

ТРЕКЕР ДЛЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

І. М. Жолубак, В. Ю. Матвієць

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

E-mail: Ivan.m.Zholubak@lpnu.ua, viktor.matviets.ki.2018@lpnu.ua

© Жолубак І. М., Матвієць В. Ю. 2022

У статті досліджено пристрій для відслідковування положення сонця протягом дня – трекер для сонячних електростанцій. Розглянуто практику використання сонячних трекерів, як пристрою для підвищення ефективності сонячних електростанцій. Визначено актуальність цієї розробки в Україні та перспективи її розвитку. Проаналізовано методи та принципи збільшення ефективності перетворення сонячної енергії у електричну, доцільність використання трекерів для сонячних електростанцій.

Метою статті є аналіз конструкції та принципів управління двовісного сонячного трекера та алгоритму керування кутом нахилу сонячних панелей, розміщених на рухомій платформі, відносно отриманих даних про розміщення сонця.

У статті представлено трекер для сонячних електростанцій, його структуру та алгоритм роботи. Показано, що принцип роботи полягає в аналізі поточного положення сонця та автоматичному встановленні рухомої платформи з сонячними панелями у найефективніше положення.

Ключові слова: трекер для сонячних електростанцій, сонячний трекер, відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

Вступ

Стрімкий розвиток суспільства, науки та техніки у наш час зумовив величезний попит на енергоресурси – майже у всіх сферах життєдіяльності людини використовується енергія, та з кожним роком потреби в ній збільшуються.

Сьогодні використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є одним із основних пріоритетів розвитку світової енергетики. Необхідність використання ВДЕ зумовлюється не лише обмеженими запасами корисних копалин, але й вимогами до зменшення викидів у атмосферу парникових газів, перш за все – діоксиду вуглецю, що сприятиме зменшенню парникового ефекту.

Теоретично можливий річний потенціал ВДЕ планети перевищує потенційні запаси органічного та ядерного палива в 15 разів, і майже у 80 разів перевищує запаси традиційних енергоресурсів. За прогнозами, лише сонячна енергетика вже може скласти конкуренцію сучасній традиційній енергетиці на базі викопного палива. Потенційно використанням лише 0,0125 % енергії Сонця, що потрапляє на поверхню Землі, можна забезпечити всі сьогоdnішні потреби світової енергетики [3].

Сонячна енергія – це енергія, що надходить на Землю від Сонця у вигляді сонячної радіації та світла. З усіх ВДЕ сонячна енергія є найбільш доступним та невичерпним джерелом енергії, використання якого можливе майже на всій поверхні Землі. Саме тому сонячна енергетика – один із найбільш перспективних та прогресуючих напрямів у використанні енергії ВДЕ.

Для України питання енергоресурсів є особливо актуальним, оскільки споживання енергоресурсів здебільшого зорієнтовано на невідновлювані джерела енергії, велику частку яких Україна імпортує. Також, станом на 2022 рік, питання енергоефективності та енергонезалежності для України є вкрай важливим через пошкодження та неможливість використання власних джерел енергії внаслідок військового вторгнення РФ в Україну.

Потенціал сонячної енергії в Україні є досить високим, оскільки клімат та географічне положення країни є сприятливими для розвитку сонячної енергетики. Рівень інсоляції – кількість сонячного випромінювання на квадратний метр поверхні Землі, в більшості областей України перевищує аналогічні показники країн Європи (рис. 1) [1].

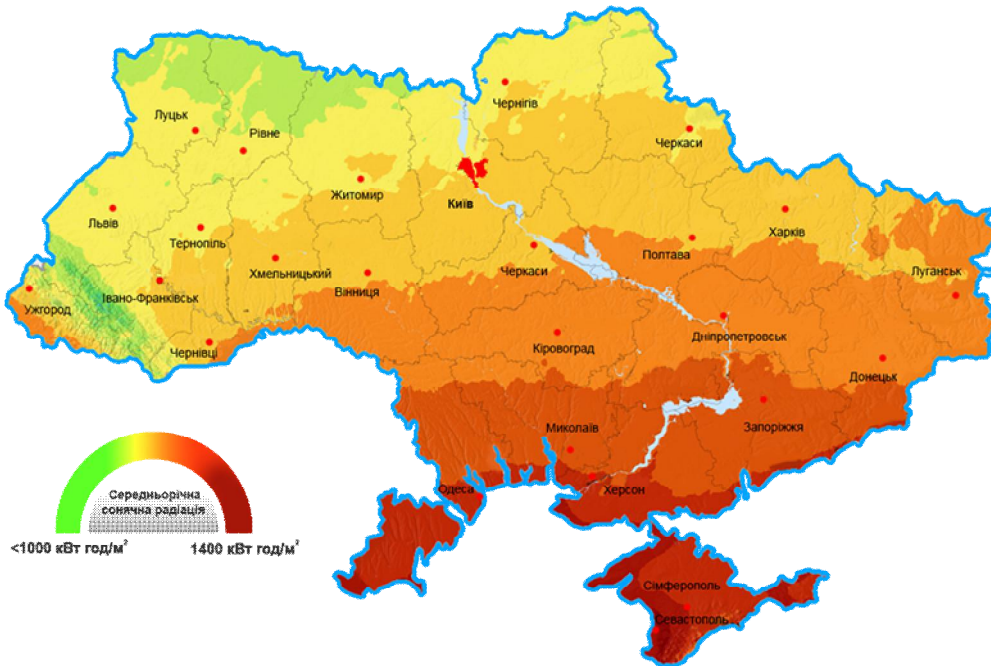


Рис. 1. Рівень інсоляції на території України

1. Аналіз останніх досліджень та публікацій

У зв'язку з широким використанням та інтенсивним розвитком технологій використання ВДЕ, зокрема сонячної енергії, триває активний пошук способів та пристроїв для підвищення продуктивності існуючих систем, що дозволять максимально ефективно перетворювати сонячну енергію в електричну.

Найпоширенішим методом безпосереднього перетворення сонячного випромінювання у електричну енергію є використання так званих сонячних панелей. Сонячні панелі є найголовнішим елементом у побудові фотоелектричних систем. Їхніми перевагами є простота конструкції, стабільність електричних характеристик та висока заводськість [2].

Потужність модуля, крім його характеристик та інтенсивності освітлення залежить від кута падіння променів. Відповідно, для збільшення ефективності модуля кут падіння променів на поверхню ФЕП повинен наближатись до 90° .

Сонце рухається дугою зі сходу на захід. Крім того, його траєкторія змінюється протягом року – з півдня на північ, що в рік становить близько 45° . Літом кут падіння сонячних променів до поверхні землі становить близько 69° , весною та восени – близько 40° , а зимою – 14° (рис. 2) [1].

Внаслідок таких змін у положенні Сонця статично встановлена сонячна панель втрачає 30–60 % від максимально можливої отримуваної енергії сонця, оскільки не витримується прямий кут падіння променів на сонячні панелі (рис. 3). Звідси робимо висновок, що для забезпечення

максимальної ефективності сонячних панелей нам необхідно постійно змінювати кут їх нахилу вслід за Сонцем, для підтримування кута падіння сонячних променів, близького до 90° .

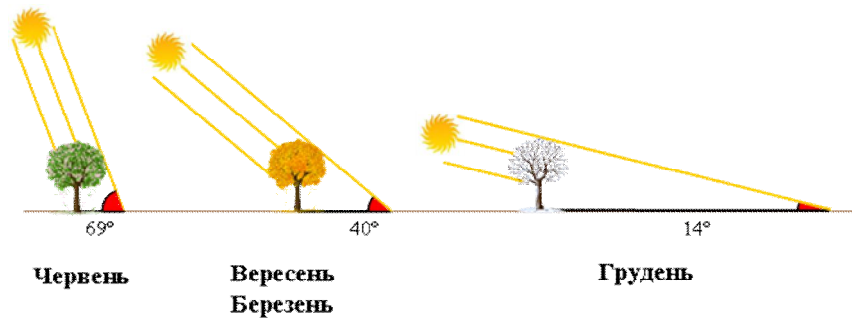


Рис. 2. Зміна положення Сонця залежно від пори року

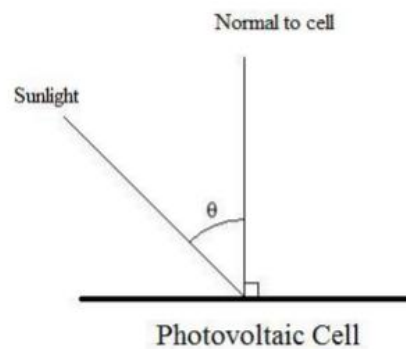


Рис. 3. Кут падіння сонячних променів на сонячну панель

Цю проблему можна вирішити використанням сонячного трекера, що протягом дня, враховуючи висоту сонця над горизонтом відповідно до пори року, відслідковуватиме положення сонця та розміщуватиме ФЕП (фотоелектричні перетворювачі) під кутом 90° до сонячних променів.

У джерелах [6, 7, 8, 9, 10] проаналізовано переваги та недоліки використання сонячних трекерів.

2. Постановка задачі

Метою роботи є розробка та аналіз системи двовісного сонячного трекера, що керуватиме кутом нахилу сонячних панелей, розміщених на рухомій платформі відповідно до отримуваних даних про поточне положення сонця. Дослідження ефективності такої системи у порівнянні з іншими.

3. Огляд трекера для сонячних електростанцій

Сьогодні на ринку існує багато різних конструкцій кріплень для фотоелектричних модулів (ФЕМ). Серед них виділяють дві основні системи – динамічні та статичні.

До статичних систем відносяться системи, що використовують статичне кріплення ФЕМ. При встановленні таких систем, необхідно правильно розрахувати її розміщення, та врахувати необхідність зміни кута положення ФЕП відповідно до пори року.

Динамічні системи – трекери, що автоматично відслідковують позицію Сонця та розміщують ФЕП у найефективніше положення. Динамічні системи можуть відрізнятися своєю конструкцією, алгоритмом роботи та мають різну ефективність. Серед них розділяють одновісні та двовісні трекери, що класифікуються за розміщенням осей обертання (рис. 4).



Рис. 4. Класифікація сонячних трекерів

Двовісні сонячні трекери типу Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT) [12] – трекери, де площина з ФЕП кріпиться на вершині стовпа (рис. 9), у наш час мають різні реалізації конструкції системи, проте серед них можна виділити основні складові.

- Несуча конструкція, що здебільшого складається з фундаменту та стовпа з рухомою частиною, на якій кріпляться ФЕП (рис. 5).
- Поворотний двигун, що здійснює поворот рухомої частини у заданому напрямі (рис. 6).



Рис. 5. Несуча конструкція двовісного сонячного трекера



Рис. 6. Поворотний двигун



Рис. 7. Актуатор на базі двигуна постійного струму



Рис. 8. Одноплатний мінікомп'ютер Raspberry pi4 [11]

- Актуатор – електропривід з двигуном, що керується пристроєм керування. Актуатори можуть бути реалізовані на базі двигунів постійного струму (рис. 7), асинхронних та крокових двигунів.
- Контролер всієї системи, в якості якого використовується Raspberry Pi (рис. 8). Опційно до складових трекера можуть бути додані:
 - метеостанція – система для збору та аналізу даних про погодні умови;
 - системи віддаленого доступу, що дозволяє моніторити стан електростанції та змінювати її параметри в реальному часі.



Рис. 9. Складові конструкції двовісного сонячного трекера

Площа встановлених ФЕП на сонячний трекер зазвичай займає досить велику площу, що збільшує парусність конструкції. При розробці трекера цей параметр потрібно врахувати, тому при виборі складових необхідно приділити увагу їхній міцності та стійкості.

4. Реалізація трекера для сонячних електростанцій

Сонячний трекер, що розробляється, повинен розрахувати положення Сонця – визначити його азимутальний та зенітний кути, після чого провести опитування сенсорів, що встановлені на рухомій платформі трекера. З отриманих даних від сенсорів контролер трекера визначає положення рухомої частини у просторі. Порівнявши положення трекера та положення Сонця, відбувається корекція положення рухомої частини трекера у необхідні координати. Зміна положення відбувається завдяки сервоприводу повороту платформи та актуатора. Дані про стан сонячного трекера відправляються на локальний вебсервер користувача. Додатково трекер оснащений системою захисту від перенавантажень, внаслідок дії сильного вітру. Для цього контролер опитує додаткові сенсори метеостанції, що встановлені на конструкції сонячного трекера.

Для розробки структури пристрою його можна умовно поділити на декілька блоків.

1. Блок збору даних, до якого входять сенсори положення конструкції та сенсори метеостанції.
2. Блок вводу даних користувача – інтерфейс користувача на вебсервері, що дозволяє налаштувати систему та пристрої введення.
3. Блок виводу даних, до якого входить вивід даних на вебсервер або дисплей.
4. Пристрій обробки даних – центральний вузол пристрою, що займається опитуванням сенсорів, розрахунками, керуванням двигунів та введенням–виведенням інформації користувача.

5. Пристрій керування двигунами – драйвери двигунів.

Розроблена структурна схема сонячного трекера показана на рис. 10.

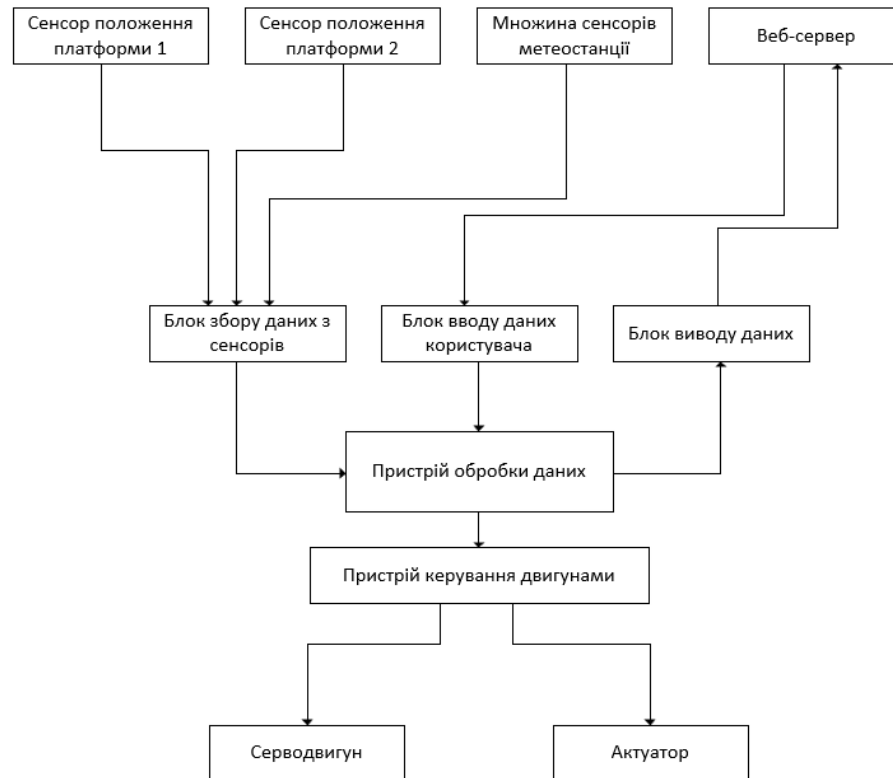


Рис. 10. Структурна схема трекера для сонячних електростанцій

5. Алгоритм роботи

Алгоритм роботи трекера для сонячних електростанцій (рис. 11) складається з таких основних кроків:

- Система розпочинає роботу з перевірки наявності нових даних від користувача та аналізує їх.
- Опитує необхідні сенсори та аналізує дані про положення платформи у просторі.
- Розраховує поточне положення сонця та порівнює його з положенням платформи.
- Якщо положення відрізняються, відбувається корекція положення платформи відповідно до даних положення сонця.
- Виводить дані про поточний стан системи користувачеві.

Процес відбувається циклічно до отримання команди про зупинку від користувача.

6. Аналіз доцільності використання трекера для сонячних електростанцій

Для перевірки ефективності використання сонячних трекерів дослідимо кількість та ефективність сонячної енергії, що падає на сонячні панелі протягом дня [4]. Експеримент проводимо для Львівської області. Для розрахунку кількості енергії, що потрапляє на панелі, використовуємо формулу (1):

$$E_{\text{п}} = E_{\text{с}} \cdot \cos(\theta) / \cos(\varepsilon), \quad (1)$$

де $E_{\text{с}}$ – інсоляція регіону, кут θ – кут між падаючими променями та нормаллю до поверхні панелі, кут ε – кут сонячного азимута, що утворюється між горизонтальною лінією, спрямованою на південь, і проєкцією падіння сонячних променів на горизонтальну площину.

Для визначення необхідних кутів розглянемо геометричний вигляд розташування сонячних панелей у просторі (рис. 12) [5].

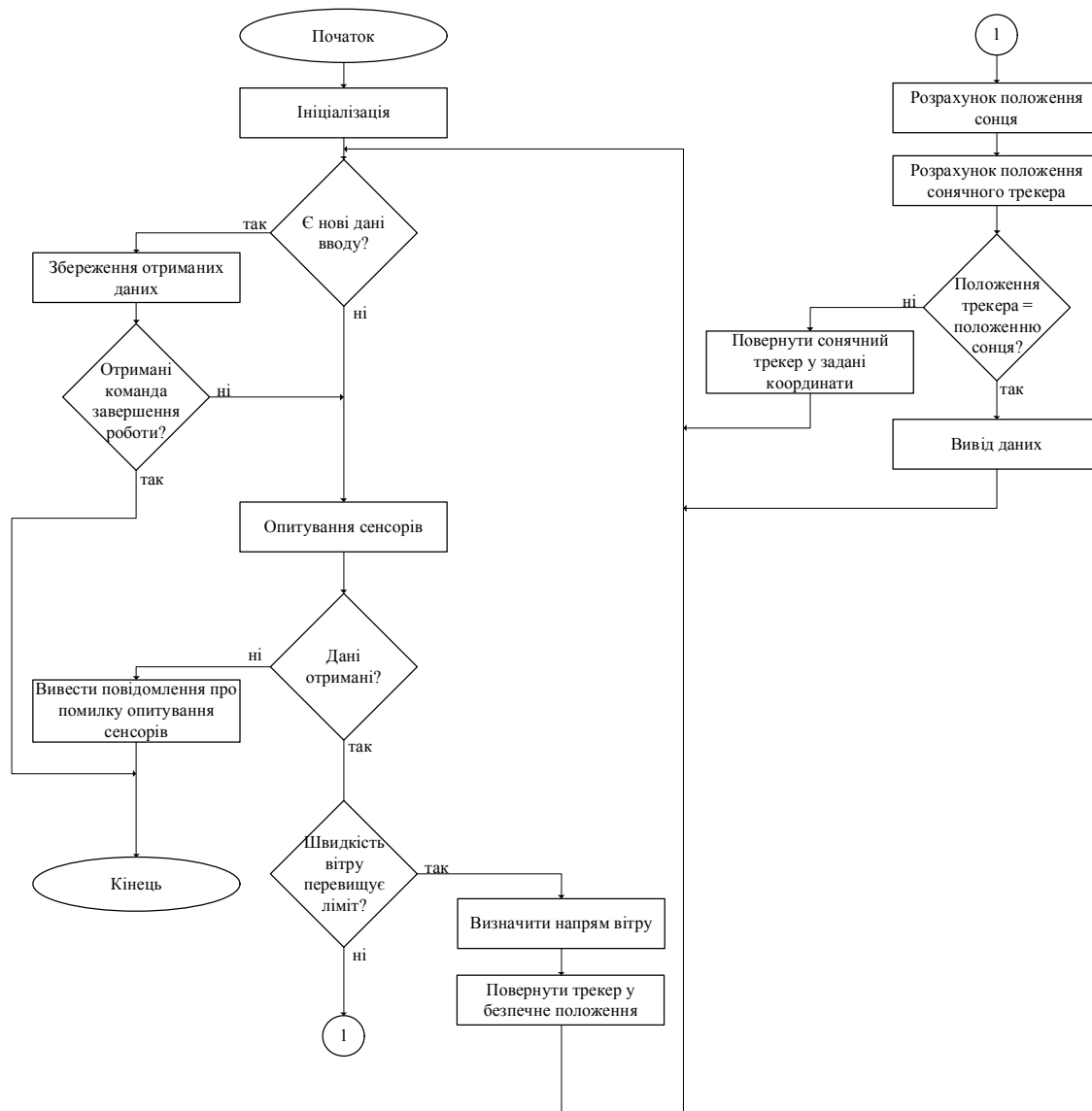


Рис. 11. Алгоритм роботи трекера для сонячних електростанцій

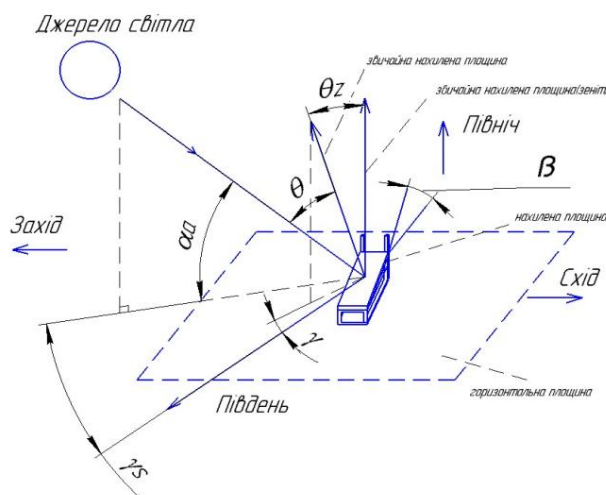


Рис. 12. Геометричний вигляд розташування сонячних панелей у просторі

Для визначення $\cos(\theta)$ використовуємо формулу (2):

$$\cos(\theta) = \sin(\varphi - \beta) * \sin(\delta) + \cos(\varphi - \beta) * \cos(\delta) * \cos(\omega). \quad (2)$$

Для визначення $\cos(\varepsilon)$ використовуємо формулу (3)

$$\cos(\varepsilon) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\omega). \quad (3)$$

Кут сонячного схилення δ визначається за формулою (4):

$$\Delta = 23,45 = \sin(360/365 * (n + 284)), \quad (4)$$

де n – порядковий номер дня у році.

Кут широти φ – це широта місцевості, для якої ведуться розрахунки. У випадку Львівської області $\varphi = 50^\circ$.

Кут ω – це кутова міра часу, що еквівалентна 15° на годину.

Для її визначення у конкретну годину використовується формула (5):

$$\Omega = 15 * (12 - t), \quad (5)$$

де t – місцева година.

Визначивши кількість сонячної енергії, що отримуватимуть панелі протягом дня, та обравши вихідну потужність стаціонарних і динамічних систем сонячних панелей, можемо порівняти ефективність їх використання на рис. 13.

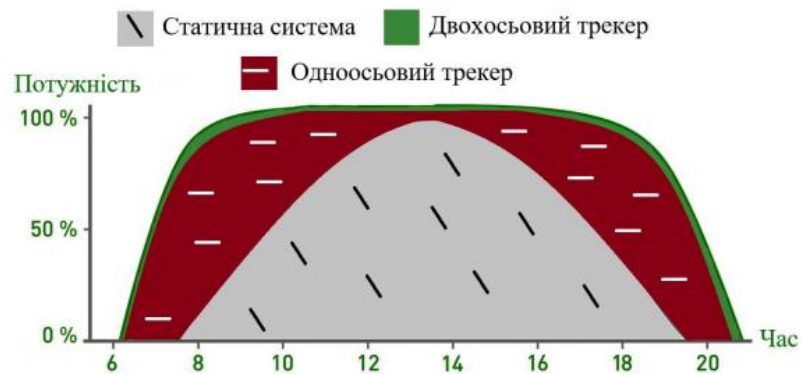


Рис. 13. Порівняння ефективності різних типів трекерів протягом доби

При розрахунках отримуваної середньомісячної енергії протягом року отримуємо такі дані:

Таблиця 1

Середньомісячна генерація енергії сонячної станції

Місяць	Статична ФЕС (кВт\год)	Одновісна ФЕС (кВт\год)	Двовісна ФЕС (кВт\год)
січень	37	44,4	50,32
лютий	48	58,56	65,28
березень	85	105,4	115,6
квітень	117	147,42	159,12
травень	131	167,68	178,16
червень	134	174,2	182,24
липень	142	184,6	193,12
серпень	135	175,5	183,6
вересень	111	142,08	150,96
жовтень	82	103,32	111,52
листопад	41	50,84	55,76
грудень	33	39,6	44,88
Всього	1096	1393,6	1490,56

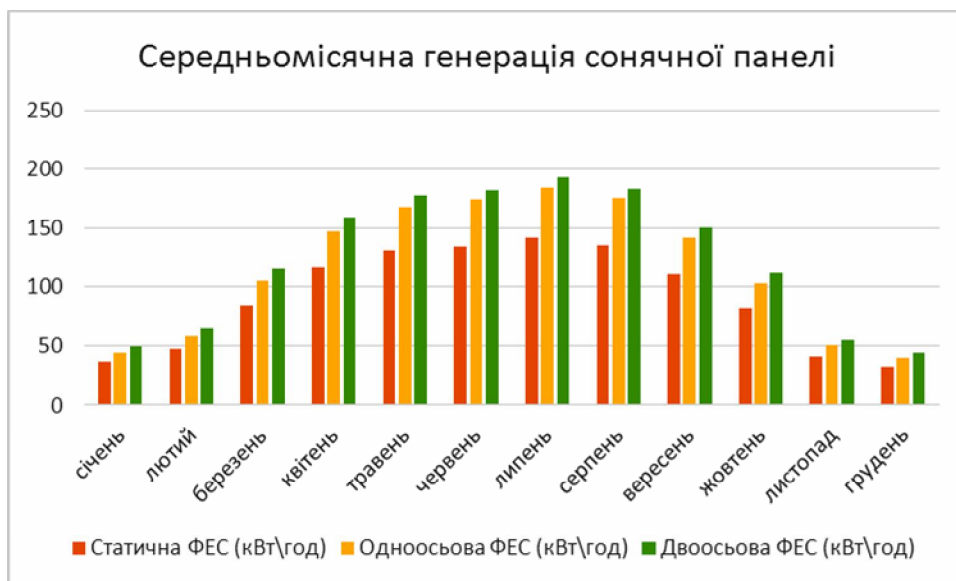


Рис. 14. Графік середньомісячної генерації енергії сонячної ФЕС

Аналізуючи дані з табл. 1. та рис. 14, ми бачимо, що використання ФЕС із динамічною конструкцією для кріплення ФЕС (фотоелектрична станція) є ефективнішим, ніж використання статичної ФЕС. Зокрема, протягом року одновісна ФЕС виробляє на 20–30 %, а двовісна – на 36 % більше енергії, ніж ФЕС без використання будь-якого трекера. Нестабільність генерації енергії одновісною ФЕС є зміною положення сонця протягом пори року, тож якщо не змінювати кут нахилу панелей, її продуктивність узимку буде падати.

Висновки

Розроблено та проаналізовано двовісний сонячний трекер, що керує кутом нахилу сонячних панелей, розміщених на рухомій платформі відповідно до отримуваних даних про поточне положення сонця. Ефективність електростанції при використанні такого трекера збільшується на 36 %.

Також розглянуто перспективи використання сонячної енергії та доцільність розробки трекера для сонячних електростанцій, практику його використання як пристрою для підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну. Визначено, що ця розробка є перспективною та актуальною в Україні. Проведено аналіз та порівняння ефективності статично та динамічно встановлених систем сонячних електростанцій, виділено їхні переваги та недоліки. Показано основну структуру та алгоритм роботи трекера, його будову.

Список літератури

1. Kurbatova T., Spivakovskyy S., Sotnyk M. and Hyrchenko Y. «Solar Energy Advancement in Ukraine's Households: is the Feed-In Tariff Economically Justified?», 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/MEES52427.2021.9598758.
2. Aziz Bhuiyan M. A., Bhuiyan M. H., Rahman M. A., Abir M. A., Mehfuz N. and Salehin S. «Economic Assessment of Concrete and Floating Based Solar Chimney Power Plants in Bangladesh», 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), 2020. Pp. 638–641. DOI: 10.1109/TENSYP50017.2020.9230846.
3. Anthony R. N. and Navghare S. P. «An insight to distributed generation of electrical energy from various renewable sources», 2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2016. Pp. 341–344. DOI: 10.1109/ICEETS.2016.7583777.
4. Slabinoha M. O., Kuchirka Y. M., Krinitsky O. S., Yourkiv N. M. «Modeluvannya zalezhnosti zminy potuzhnosti sonachnih paneley vid kuta padinna promeniv», 2018. S. 18–24. DOI: 10.31471/1993-9981-2018-2(41)-18-24.

5. Golovan M. M., Zdolbitska N. V., Lishchina V. O., Grinuk S. V. «Analiz productivnosti systemy avtomatichnoho posicionuvanna sonachnih paneley», 2020. S. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-41-04>.
6. Mitrofanov S. V., Baykasenov D. K. and Nemaltsev A. U. «Operation of Solar Power Plant with Solar Tracker in Orenburg Region During the Winter», 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2019. Pp. 138–142. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877677.
7. Mohamadi M., Roshandel E., Gheasaryan S. M. and Khoshkalamyan P. «Stability and power factor improvement in a power system with simultaneous generation of steam and solar power plant», 2016 6th Conference on Thermal Power Plants (CTPP), 2016. Pp. 83–88. DOI: 10.1109/CTPP.2016.7483058.
8. Tiwari S., Kewat S. and Singh B. «UPQC Controlled Solar PV-Hydro Battery Microgrid», 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2020. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/PEDES49360.2020.9379764.
9. Xing C., Xi X., He X. and Liu M. «Research on the MPPT Control Simulation of Wind and Photovoltaic Complementary Power Generation System», 2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), 2020. Pp. 1058–1063. DOI: 10.1109/iSPEC50848.2020.9350965.
10. Anuradha A., Yadav S. and Sinha S. «Solar-Wind Based Hybrid Energy System: Modeling and Simulation», 2021 4th International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), 2021. Pp. 586–570. DOI: 10.1109/RDCAPE52977.2021.9633590.
11. Datasheet, «Raspberry Pi 4 Model B», June 2019. URL: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf> (accessed: 29 September 2022).

TRACKER FOR SOLAR POWER PLANTS

I. Zholubak, V. Matviets

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department

© Zholubak I., Matviets V., 2022

The article investigates a device for tracking the position of the sun during the day - a tracker for solar power plants. The practice of using solar trackers as a device to increase the efficiency of solar power plants is considered. The relevance of this development in Ukraine and prospects for its development are determined.

Methods and principles of increasing the efficiency of solar energy production, expediency of using trackers for solar power plants are analyzed. The aim of the article is to present the stages of development of a biaxial solar tracker and the algorithm of the controlling the angle of inclination of solar panels placed on a moving platform, relative to the obtained data on the position of the sun.

The article presents a tracker for solar power plants, its structure and algorithm. It is stated that the principle of operation is to analyze the current position of the sun and automatically set the movable platform with solar panels in the most effective position.

Keywords: tracker for solar power plants, solar tracker, renewable energy sources (RES).