

РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ОТРИМАНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ, З ВИКОРИСТАННЯМ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ

^{1,2} Вінницький національний технічний університет

Анотація. В даній роботі було розглянуто питання керування рухомими електричними панелями. Досліджено вплив використання трекерних систем на величину сонячної енергії, отриманої фотоелектричними модулями.

Ключові слова: Трекер, сонячна радіація, зеніт, енергія

Abstract In this paper, the issues of controlling mobile electric panels were considered. The influence of the use of trekker systems on the amount of solar energy received by photovoltaic modules is investigated.

Keywords: Tracker, solar radiation, zenith, energy

Вступ

В сучасних реаліях, питання збільшення продуктивності роботи сонячних електростанцій, важливе вирішення питання орієнтації панелей під оптимальним кутом до Сонця. Для цього, на панелях встановлюють системи стеження (трекер). Максимальна продуктивність сонячних електростанцій, можлива при збереженні кута між робочою поверхнею панелі і сонячних променів 90°.

Для цього і застосовують трекери. Вони мають таку класифікацію: одноосеві, двоосеві. Одноосеві можуть протягом дня, реагуючи на рух Сонця, змінювати положення панелі у вертикальній площині, такий трекер має високу ефективність у весняний та літній періоди, в цей час сонце розташовується високо на горизонті. Двоосеві трекери здійснюють поворот панелей в горизонтальній та вертикальній площині, таким чином забезпечують кращу ефективність протягом усього року [1].

Для початку розрахуємо сонячний час для Вінниці. Для цього потрібно звернути увагу на ЕОТ для кожного з усіх місяців протягом року, для розрахунків візьмемо перший день кожного місяця. Так як розрахунки ЕОТ не залежать від місяця розташування фотомодулів, використаємо таблиці, що є у вільному доступі., це значно спростить розрахунок.

Таблиця 1 - Значення ЕОТ в залежності від місяця [2].

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
ЕОТ	3,4	13,6	12,5	4,1	-2,9	-2,4	3,6	6,3	0,2	-10,1	-16,4	-11,2

Докладний розрахунок прямого сонячного потоку для міста Вінниці

Відповідно формулі 2.1 залежність сонячного часу та місцевого часу має вигляд:

$$T_s = T_1 - \frac{EOT}{60} - P - L_c \quad (1)$$

Де T_1 - місцевий час, $P = 0$ для місяців з листопада по березень, та $P = 1$ для місяців з квітня по жовтень (так як розрахунок проводиться для першого дня місяця) [2].

Відповідно формулі 2

$$L_c = M.\delta / 15 \quad (2)$$

Де $M.\delta$ - місцева довгота. Для міста Вінниці місцева довгота рівна 28,27 східної довготи [3].

$$L_c = \frac{28,27}{15} = 1,88$$

Після проведення попередніх обрахунків, можемо розрахувати T_s для кожного місяця. Отримані значення заносимо в таблицю 2

Таблиця 2 - Значення дійсного сонячного часу в залежності від місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
T_s	10,063	9,90	9,91	10,05	9,063	9,17	9,16	9,06	9,11	9,28	10,39	10,3

Далі необхідно провести розрахунок місцевого часового кута. Згідно формулі 2 значення місцевого часового кута лінійно залежить від місцевого дійсного сонячного часу, і визначається за формулою:

$$\tau = 15 \cdot (12 - T_s) \quad (3)$$

За даною формулою проведемо розрахунок для кожного місяця:

Таблиця 3 – Значення місцевого часового кута для кожного місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
τ°	29,055	31,5	31,35	29,25	44,05	42,45	42,6	44,1	43,45	40,08	24,15	25,5

Визначимо кут нахилу сонця. Даний кут залежить від обертання землі навколо сонця, так як орбіта обертання має еліптичну форму, а вісь є похилою, тому кут змінюється протягом року від $23,5^\circ$ до $-23,5^\circ$. Кут має значення 0° двічі на рік, в дні весняного та осіннього сонцестояння, а максимального та мінімального значення досягає в дні літнього та зимового сонцестояння відповідно. Його можна визначити скориставшись формулою [4].

$$\delta = 23,5 \cdot \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) \cdot (81 - d)\right) \quad (4)$$

Де d – порядковий номер дня в році. Порядкові номери першого дня всіх місяців:

Таблиця 4 – Кут нахилу Сонця для кожного місяця

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
δ°	-23,2	-17,9	-8,53	4,14	15,18	22,35	22,95	16,95	5,98	-6,35	-17,2	-22,9

Висота сонцестояння залежить від величини кута нахилу сонця, часового кута, та широти місцевості. Широта місцевості відповідає місцю знаходження фотомодулів, для прикладу будемо використовувати географічну широту міста Вінниця, що складає 49° [5]. Маючи всі вищеперераховані величини, можемо розрахувати середню висоту сонцестояння для кожного місяця за формулою:

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \cdot \sin(\theta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\tau) \cdot \cos(\theta)) \quad (5)$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця, отримані результати занесемо в таблицю 5

Таблиця 5 - Значення висоти сонцестояння в залежності від місяця.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
h_c	11,91	15,68	23,69	34,2	34,8	39,56	39,8	35,57	29,15	21,25	19,03	13,5

Далі проведемо розрахунок коефіцієнту поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти сонячному променю [5]. Визначити даний коефіцієнт можна за формулою:

$$K_{ar} = 1,1254 \cdot \left(\frac{0,1366}{\sin(h_c)}\right) \quad (6)$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця, отримані данні занесемо до таблиці 6

Таблиця 6 Значення коефіцієнту поправки на повітряну масу в залежності від місяця .

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$K_{ат}$	0,463	0,619	0,748	0,881	0,887	0,91	0,912	0,89	0,844	0,748	0,706	0,539

Виконавши попередні розрахунки, ми можемо розрахувати значення отриманої кількості сонячної енергії на подиницю площі модулів, при використанні трекерних систем різних типів.

Для виконання цього обрахунку, необхідно знайти величину сонячної радіації, яку отримує фотovoltaїчна панель протягом дня. Потік прямої сонячної радіації, на поверхню, яка розташовується під кутом до нього, розраховують за формулою:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \cdot \cos\beta \quad (7)$$

Де $S_{гmax}$ – кількість радіації, що надходить від Сонця на Землю. Ця величина є констатнтою, і її значення становить 1325 Вт/м² [6], однак в розрахунках слід враховувати, що близько 30-35 відсотків енергії, відбивається від поверхні Землі, тому панелями поглинається не вся кількість сонячної енергії, прийємо значення $S_{гmax} = 925 \text{ Вт/м}^2$.

Використовуючи двоосеву трекерну систему відслідковування оптимального кута нахилу панелі відносно сонячних променів, кут між нормаллю поверхні панелі та сонячними променями рівний нулю, тому для даного типу системи, використаємо наступну формулу:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \quad (8)$$

Зробимо розрахунок для кожного місяця:

Таблиця 7 – Значення кількості отриманої сонячної енергії для панелей з двоосевою трекерною системою протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$S_{гпр}$	428,3	572,6	691,9	815	820,5	841,8	843,7	823,5	780,7	692	653	498,6

Для одоосевої системи, при розрахунку кількості сонячної енергії необхідно враховувати кут між нормаллю поверхні панелі, та сонячними променями, тому вираз для розрахунку виглядає наступним чином:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \cdot \cos(\theta - h_c) \quad (9)$$

В даному виразі, враховано кут нахилу сонячних панелей відносно горизонту, по вертикальній осі. Проведемо розрахунок для кожного місяця:

Таблиця 8 – Значення отриманої сонячної енергії для сонячних панелей з одноосевою трекерною системою протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
$S_{гпр}$	337,7	475,5	622,5	781,7	788,1	825,3	832,5	798,3	733,6	608,7	565,6	403,3

Для стаціонарної панелі, яка знаходиться під кутом відносно горизонту, розрахунок отриманої сонячної енергії виконується за формулою:

$$S_{гпр} = S_{гmax} \cdot K_{ат} \cdot \cos(\theta - h_c) \cdot \cos(90 - \tau) \quad (10)$$

За даною формулою проведемо розрахунок для кожного місяця:

Таблиця 9 – Значення кількості отриманої сонячної енергії для стаціонарної панелі протягом року.

місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
$S_{\text{стп}}$	176,3	257,2	343,4	406,1	587,7	597,3	608,2	595,4	544,1	425,3	250,3	188,4

Проведемо порівняння ефективності двох типів трекерних систем, із стаціонарною панеллю, для цього виконаємо наступний розрахунок:

$$E = \frac{S_{\text{стпд}} - S_{\text{стпс}}}{S_{\text{стпс}}} \cdot 100\% = \frac{8461,6 - 4997,9}{4997,9} \cdot 100\% = 68\%$$

де $S_{\text{стпд}}$ – значення отриманої прямої сонячної енергії для соячної панелі з двоосевою трекерною системою орієнтування, $S_{\text{стпс}}$ – значення отриманої прямої сонячної енергії для стаціонарної сонячної панелі.

Проведемо таке ж порівняння для сонячної панелі з одноосевою трекерною системою, та для стаціонарної сонячної панелі:

$$E = \frac{S_{\text{стпо}} - S_{\text{стпс}}}{S_{\text{стпс}}} \cdot 100\% = \frac{7772,8 - 4997,9}{4997,9} \cdot 100\% = 55\%$$

Також порівняємо ефективність застосування двоосевої та одноосевої трекерної системи:

$$E = \frac{S_{\text{стпд}} - S_{\text{стпо}}}{S_{\text{стпс}}} \cdot 100\% = \frac{8461,6 - 7772,8}{7772,8} \cdot 100\% = 9\%$$

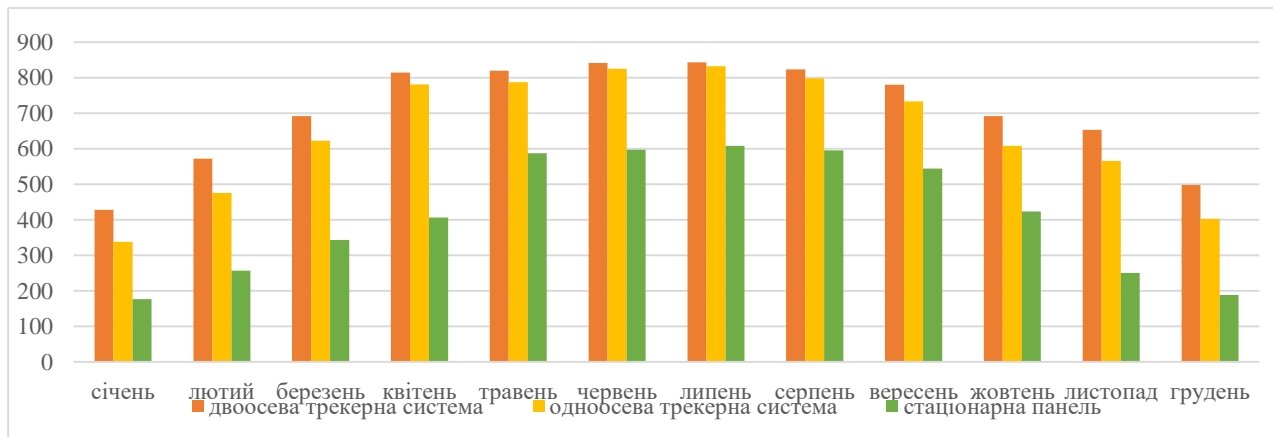


Рисунок 1 – Порівняльна гістограма максимальної кількості отриманої сонячної енергії протягом року, Вт год/м²

Висновок

Отримавши та проаналізувавши візуалізацію обрахунків, можна зробити висновки про ефективність використання трекінгових систем для фотовольтаїчних електростанцій. Найбільшу ефективність, ми спостерігаємо у місяці з жовтня по березень, ККД, рухомих ФЕС у цей період найбільший у порівнянні зі стаціонарними. Щодо порівняння двоосевої, та одноосевої трекерних систем, слід відмітити, що їх ефективність у місяці з червня по серпень відрізняється несуттєво, проте у місяці з жовтня по березень, сумарно сонячні панелі з двоосевою трекерною системою орієнтування отримують на 17% більше сонячної енергії, протягом всього року цей показник сягає 9%. Щодо порівняння ефективності стаціонарних панелей протягом року, доходимо до висновку, стаціонарні панелі є на 55% менш ефективними у порівнянні з панелями на одноосевій трекерній системі, та на 68% менш ефективними відносно панелей на двоосевій трекерній системі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агеев В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций / В. А. Агеев. – М. : МРСУ, 2004. – 174 с.
2. Бабієв Г. М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г. М. Бабієв, Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // ЕЛЕКТРИЧНИЙ Журнал, Запоріжжя: ВАТ "Гамма", 1998. – №1, С. 63-64.
3. Тхеин Лин У. Исследование и разработка автоматических систем управления мобильных солнечных энергетических установок в условиях длительного затенения: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Тхеин Лин У. – 2010. – М. – 158с.
4. Осипов О.Ю. Мультикоординатные электромехатронные системы движения: монография / О.Ю. Осипов, Ю.М. Осипов, С.В. Щербинин // Системы управления и радиоэлектроника. – 2010. – М. – 320 с.
5. Damn J. An active solar tracking system // Home Brew Magazine -1990
6. Атмосфера [Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://www.atmosfera.ua/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/>

Олександр Борисович Бурикін — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mr.burykin@gmail.com

Владислав Анатолійович Гриник — інженер кафедри ЕСС, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladgreen14@gmail.com

Oleksandr B. Burykin — Ph.D., Associate Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : mr.burykin@gmail.com.

Vladyslav A. Hrynyk — engineer of department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : vladgreen14@gmail.com