

УДК 621.472

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

Ковальчук О. А., Пилипенко Ю. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідження проблеми управління систем слідкування за Сонцем на сонячних панелях.

**Методика.** У роботі розглянуто методи управління системами слідкування за Сонцем на сонячних панелях.

**Результати.** Проведено дослідження способів та типів систем слідкування за Сонцем і реалізовано програму яка слідує за Сонцем.

**Наукова новизна.** Розроблено робочу систему для слідкування за Сонцем, що може бути використана в невеликих сонячних електростанціях.

**Практична значимість.** Розроблена система є простим і економічним рішенням для контролю сонячних панелей.

**Ключові слова:** електроенергія, слідкування, мала енергетика, сонячна батарея, мікроконтролер, керуюча програма, ефективність

З розвитком цивілізації людство потребувало додаткової енергії. Причому чим далі, тим більше. В даний час люди хочуть освоювати все нові джерела енергії. Одним з таких джерел є інша енергетика. У загальному значенні, інша енергія, як в даний час вона задумана, це те, що виробляється без шкідливих наслідків, властивих застосуванню викопного палива. Зокрема, високим рівнем викидів діоксиду вуглецю (парникових газів), що є принциповим причиною глобального потепління. Одним з напрямків в іншій енергетиці є геліоенергетика [1]. У цей момент безперервно розвиваються технології, які вживають ясне світло і його тепло. До таких технологій відносяться вироблення фотоелектрики і впровадження сонячної теплової енергії.

Одним з видів впровадження геліоенергетики є фотоелектрика (фотовольтаїка, від англ. Photovoltaic, PV). Фотоелектричні способи перетворення сонячної енергії в електрику постійного струму з впровадженням напівпровідникових матеріалів, які проявляють фотоелектричний результат, явище, яке традиційно досліджується в галузі фізики, фотохімії та електрохімії. Результат пояснюється дією фотонів (часток світла), які володіють потрібною енергією (довжиною хвилі), на електрони напівпровідникової речовини (традиційно, кремнію) [2], в результаті чого відбувається їх «виривання» і видання, що призводить до виникнення фотоструму (або електричного струму). Зокрема, це називається зовнішнім фотоефектом. Для того щоб наростити ємність установки, що

використовує явище зовнішнього фотоефекту, пластинки кремнію (сонячні складові), як правило, поєднують у модулі, іменовані сонячними батареями.

Після початку використання сонячних батарей для виробництва електроенергії в промислових масштабах проектувальники і інженери стали шукати способи підвищення ефективності таких електростанцій [2-6]. Загальна дисперсія світла Сонця, яка визначається зміною напрямку падіння сонячних променів на панелі, не дозволяла раціонально використовувати сонячні батареї протягом усього світлового дня.

Виходом з такої ситуації стало встановлення сонячних панелей на рухомій підставці, підключеній до системи стеження за траєкторією переміщення Сонця.

Дивитися за положенням Сонця дозволяють сонячні трекери, про які й буде йти мова в роботі. Вироблення енергії завдяки застосуванню сонячного трекера зростає, оскільки збільшує чисельність сонячної енергії, що потрапляє на модуль.

В даній роботі буде розглянуто концепцію управління сонячною батареєю за допомогою системи слідкування за Сонцем.

### ***Постановка завдання***

Для перетворення сонячної енергії в електричну використовується сонячна панель. Сонячна панель забезпечує живленням контролер заряду, який в свою чергу накопичує енергію в акумуляторних батареях. Найбільш ефективно використання сонячної енергії досягається в напрямку променів перпендикулярних сонячній панелі, для чого необхідно обертати її в різних напрямках в залежності від часу доби. Саме для цього використовується сонячний трекер. Сонячний трекер складається з механічної системи пересувань, крокового двигуна і електронної системи керування кроковим двигуном.

### ***Результати досліджень***

Існує кілька способів управління системою орієнтації трекера. Перший метод передбачає використання фотоприймачів.

Фотоприймачі – це датчики, що отримують інформацію про місцезнаходження Сонця на небі. Вони надають інформацію про те, як необхідно направити сонячні батареї. Істотний мінус цього методу полягає в тому, що в хмарну або похмуру погоду інформація з фотоприймачів буде неоднозначною (немає чіткої орієнтації на Сонце), і сонячну батарею не вдасться навести в необхідне положення.

Інший метод – застосування ручного управління. Керуючи актуаторами можна направити сонячні батареї в заздалегідь записані положення (застосовуючи перемикачі).

Актуатор – це виконавчий пристрій або його активний елемент, що перетворює один вид енергії (електричну, магнітну, теплову, хімічну) в інший (найчастіше – в механічну), що призводить до виконання певної дії, заданої керуючим сигналом. Протягом дня до ладу прийняти такий метод неможливо, а ось для сезонного застосування він досить ефективний, коли потрібно поміняти кут нахилу трекера щодо землі слідом за зміною схилення Сонця.

Однак найкращий метод це програмне управління механізмом обертання. Розрахувавши положення Сонця в установлений момент часу, спеціальне програмне забезпечення передає цю інформацію на електростанцію, і з урахуванням перетворених даних трекер встановлює кут нахилу всього поля сонячних батарей і орієнтує їх у потрібну сторону.

Для різних умов підходять наступні методики управління. Для особистого застосування підходить ручний метод управління зі зміною кута нахилу два рази за рік (навесні і восени). Економічно не вигідно ставити трекери для декількох панелей або колекторів. Для великих електростанцій або полів з сонячними батареями актуальний лише програмний спосіб управління трекера.

В нашій задачі розглядається програмний метод, в якому управління трекером буде йти по заздалегідь написаному алгоритму і потрібно буде збирати статистичну інформацію про вироблення енергії протягом дня.

Система слідкування за сонцем – це пристосування для орієнтування панелі сонячних батарей або для утримання сонячного відбивача або лінз, що повертаються до сонця, аналогічно геліостату [3]. Це ще один із способів підвищення продуктивності сонячних елементів. Від пристроїв, забезпечених такою системою, потрібна висока точність, щоб бути впевненим у тому, що зібрані сонячні промені падають перпендикулярно на відповідний об'єкт. Є два основних типи поворотних пристроїв сонячних модулів: одноосьовий і двохосьовий.

Одноосьовий реалізує розворот сонячного модуля навколо єдиної центральної осі, що досить комфортно для електростанцій великого масштабу. Двохосьовий дозволяє найбільш гнучко простежувати положення Сонця, контролюючи як азимутальний, так і кут нахилу Сонця над горизонтом. Сонячний трекер – це пристрій, що спрямовує сонячну батарею або концентратор на сонячні промені, дозволяючи виробити їм протягом дня більшу кількість енергії. Трекери бувають активні, пасивні та з ручним

наведенням. Найбільш універсальні – активні системи орієнтування. Також системи можуть орієнтуватися або по одній, або по двох осях [4].

Хоча двохосьовий пристрій дає виграв в порівнянні з одноосьовою системою, але він складніше і дорожче, через що не завжди виправдовує себе. Тому в умовах нашого географічного положення ми пропонуємо унікальний одноосьовий активний сонячний трекер. Принцип його дії заснований на аналогово-цифровому сигналі з плати управління, яка дозволяє знизити ціну системи і спростити її, зберігаючи якість і надійність. Також для неї створені оптичні кінцевики і датчик світла, які дозволяють установці ефективно орієнтуватися на Сонце і, відключатися вночі і повертатися на наступний день в початкове положення.

В даний час велика частина систем стеження за сонцем на місці експлуатації націлені на південь і встановлені під постійним кутом  $\beta$  до горизонту.

На рис. 1 представлені кути, що визначають просторову орієнтацію наземних СБ щодо Сонця: Пн, Пд, Зх, Сх – сторони світу; А – положення Сонця на небосхилі;  $a$  – азимут Сонця;  $\theta$  – зенітний кут і  $\alpha$  – кут висоти Сонця; П – робоча поверхня СБ; N – нормаль до П;  $a_p$  – азимут П;  $\xi(i)$  – кут між напрямком на Сонце (OA) і N;  $\beta$  – кут нахилу П.

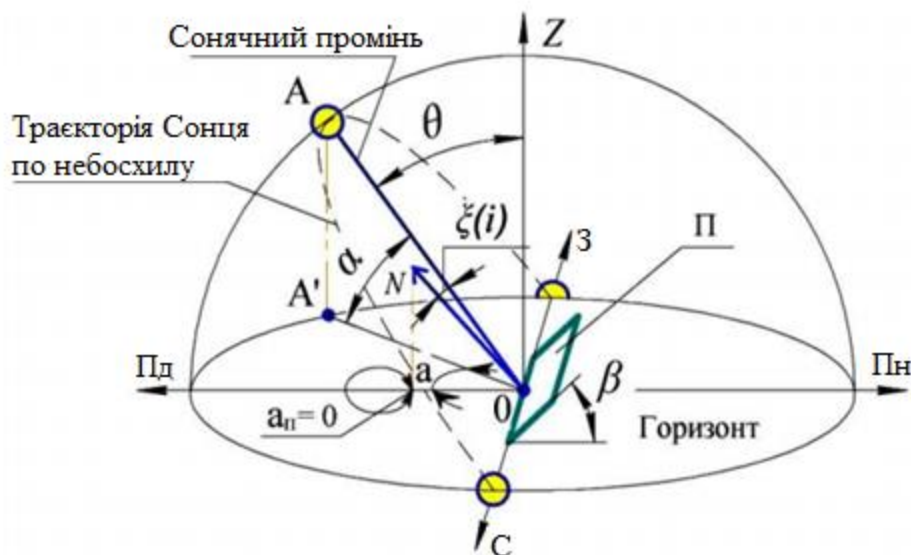


Рис.1 Траєкторія руху Сонця щодо сонячної батареї

Сонце проходить через 360 градусів зі сходу на захід за добу, однак з точки зору будь-якого фіксованого положення у видимій частині це становить 180 градусів протягом середнього напівденного періоду (більше навесні і влітку, менше восени і

взимку). Внаслідок ефекту горизонту відбувається зменшення цього шляху ще трохи, що робить ефективним кут повороту трекара близько 150 градусів. Сонячна батарея у фіксованій орієнтації між сходом і заходом втратить 75% енергії від максимально можливого вироблення в ранкові та вечірні години. Розворот сонячної батареї на схід і захід може допомогти повернути ці втрати.

У розробці пристрою стеження за Сонцем повинен бути обраний двигун для нашого трекара батареї. Вибір відбувався між кроковим двигуном і сервоприводом.

Виберемо кроковий двигун 28BYJ-48, він має більшу точність для повороту сонячного трекара, ніж серводвигун. Як драйвер для двигуна використовуємо мікросхему ULN2003, яка часто продається в комплекті з даним двигуном. Для управління процесом обертання крокового мотора, роботи датчиків і визначення точки максимальної потужності будемо використовувати плату Arduino Nano [5].

Дана лінійка мікроконтролерів знайшла величезну популярність в світі, завдяки простоті свого апаратного та програмного інтерфейсу, швидкістю обробки даних та набором портів введення/виведення.

Для роботи нашого мікроконтролера і двигуна потрібно живлення. Отримувати живлення ми можемо декількома способами, такими як підключення через USB, від зовнішнього джерела живлення або від акумуляторної батареї. В даному випадку мікроконтролер і двигун живляться від джерела напруги 220В, в лабораторних умовах.

Для реалізації управління трекаром потрібно запрограмувати мікроконтролер, що ним керує. В результаті розробки програмної частини роботи пристрою були зроблені багато різних варіантів роботи. Наприклад, одним з таких варіантів роботи був пошук максимуму освітленості, коли вал крокового двигуна рухався спочатку по 10 градусів і зчитував напругу сонячної батареї, а потім по 1 градусу в області навколо передбачуваного максимуму для найбільш точного пошуку.

Даний варіант пошуку максимуму можна назвати двоетапним, оскільки ми шукаємо максимум за два проходи. Цей варіант роботи давав величезну точність пошуку, проте витрачав багато енергії. На основі представленої програми був створений одноетапний варіант пошуку, який дозволяє за один прохід валу знайти максимум освітленості. Після запуску такої системи було знято вольт-амперні характеристики при різних рівнях освітленості та кутах нахилу.

Наведемо таблиці залежностей вольт-амперної характеристики при яскравому сонячному випромінюванні і різними критеріями, де  $I_{m1}$  – площа сонячної батареї

перпендикулярна Сонцю;  $l_{m2}$  – батарея розташована за склом і площа сонячної батареї перпендикулярна до Сонця;  $l_{m3}$  – між сонячним випромінюванням і площиною сонячної батареї 60 градусів;  $l_{m4}$  – між площиною сонячної батареї і сонячним випромінюванням 60 градусів і батарея розташовується за склом. Результати вимірів позначені у таблиці 1 і таблиці 2.

Таблиця 1

ВАХ сонячної батареї за умов  $l_{m1}$  і  $l_{m2}$ 

R, Ом	$l_{m1}$			$l_{m2}$		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6.6	0.82	1240	1020	0.68	1030	700
22.7	2.73	1200	3280	2.32	1020	2370
44.7	5.2	1160	6050	4.2	940	3950
110.4	9.84	890	8770	8.62	780	6730
230	12.82	560	7150	11.95	520	6210
252.7	12.85	510	6530	12	470	5700
274.7	12.89	470	6050	12.14	440	5370
340.4	13.05	380	5000	12.26	360	4420
477	13.3	280	3710	12.85	270	3460
922	13.5	150	1980	13.27	140	1910
$\infty$	14.05	0	0	13.57	0	0

Таблиця 2

ВАХ сонячної батареї за умов  $l_{m3}$  і  $l_{m4}$ 

R, Ом	$l_{m3}$			$l_{m4}$		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6.6	0.51	770	390	0.3	450	140
22.7	1.75	770	1350	1.03	450	470
44.7	3.18	710	2260	2.01	450	900
110.4	6.74	610	4110	4.5	410	1830
230	10.8	470	5070	8	350	2780
252.7	11.02	440	4810	8.25	330	2690
274.7	11.45	420	4770	9.1	330	3010
340.4	11.8	350	4090	10.08	300	2980
477	12.63	260	3340	11.23	240	2640
922	12.83	140	1790	12.2	130	1610
$\infty$	13.27	0	0	12.94	0	0

Можемо зробити висновок про те, що сонячна батарея втрачає 25% потужності, якщо розташовувати її за склом, яке стане відбивати частину сонячного випромінювання. Більш значний кут між площиною сонячної батареї і сонячним випромінюванням відповідно також зменшує вироблення енергії.

Дані значення розраховані у математичному пакеті MathCad 15.

Для спрощення задачі знаходження кривих Р (R) скористаємося способом інтерполяції сплайнами, як швидким і ефективним методом інтерполяції функцій.

При яскравому сонячному світлі в разі  $l_{m1}$  і опору в 110.4 Ом батарея має найбільшу потужність, однак для проведення головного експерименту і для подальшої експлуатації пристрою вибрано опір в 230 Ом. З представленим навантаженням трекер стане видавати прийнятну для вироблення електроенергії в умовах хмарності і стане краще реагувати в приміщеннях при штучному освітленні.

Зняті залежності (особливо розрахована залежність потужності СБ від опору) показово демонструють, що в залежності від навантаження робоча точка сонячної батареї може бути зсунута в область мінімального або навіть нульового значення [7]. Внаслідок цього принциповим моментом є взаємодія сонячної батареї з навантаженням.

### **Висновки**

Україна має сприятливі умови для використання сонячної енергії, широке використання якої суттєво знизило б викиди від теплових електростанцій та викиди CO<sub>2</sub>.

В результаті виконаної роботи був розроблений макет мікро електростанції керованої сонячним трекером, виконавчим пристроєм якого є кроковий двигун.

Були представлені і проаналізовані вольт–амперні характеристики сонячної батареї в залежності від умов експлуатації.

### **Список використаних джерел**

1. Гибилицко С.В. Альтернативная энергетика без тайн / С.В. Гибилицко // М.: – 2010. – 368 с.
2. Глиберман А. Я. Кремниевые солнечные батареи / А. Я. Глиберман // М.: Госэнергоиздат. – 1961. – 74 с.
3. Умаров Г. Я. Солнечная энергетика / Г. Я. Умаров, А. А. Ершов, // М.: Знание. – 1974. – 64 с.
4. Шехер Г. Экономические основы солнечной энергетики.

### **References**

1. Hybylysko, S. (2010). *Alternatyvnaia Enerhetyka Bez Tain* [Alternative Energy Without Mysteries]. Moscow [in Russian].
2. Hlyberman, A. (1961). *Kremnyevye Solnechnye Batarey* [Silicon Solar Batteries]. Moscow: Gosenergoizdat [in Russian].
3. Umarov, H.Ya. & Ershov, A.A. (1974). *Solnechnaia Enerhetyka* [Solar energy]. Moscow: Znanie [in Russian].
4. Shekher, H. (2004). *Ekonomycheskye Osnovy Solnechnoi Enerhetyky*.

- Экологический возобновляемый источник энергии будущего // Г. Шехер – М.: 2004. – 368 с.
5. Подураев Ю. В. Мехатроніка: основи, методи, застосування: навч. пос. / Ю. В. Подураев – К.: Машинобудування. 2006. – 223 с.
6. Матеріали з сайту «Енергетика» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5>
7. Матеріали з сайту «Українська Асоціація Відновлювальної Енергетики» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uare.com.ua/novyny/575-sonyachni-perspektivi.html>
- Ekolohycheskyi Vozobnovliaemyi Ystochnyk Enerhyu Budushcheho* [Economic Basics of Solar Energy. Environmental Renewable Energy of the Future]. Moscow [in Russian].
5. Poduraev, Yu. (2006). *Mekhatronika: osnovy, metody, zastosuvannia* [Fundamentals, methods, applications]. Kiev: Mashynobuduvannia [in Ukrainian].
6. *Materialy z сайту «Enerhetyka»*. [Materials from the site «Energy»]. Retrieved from: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> [in Ukrainian].
7. *Materialy z сайту «Ukrainska Asotsiatsiia Vidnovliuvalnoi Enerhetyky»*. [Materials from the site of «Ukrainian Renewable Energy Association»]. Retrieved from: <https://uare.com.ua/novyny/575-sonyachni-perspektivi.html> [in Ukrainian].

**Kovalchuk Oleksii**  
[Lowako97@gmail.com](mailto:Lowako97@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Pylypenko Yurii**  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4093-7298>  
[pyl20453@gmail.com](mailto:pyl20453@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

### **Система управления солнечными панелями**

**Ковальчук А. А., Пилипенко Ю. М.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Исследование проблемы управления систем слежения за Солнцем на солнечных панелях.

**Методика.** В работе рассмотрены методы управления системами слежения за солнцем на солнечных панелях.

**Результаты.** Проведено исследование способов и типов систем слежения за Солнцем и реализована программа, которая следит за Солнцем.

**Научная новизна.** Разработана рабочая система для слежения за Солнцем, которая может быть использована в небольших солнечных электростанциях.

**Практическая значимость.** Разработанная система является простым и экономичным решением для контроля солнечных батарей.

**Ключевые слова:** электроэнергия, слежения, малая энергетика, солнечная батарея, микроконтроллер, управляющая программа, эффективность



***Solar control system***

***Kovalchuk A. A., Pilipenko Y. M.***

*Kyiv National University of Technology & Design*

***Purpose.*** Study of the problem of controlling solar tracking systems on solar panels.

***Methodology.*** The paper discusses the methods of controlling the tracking systems of the Sun on solar panels.

***Findings.*** A study of the methods and types of tracking systems for the Sun and a program that monitors the Sun.

***Originality.*** A working system has been developed for tracking the Sun, which can be used in small solar power plants.

***Practical value.*** The developed system is a simple and economical solution for controlling solar cells.

***Keywords:*** electricity, tracking, small energy, solar battery, microcontroller, control program, efficiency