більша ніж умовне значення, відбувається поворот панелі до того моменту, коли значення з фоторезисторів не будуть рівні.



## Послідовність розробки програмного середовища управління

**Цикл програмування Arduino спрощено виглядає так:**

- 1) Приєднання мікроконтролерної плати до USB-порту персонального комп'ютера;
- 2) Написання програми-скетч;
- 3) Завантаження цього скетчу на плату через USB-з'єднання та перезапуск плати;
- 4) Виконання зчитування платою сформованого скетчу, який вже вбудований в неї і завантаження одного із попередньо завантажених програматорів.

*Також в Arduino IDE містяться вбудовані приклади скетчів, що дають змогу побачити можливості плати та різноманітних модулів до неї.*

*Arduino IDE дозволяє перевірити скетч на наявність помилок до того, як він буде завантажений до плати. Для цього необхідно зайти в пункт меню «скетч» та обрати підпункт «перевірити/компілювати», або ж лише натиснути на першу кнопку на панелі інструментів, після чого буде зкомпільовано код скетчу на комп'ютері та у консолі буде виведено результат виконання даної операції.*

# Загальний вигляд робочого середовища Arduino IDE

15

The image displays the Arduino IDE environment. The main window shows a code editor with the following C++ code:

```
sketch_apr16a | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

sketch_apr16a $
b = analogRead(A5);
l = map(l, 0, 1023, 0, 180);
r = map(r, 0, 1023, 0, 180);

if(l>r){
  horise++;
  myservo.write(horise);
}
if(l<r){
  horise--;
  myservo.write(horise);
}
t = map(l, 0, 1023, 0, 180);
b = map(r, 0, 1023, 0, 180);

if(t>b){
  vertical++;
  myserv.write(vertical);
}
if(t<b){
  vertical--;
  myserv.write(vertical);
}

Serial.println(l);
Serial.print(r);
Serial.print(' ');
Serial.print(t);
Serial.print(b);
delay(250);
}
```

Overlaid on the right is a browser window showing the Arduino website's download page for the IDE. The page title is "Download the Arduino IDE" and the version is "ARDUINO 1.8.13". The text describes the IDE as open-source and compatible with Windows, Mac OS X, and Linux. A red box highlights the "Windows Installer, for Windows 7 and up" download option. Other options include "Windows ZIP file for non-admin install", "Windows app", "Mac OS X 10.10 or newer", and various Linux distributions (32-bit and 64-bit). Links for "Release Notes", "Source Code", and "Checksums (sha512)" are also visible.

# Код програмування

16



```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
Servo myserv;
int l;
int r;
inthorise;
int vertical;
int t;
int b;
void setup() {
  myservo.attach(9);
  myserv.attach(6);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  l = analogRead(A2);
  r = analogRead(A3);
  t = analogRead(A4);
  b = analogRead(A5);
  l = map(l, 0, 1023, 0, 180);
  r = map(r, 0, 1023, 0, 180);
```

```
if(l>r){
  horise+=1;
  myservo.write(horise);
}
if(l<r){
  horise-=1;
  myservo.write(horise);
}
t = map(l, 0, 1023, 0, 180);
b = map(r, 0, 1023, 0, 180);
if(t>b){
  vertical+=1;
  myserv.write(vertical);
}
if(t<b){
  vertical-=1;
  myserv.write(vertical);
}
Serial.println(l);
Serial.print(r);
Serial.print(' ');
Serial.print(t);
Serial.print(b);
delay(250);
}
```



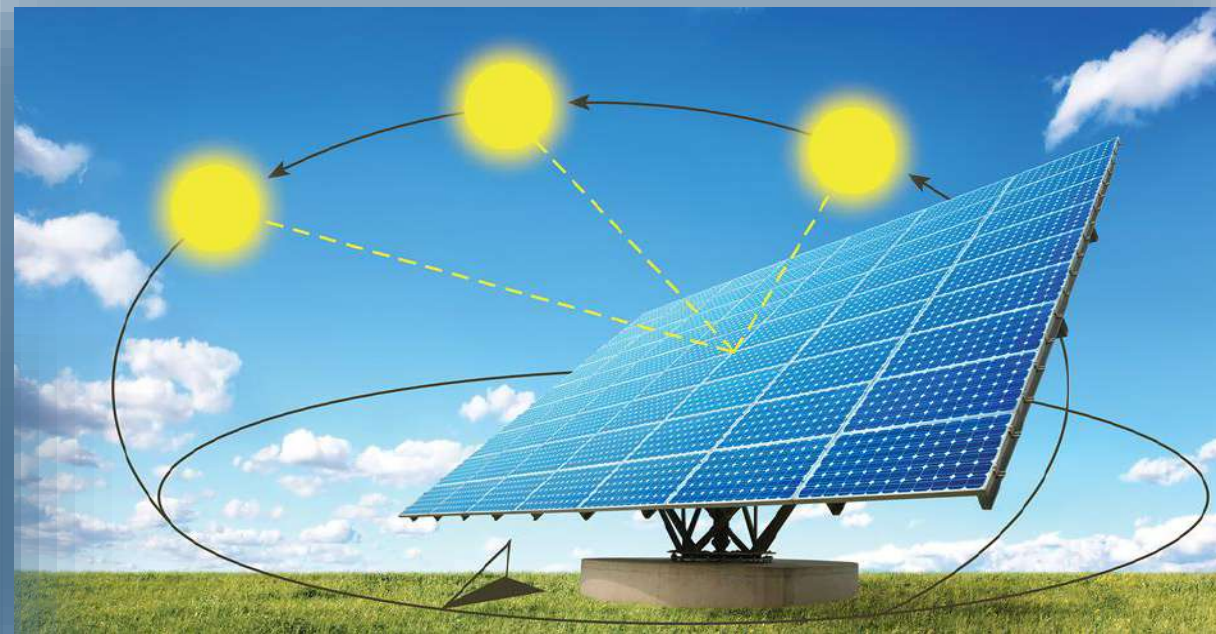
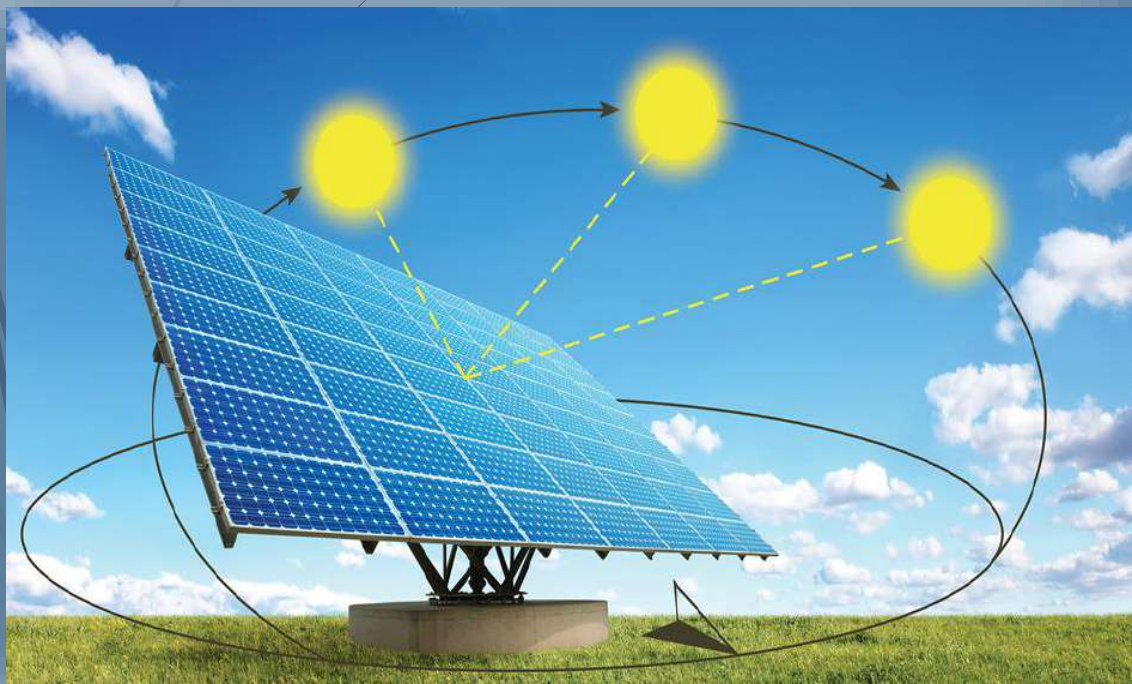
## Висновки

1. Підвищити ефективність роботи фотоелектричних модулів (ФЕМ) допомагають трекери. Це спеціальні динамічні системи, на які монтуються сонячні батареї, котрі мають рухому конструкцію - вони автоматично змінюють кут нахилу і положення встановлених панелей відповідно до розташування сонця в певний момент часу; забезпечують автоматичне орієнтування сонячних панелей по куту до горизонту, по азимуту (напрямку по сторонах світу), що дозволяє генерувати більшу кількість енергії.
2. З точки зору енергетичної ефективності, раціональнішим є застосування методу з алгоритмом управління з меншою точністю позиціонування. Це пов'язано з тим, що для забезпечення менш точного позиціонування потрібно витратити значно меншу кількість енергії й при цьому генерація енергії зменшується не так значно.
3. Варто зазначити, що така закономірність обмежується точністю позиціонування  $10^\circ$  для монокристалічних панелей та  $30^\circ$  для полікристалічних і панелей з аморфного кремнію. Проте при виборі алгоритму для застосування в реальних умовах варто брати до уваги не лише енергетичну ефективність, але й техніко-економічні показники.

# Дякуємо за увагу!!!

## Автори роботи:

Ануліч Олег Робертович (№61),  
Харкевич Володимир Анатолійович №62)



## Науковий керівник:

Бунько В.Я. - канд. техн. наук, доцент,  
декан факультету енергетики та  
електротехніки