

О. О. Казіміров<sup>1</sup>, К. В. Власов<sup>1</sup>, П. М. Онипченко<sup>2</sup>, І. Л. Костенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО ПУНКТУ УПРАВЛІННЯ

**Анотація.** Ефективність системи автономного електроживлення, побудованої на основі використання сонячної енергії, істотно залежить від орієнтування сонячних панелей такої системи відносно Сонця. **Мета роботи** - провести порівняльний аналіз різних способів орієнтування сонячних панелей системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління та визначити найбільш ефективний з цих способів. В статті проводиться аналіз основних способів орієнтування за Сонцем сонячних панелей. Розглядаються стаціонарні і мобільні способи монтажу сонячних панелей та проводиться їх порівняння з точки зору простоти виконання та ефективності функціонування. За результатами проведеного в статті аналізу найбільш ефективним виявляється спосіб із застосуванням сонячного трека. Сонячний трекер забезпечить автоматичне орієнтування сонячних панелей за Сонцем як по азимуту, так й по висоті протягом всього року та часу доби. Результати статті можуть бути використані під час проектування та побудови автономних систем електроживлення стаціонарних об'єктів.

**Ключові слова:** сонячна енергія, сонячна панель, фотоелектричний модуль, кут падіння сонячних променів, сонячний трекер.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Серед альтернативних джерел енергії найбільший інтерес викликає енергія Сонця. Географічні умови розташування України, дозволяють отримувати потрібну кількість сонячної енергії протягом усього року [1]. Одним із елементів систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії є сонячна панель, що містить декілька фотоелектричних елементів (модулів) та призначена для перетворення енергії Сонця в електричну [2]. Чим більше енергії несе падаючий на фотоелектричний елемент (модуль) сонячної панелі промінь Сонця, тим більше електрики вона виробляє.

Електроенергія, яку можна зняти з контактів сонячної панелі, багато в чому залежить від орієнтації панелі відносно Сонця. Зазвичай при експлуатації сонячних панелей обмежуються загальною дисперсією сонячного світла, часто приблизно виставляючи батарею в напрямку Сонця. Сонячні панелі встановлюються, як правило, в певному робочому положенні. Однак, практика, показує, що фотоелектричні елементи генерують максимальну енергію тільки коли вони розташовуються точно перпендикулярно напрямку сонячних променів, а це може статися тільки один раз в день. В інший час ефективність роботи сонячних елементів складає менше 10% [3]. Положення Сонця на небі, а отже і кут падіння сонячних променів змінюється як із зміною часу доби, так і при зміні пори року. Тому, при монтажі систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії необхідно передбачити можливість зміни розташування площини сонячних модулів як протягом року, так й протягом доби. Ідеальним було б якби процес орієнтування сонячних панелей за Сонцем відбувався автоматично.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нажаль, дослідження та публікації з питань сонячної енергетики [4, 5], що на сьогодні відомі, не розгля-

дають в сукупності та не проводять порівняльний аналіз різних способів монтажу сонячних панелей систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії. В більшості робіт [6, 7], пропонується стаціонарне встановлення сонячних панелей під кутом, який відповідає широті місцевості на якій проводиться побудова система.

**Метою статті** є проведення порівняльного аналізу різних способів орієнтування сонячних панелей системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління та визначити найбільш ефективний з цих способів.

### Виклад основного матеріалу

Для отримання максимальної кількості сонячної енергії потрібно виконати наступні умови [8]:

- забезпечити максимально можливу освітленість фотоелементів, без найменшого їх затемнення навколишніми об'єктами, наприклад, деревами або конструкціями будівель;

- орієнтувати площину фотоелектричних елементів строго перпендикулярно сонячним променям.

Якщо з першим пунктом зазвичай не виникає особливих проблем, так як типова установка панелі передбачає монтаж на даху будівель або на землі на відкритій місцевості, то точно виконати другий пункт виявляється не дуже просто.

Кут падіння сонячних променів змінюється як протягом дня, так і при зміні пори року (рис.1). Значить, ідеальна сонячна панель повинна теж постійно міняти свій кут нахилу, повертаючись до сонця. Інше питання, наскільки сильно зміниться продуктивність реальної панелі при деяких відмінностях від ідеальної, викликаних конструктивними обмеженнями установки.

Фотоелектричні модулі, виходячи із способів їх використання можна розділити, по-перше, на два основних типи:



Рис. 1. Освітленість фотоелектричного модулю, встановленого на даху будівлі в різну пору року

- стаціонарні, постійного встановлення;
- мобільні, що пересуваються по мірі необхідності з місця на місце.

І хоча використання мобільних модулів набирає обертів, їх все ширше використовують в польових умовах туристи, геологи, їх розміщують на дахах трейлерів і пересувних будинків, найпоширенішим є перший варіант - стаціонарний. Такі елементи можуть бути встановлені:

- на даху будівель і споруд, сюди ж відносяться козирки і навіси;
- на стінах будинків;
- на землі.

Кожен і спосіб має свої переваги і недоліки. Наприклад, модуль, що стоїть на землі, дешевше в установці і більш простий в обслуговуванні, але зате забирає корисну площу ділянки, а також може затінювати знаходячись поруч об'єктами. Дахові ж споруди складніше змонтувати і обслужити, зате ризик пошкодження панелі набагато менше.

При стаціонарній установці фотоелектричного модулю на даху або стінах будівель і споруд забезпечити слідування модулю за Сонцем практично неможливо. Найпростіший приклад такої установки - монтаж сонячних панелей в площині даху. У тому випадку, якщо скат даху будинку орієнтований на південь і має кут нахилу, близький до широти місцевості, найпростіший спосіб - установка фотоеле-

ментів безпосередньо на площину даху. Це коштує недорого, просто в обслуговуванні, і втрати енергії будуть незначними.

Трохи більш досконалий варіант, що дозволяє зловити більше сонячної енергії – це установка сонячної панелі на кронштейни, що забезпечують заздалегідь розрахований оптимальний кут.

Іноді такої пристрій дозволяє вручну змінювати кут нахилу фотоелементів два раз на рік - взимку та влітку.

Найбільш доцільним способом установки являється установка на землі [9]. Окрім дешевизни установки та простоти в обслуговуванні, на землі простіше вирішити питання орієнтування площини фотоелектричних елементів відповідно до положення Сонця.

Найпростіше – змонтувати сонячні панелі на землі повністю нерухомі, направлені на південь під кутом що дорівнює широті місцевості.

Якщо конструкція для монтажу сонячних панелей передбачає зміну кута нахилу вручну, можна поступити наступним чином. Монтують сонячні панелі, спрямовуючі їх на південь, а кут нахилу змінюють в залежності від пори року. Навесні і восени виставляють кут нахилу сонячної панелі, рівний широті місцевості.

Взимку до широти додавати 10-15 градусів, а влітку від широти віднімати 10-15 градусів [10] (рис.2).

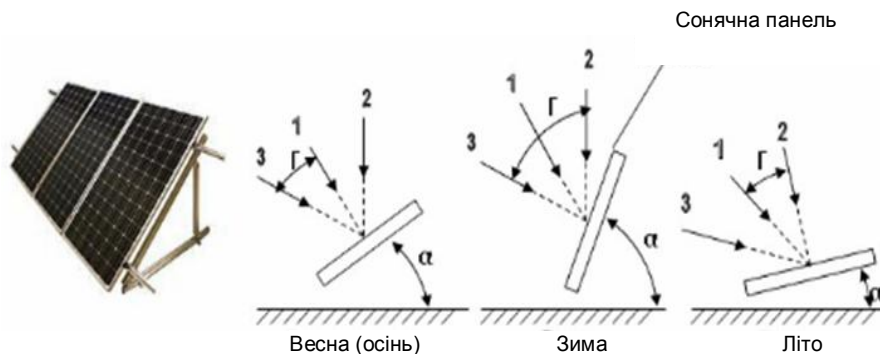


Рис. 2. Кут нахилу сонячних панелей за порою року

Але, якщо на додаток до цього сонячну панель протягом дня повертати за Сонцем, то можна істот-

но підвищити віддачу від сонячних елементів. Однак вручну здійснювати такий процес складно. Для

цього може використовуватися автоматичний пристрій стеження за положенням Сонця, або сонячний трекер [11] (рис. 3).

Роботу сонячного трекера забезпечують дві основні частини [12]: механічна та електрична. Перша з них об'єднує механізм, що приводить в рух сонячну панель, друга - електронну схему, що управляє цим механізмом. Обертання здійснюється механічною частиною трекера за допомогою двигуна. Електронна частина трекера відстежує положення Сонця та надає електронну команду на встановлення панелі в потрібному напрямку. Електронна частина має два фотодіоди. При русі Сонця освітленість фотодіодів стає різною. Електронний регулятор аналізує освітленість і формує сигнали управління які пода-

ються на двигун механічної частини до моменту, коли потік світла на обох фотоелементах не стане однаковим. Як тільки Сонце зміститься на захід, електронний регулятор запустить електродвигун до тих пір, поки знову не відновиться потрібний напрямок панелі на Сонце. Таким чином, у будь-який момент добового руху Сонця площина сонячної панелі буде перпендикулярна напрямку сонячних променів.

Якщо конструкцію трекера доповнити блоком вертикального відхилення, то можливо повністю автоматизувати орієнтацію сонячної панелі в обох площинах.

Існує велика кількість різновидів комплектації трекера (рис. 3).

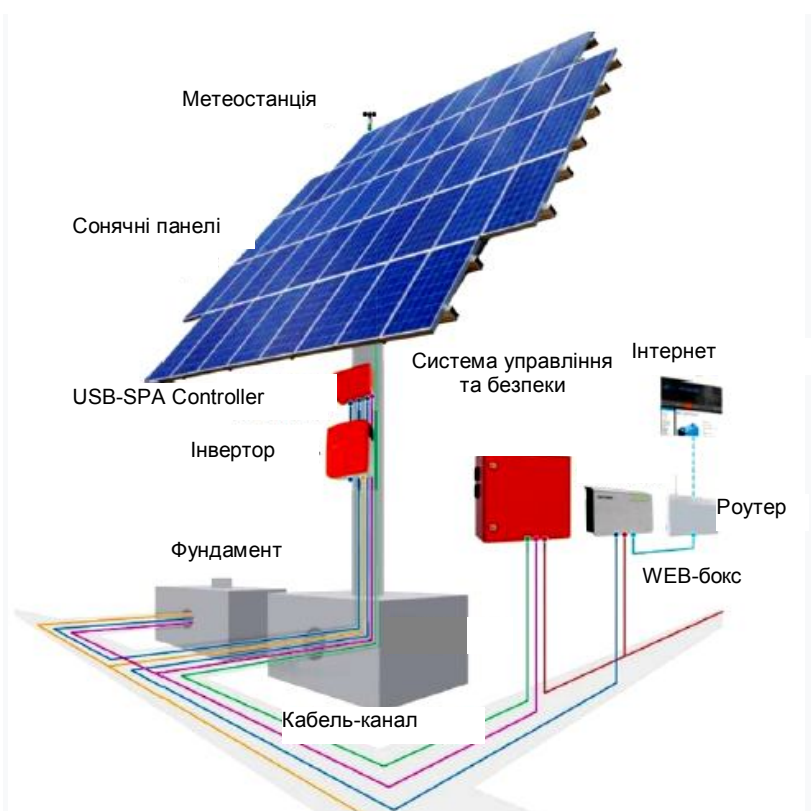


Рис. 3. Сонячна панель с трекером в повній комплектації

Склад трекера може включати [13]:

- несучу частину або фундамент;
- рухому частину, яка задає горизонтальну, вертикальну або комбіновану осі повороту;
- пристрої управління рухомою частиною, що складається з двигунів;
  - різні системи, що включають в себе бокс-системи управління і безпеки, стабілізатори, грозозахисту й метеостанції;
  - контролер системи управління для налаштування і обслуговування енергосистеми;
  - роутер з підключенням до інтернету для відправки статистичних даних та моніторингу системи або, іншими словами, віддаленим доступом;
  - систему навігації для визначення географічного положення (на стаціонарних трекерах система навігації застосовується рідко).

Найчастіше економічно невигідно повністю комплектувати трекер, більшість даних елементів не встановлюються для здешевлення конструкції.

Спосіб орієнтування сонячних панелей з використанням трекера максимально близький до ідеального, проте має свої слабкі сторони: трекери дорогі в установці і експлуатації і споживають електричну енергію. Проте, ефективність систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії без трекера (орієнтованих на південь з дотримання кута нахилу по широті) становить 70-75% від ефективності систем з трекером [14].

### Висновок

Таким чином, для системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління, що побудована на основі використання сонячної енергії

можливо виділити три основні способи орієнтування сонячних панелей, які треба враховувати при їх монтажі:

- повністю нерухомі, направлені на південь під кутом що дорівнює широті місцевості;
- частково нерухомі, направлені на південь під кутом який може змінюватися в залежності від пори року;

- рухомі, азимут спрямування (кут нахилу) площини панелі встановлюється автоматично за допомогою сонячного трекера.

Найбільш ефективним являється спосіб із застосуванням сонячного трекера. Сонячний трекер забезпечить автоматичне орієнтування сонячних панелей за Сонцем як по азимуту, так й по висоті протягом всього року та часу доби.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об'єкту / О.О. Казіміров, К.В. Власов, А.І. Куртов, А.І. Потіхенський // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - № 1(147). - 2017. - С. 58–61.
2. Конфігурація системи автономного електроживлення військового об'єкту на основі використання сонячної енергії / О.О. Казіміров, К.В. Власов, І.М.Майборода, І.Л.Костенко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - № 4(60). - 2019. - С. 66–72.
3. Sunmodule Plus solar panels – Режим доступу: <http://www.solarworldusa.com/products-and-services/sunmodule-solar-panels>.
4. Воробьев Р.Н. Некоторые проекты использования солнечной энергии в энергетике / Воробьев Р.Н., Прохорова З.П. – М.: Маска, 2014. – 64 с.
5. Аржанов, К.В. Двухкоординатная система наведения солнечных батарей на Солнце / К.В. Аржанов // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 4. – С. 139-146.
6. Solar photovoltaic output depends on orientation, tilt, and tracking [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=18871>.
7. Miller D. Selling Solar. The Diffusion of Renewable Energy in Emerging markets. – London: Sterling, VA, 2009. – 306 p.
8. Офіційний сайт SOLAR-BATTERY.COM. Солнечные батареи. Режим доступу: <https://solar-battery.com.ua/printsiplnaya-shema-podklyucheniya-solnechnyih-batarey/>.
9. Офіційний сайт GREENLOGIC.COM. Солнечные станции. Режим доступу: <http://greenlogic.com.ua/baza/solnechnaya-insolyatsia-ua.html>.
10. Офіційний сайт TCIP.RU. Угол наклона и ориентация солнечных батарей для максимальной производительности. Режим доступу: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/ugol-naklona-i-orientatsiya-solnechnyh-batarej-dlya-maksimalnoj-proizvoditelnosti.html>
11. Солнечный контроллер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sibcont.com.ru>.
12. Ю. Студёнов, Солнечные трекеры: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/>.
13. Поворотное устройство для слежения за Солнцем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.selteq.com>.
14. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, В.В. Аржанов, А.В. Осипов, О.А. Теущаков, К.В. Аржанов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2(24). – Ч. 1. – С. 282-287.

Received (Надійшла) 01.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2021

### Orientation of solar panels of autonomous power supply systems of a stationary control center

Oleksandr Kazimirov, Konstantyn Vlasov, Pavlo Onypchenko, Igor Kostenko

**Abstract.** Solar energy is the main type of alternative energy nowadays. First off all, solar energy is ecologically clean. Secondly, as long as the Earth exists, the sun's energy will be inexhaustible. The advantages of solar energy are renewability of this type of energy, the quiet, the reprocessing of solar radiation into other forms of energy without harmful emissions into the atmosphere. Autonomous power supply systems, built on the basis of the use of solar energy includes next main elements: solar panel, inverter, rechargeable battery, controller. A solar panel consists of several photoelectric elements (modules). It is designated for the conversion the sun energy to electricity. The power generated by the solar panel is dependent on its orientation relative to the sun. As a rule, solar panels are installed in some working position. However, photoelectric elements generate maximum energy if they are located strictly perpendicular to the sun's rays. And this happens only once a day. The position of the Sun in the sky, and, consequently, the angle of incidence of the sun's rays, changes not only during the day, but also with change season. Therefore, in such autonomous electric power supply systems, the possibility of changing the position of the solar panels relative to the Sun is necessary. **The purpose** of the work is to carry out a comparative analysis of various methods of orienting solar panels for autonomous power supply systems based on the use of solar energy and to determine the most effective of these methods. This article analyzes the main methods for orienting solar panels along the Sun. Stationary and mobile methods of mounting solar panels are considered and compared from the point of view of their simplicity and efficiency of functioning. According to the results of the analysis carried out in the article, the most effective method is using a solar tracker. The solar tracker will provide automatic orientation of solar panels to the Sun both in azimuth and in altitude throughout the year and time of day.

**Keywords:** solar energy, solar panel, photoelectric module, angle of incidence of sunlight, solar tracker.