

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ДВОХОСЬОВОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА З ФУНКЦІЄЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОВЕРХНІ

¹Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

Сучасні тенденції розвитку відновлюваної енергетики свідчать про необхідність підвищення ефективності фотоелектричних станцій, що досягається не лише шляхом точного орієнтування панелей на сонце, а й підтриманням чистоти їхньої робочої поверхні. Накопичення пилу, бруду чи снігу суттєво знижує коефіцієнт корисної дії систем. Використання сучасних методів виявлення забруднення дозволяє мінімізувати енергетичні втрати. У статті описані ці методи, а також запропоновано новий на базі мікроконтролера ESP32, який широко використовується у двохосьових сонячних трекерах.

Ключові слова: двохосьовий трекер, забруднення, моніторинг, піранометр, ESP32, кроковий двигун.

Abstract

Modern trends in the development of renewable energy indicate the need to increase the efficiency of photovoltaic stations, which is achieved not only by accurately orienting the panels to the sun, but also by maintaining the cleanliness of their working surface. The accumulation of dust, dirt or snow significantly reduces the efficiency of the systems. The use of modern methods of detecting pollution allows you to minimize energy losses. The article describes these methods, and also proposes a new one based on the ESP32 microcontroller, which is widely used in two-axis solar trackers.

Keywords: two-axis tracker, pollution, monitoring, pyranometer, ESP32, stepper motor.

Вступ

Ефективність сонячних електростанцій безпосередньо залежить від коефіцієнту пропускання захисного скла фотомодулів. Накопичення пилу, бруду чи промислових викидів створює екрануючий ефект, чим зменшує коефіцієнт пропускання, що призводить до падіння генерації від 5% до 50%. Проте найбільш критичною проблемою у зимовий період є забруднення снігом. У цьому випадку падіння генерації потужності може досягати 100%, фактично зупиняючи роботу станції.[1]

Основною метою дослідження є розробка та програмна реалізація алгоритму виявлення забруднення поверхні фотоелектричного модуля двохосьового сонячного трекера шляхом порівняння фактичних показників генерації з теоретично очікуваними, що дозволяє відмовитись від високовартісних методів виявлення. Впровадження цієї системи дозволяє автоматизувати процес прийняття рішення про необхідність очищення.

Метою є підвищення енергоефективності системи двохосьового сонячного трекера, шляхом автоматичного виявлення забруднення поверхні фотоелектричного модуля без використання високовартісних методів.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного орієнтування фотоелектричних панелей на сонце та моніторинг їхнього стану поверхні.

Предметом дослідження є методи та засоби моніторингу стану поверхні фотоелектричного модуля.

Основна частина

Аналіз джерел показав, що існує кілька основних підходів моніторингу стану поверхні сонячних панелей.

Оптичний метод базується на порівнянні даних з піранометра – сенсора, що вимірює сонячну радіацію (Вт/м^2) та дозволяє обчислити коефіцієнт ефективності сонячної системи. Для точного виявлення саме забруднення, а не деградації панелей через температурний вплив, дані з піранометра мають корегуватися з урахуванням температури модулів, що потребує додаткового встановлення сенсора температури. [2,3]

Інший підхід, що має багато варіацій, полягає у порівнянні пари еталонних фотоелектричних пристроїв, один з яких регулярно очищується, а інший забруднюється природним чином з тією ж швидкістю, що й фотоелектричний модуль. Вимірювання на чистому та забрудненому пристроях мають відбуватися майже одночасно (з різницею не більше 2 секунд), щоб виключити вплив мінливої хмарності. Цей підхід вважається найбільш точним, але потребує постійного очищення еталонного фотоелектричного елемента та суттєвих капіталовкладень порівняно з іншими методами.[2]

Запропонований підхід дозволяє не використовувати високовартісні сенсори. Натомість, математично визначати зменшення генерації фотоелектричного модуля сонячного трекера під впливом бруду наступним чином. Мікроконтролер ESP32, який вже використовується в подібних трекерах, через вбудований Wi-Fi модуль звертається до метеорологічного сервера Open-Meteo API (безкоштовний варіант до 10000 запитів на день), отримує точні дані про глобальне сонячне випромінювання (GTI - Global Tilted Irradiance) для конкретних координат (м. Вінниця) і куту встановлення сонячних панелей у режимі реального часу, а також очікувану потужність, яку мала б генерувати станція, корегує та порівнює її з фактично генерованою. Якщо ж втрата потужності через забруднення перевищує 20%, інформується власник.

Таким чином, кожен із розглянутих підходів має свої переваги та недоліки: оптичний метод потребує піранометра та сенсора температури. Підхід з парою еталонних фотоелектричних пристроїв хоча й має найвищу точність вимірювання, але також потребує великих капіталовкладень, як і попередній. Другим суттєвим недоліком є потреба у постійному очищенні одного з еталонних пристроїв. Запропонований підхід хоча й має нижчу точність вимірювання, проте не потребує ніякого додаткового обладнання.

Загальна структурна схема системи керування сонячним трекером з функцією інтелектуального моніторингу стану поверхні приведена на рис. 1.

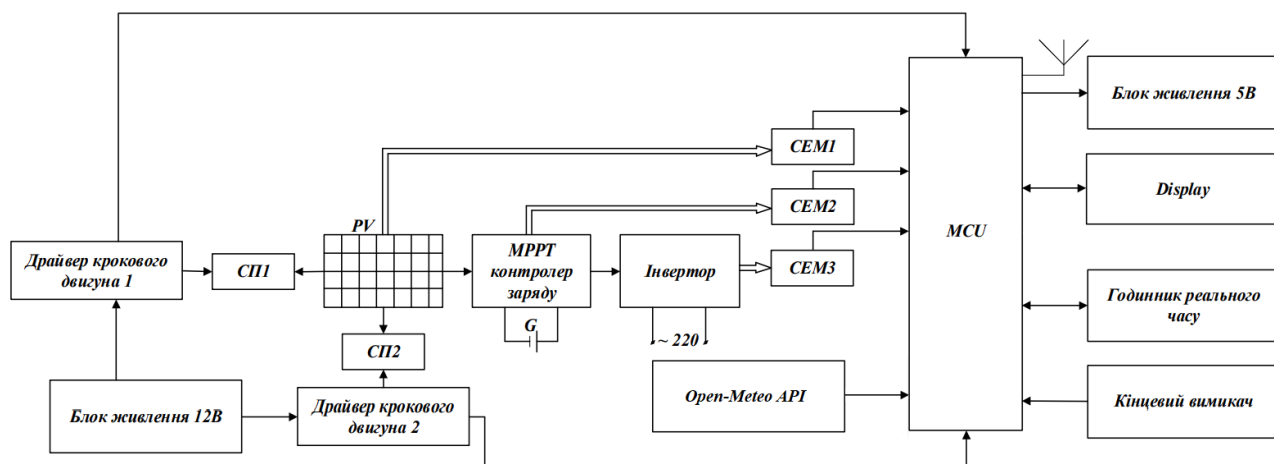


Рисунок 1 - Структурна схема системи керування сонячним трекером з функцією інтелектуального моніторингу стану поверхні

Фотоелектричний модуль PV з кроковими двигунами 1-2 та вбудованими датчиками повороту СП1-2, підключені через контролер заряду до навантаження та акумуляторної батареї G. Для визначення струмів та напруги панелі, навантаження та акумулятора використано цифрові сенсори СЕМ 1-3. Дані

з Open-Meteo та вихідні сигнали сенсорів пропорційні струму та напрузі поступають до мікроконтролера MCU, для подальшої обробки та аналізу даних. Після всіх обрахунків, в разі визначення забруднення фотоелектричного модуля, мікроконтролер по каналу зв'язку 2.4 GHz(Wi-Fi) надсилає Push-сповіщення власнику.

Висновки

Було проаналізовано основні методи моніторингу стану поверхні фотоелектричного модуля двохосового сонячного трекара згідно з ДСТУ EN IEC 61724-1:2022. Проведений аналіз показав основні переваги та недоліки кожного з методів та дозволив запропонувати новий підхід для визначення забрудненості поверхні фотоелектричного модуля. Використання сучасних засобів автоматизації, зокрема мікроконтролерів з вбудованим Wi-Fi, дозволяє забезпечити автоматизацію процесу виявлення забруднення та інформування власника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваль А.В. Вплив забруднення поверхні фотоелектричних панелей на їх ефективність. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/43063/4/%d0%9a%d0%be%d0%b2%d0%bb%d1%8c%20%d0%90.%d0%92._%d1%80%d0%be%d0%b1%d0%be%d1%82%d0%b0.pdf (дата звернення: 22.03.2026).
2. ДСТУ EN IEC 61724-1:2022. Ефективність фотоелектричної системи. Частина 1. URL: http://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_iec_61724_1_2022_efektivnist_fotoelektrichnoi_sistemi.pdf (дата звернення: 22.03.2026).
3. Піранометр : технічні характеристики та опис пристрою. URL: <https://tesup.com/ua/products/piranometr> (дата звернення: 22.03.2026).

Кушнір Дмитро Анатолійович – ст. гр. ЕМСА-22б, факультет Електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, ел. пошта: djmakushnir@gmail.com.

Науковий керівник: **Проценко Дмитро Петрович** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ел. Пошта procenko.d.p@vntu.edu.ua

Kushnir Dmytro Anatoliyovych – student of the group EMSA-22b, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: djmakushnir@gmail.com.

Scientific advisor: **Protsenko Dmytro Petrovych** – Cand., Sc., Assistant Professor at the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine. Email: procenko.d.p@vntu.edu.ua.