

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Станіслав Попов

кандидат технічних наук, доцент,

завідувач кафедри механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36002,

stanislav.popov@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2381-152X

Юлія Левченко

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36002,

yuliia.levchenko@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7087-3681

Юлія Басова

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36002,

yuliia.basova@pdaa.edu.ua

ORCID ID: 0000-0003-4057-7712

Костянтин Попов

здобувач

Ліцей 17 «Інтелект», б-р Богдана Хмельницького, 15, Полтава, Україна, 36000

ORCID: 0009-0000-3131-0528

У статті проаналізована перспективність використання портативних сонячних електричних станцій, що складаються із сонячної панелі та зарядного блоку. За рахунок використання методики ортогонального планування реалізовано експеримент із двома факторами впливу. Межі змін факторів варіювання такі: для кута нахилу – $0...80^\circ$; для рівня освітленості – $2000...30000$ лк. Визначено значення центру планування, а також інтервали варіювання. Складено матрицю ортогонального планування. Здійснено перевірку експериментальних значень на нормальність розподілу та однорідність. Для цього розраховано лінійні коефіцієнти регресії. Вагомість кожного коефіцієнта перевірена за допомогою критерію Стюдента. Адекватність рівняння регресії підтверджується критерієм Фішера. Встановлено, що робочі параметри технологічного обладнання відповідають рекомендаціям виробників, а також даним програмного забезпечення Optimal Annual Tilt, що працює на платформі Android.

Ключові слова: портативна електрична станція, сонячна панель, ортогональне планування, напруга, факторний експеримент, рівні варіювання, функція відгуку, адекватність моделі.

Актуальність роботи. Початок повномасштабних бойових дій в Україні суттєво змінив ставлення до енергетичного сектору країни. Першочерговими постали питання, пов'язані із енергетичною незалежністю [1; 2]. Особливої популярності набули портативні сонячні електричні станції, які продовжили надавати населенню і нашим захисникам доступ до електричної енергії.

Сонячна електростанція – це технологічне обладнання, що перетворює сонячне випроміню-

вання на електричну енергію. Принцип роботи сучасних сонячних електростанцій полягає у збиранні сконцентрованої сонячної енергії за допомогою дзеркал та відображення сонячних променів на приймачі, які збирають сонячну енергію та перетворюють її на тепло. Конструкція батареї розрахована на використання у різних погодних умовах – від -30°C до $+85^\circ\text{C}$. Щоб генерувати енергію ефективно, панель необхідно розташувати під певним кутом до сторони сонця [3].

За рахунок прогресу сучасних технологій усе більшої актуальності набуває зменшення масогабаритних показників сонячної електростанції та збільшення непомітності її роботи. На основі фотоелектричних перетворювачів розробляються та виготовляються мобільні фотоелектричні станції, які являють собою автономне джерело енергії і можуть бути використані як у польових умовах, так і стаціонарно.

Протягом останніх років з'явилася інформація про використання альтернативних джерел енергії на основі фотоелектричних перетворювачів у провідних арміях світу, тому це питання актуальним залишається і для нашої країни.

Впровадження найбільшого в американській армії проекту портативної станції з відновлювальної енергетики дало змогу зекономити понад 2 мільйони доларів у рік на електроенергії. Також є стратегії, що впродовж наступних 20 років цей показник збільшиться до 100 мільйонів доларів. У такому разі відбудеться повний перехід до відновлювальних джерел енергії.

На споживчому ринку України вже сьогодні представлена чимала кількість портативних сонячних електричних станцій різного рівня потужності та комплектуючих до них як закордонних (більшість), так й вітчизняних виробників. Характерною особливістю наявних пропозицій є те, що у супровідній документації маємо лише узагальнені технічні характеристики. Точні налаштування з урахуванням специфіки конкретно узятим споживачем відсутні. Саме це викликає необхідність проведення наукових досліджень із моделювання процесів для пошуку оптимальних робочих параметрів портативних сонячних електричних станцій.

Матеріал і результати досліджень. Нині ефективним напрямом у галузі електричної інженерії є підвищення ефективності енергетичних систем, що використовують сонячну енергію.

У роботі [4] проведено моделювання та симуляцію сонячних батарей із застосуванням середовища Matlab. Досліджено вплив різного сонячного випромінювання, температурних режимів, геометричних розмірів поверхні на продуктивність роботи. Але потребує подальшого уточнення значення параметрів моделі для наближення результатів до фактичних експлуатаційних показників.

Моделюванню у середовищі Matlab присвячено дослідження [5]. Модель розроблено з використанням базових рівнянь схеми фотоелектричних сонячних елементів та з урахуванням впливу сонячного випромінювання і температури. Осно-

вна мета роботи полягає у пошуку параметрів нелінійного рівняння вольтамперної характеристики коригуванням кривої у трьох точках, а саме: розриву ланцюга, максимальної потужності, короткого замикання.

Чимала увага із боку науковців приділяється питанням дослідження надійності сонячних електричних станцій. Зокрема, в роботі [6] акцентується увага на тому, що на надійність фотоелектричного інвертора суттєво впливає робота від батареї. Навантаження останнього суттєво зменшується під час зарядки акумуляторної батареї. Це призводить до підвищення надійності фотоелектричного інвертора. Окрім цього, ємність батареї, номінальна потужність перетворювача має вплив на навантаження інвертора.

Повідомляється про створення портативної сонячної панелі [7]. Її характерною особливістю є можливість обертатися за рухом сонця. Відповідно до результатів тестування найвищий рівень електричної потужності був досягнутий з 11.00 до 14.00. Детально описана будова та матеріал конструкції.

Про важливу роль сонячних панелей у секторі енергетики повідомляється у роботі [8]. На ринку багатьох країн чимало нестандартних, неспеціфікованих конструкцій. Окрім того, обладнання для тестування сонячних панелей доступне не скрізь. Авторами пропонується система вимірювання ефективності сонячних панелей для реалізації прав споживача та визначення їх рівня ефективності. Система містить датчик напруги, датчик струму, мультиметр і люксметр. Система показала, що ефективність кремнієвих сонячних батарей потужністю 10 Вт, 8 Вт, 0,65 Вт становить відповідно 9,65%, 8,59%, 8,4%.

Незважаючи на численні переваги сонячної технології, ефективність перетворення енергії сонячними панелями низька. Оскільки ці панелі стаціонарні, їх також важко розгортати та транспортувати, вони схильні до пошкоджень та створення перешкод. Прототип портативної системи, запропонований у роботі [9], може легко розгортати сонячні панелі та складати їх із мінімальними зусиллями на основі шаблонів складання орігамі Miura та механічного обертання панелей. Для максимальної ефективності перетворення сонячної енергії до системи додано активну двовісну систему відстеження сонячної енергії на основі поворотно-поворотного механізму. Ця недорога система відстеження сонця складається з мікроконтролера Arduino, фоторезисторів і крокових двигунів.

Питанням пільгової тарифікації сонячної енергії присвячено роботу [10]. Більшість європейських країн застосовує різноманітні моделі тарифікації, але спільним є те, що їм притаманні елементи субсидій, стимулів, винагород. Усі вони спрямовані на стимулювання зростання рівня відновлюваної енергетики.

Отже, на підставі проведеного аналізу можемо стверджувати, що із кожним днем впровадження нетрадиційних автономних джерел енергії набуває більших обертів. Особливо це стосується автономних джерел, принцип роботи яких пов'язаний із перетворенням енергії випромінювання сонця, внаслідок їх екологічності, доступності, безшумності під час роботи, тривалої експлуатації.

Мета роботи полягає у проведенні експерименту методом ортогонального планування для визначення найбільш оптимальних значень факторів технологічного процесу заряджання акумуляторної батареї портативної електричної станції від сонячної панелі, а також порівняння отриманих результатів із наявними рекомендаціями у відповідній галузі.

На рисунку 1 наведено загальний вигляд портативної зарядної станції, що працює від сонячної батареї потужністю 100 Вт [11]. Дана станція призначена для зовнішнього та внутрішнього використання. Вона може бути використана для освітлення приміщень, а також як джерело живлення павербанків, мобільних телефонів, дронів, рацій тощо. Характерною особливістю станції є наявність акумулятора, від якого можна заряджатися навіть уночі. У таблиці 1 наведено її основні технічні характеристики.

Розглянемо отримання моделі залежності зміни напруги (U , В) заряду АКБ мінісонячної станції від впливу двох факторів – кута нахилу сонячної панелі та рівня освітленості.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики портативної сонячної зарядної станції Sanlarix Standart Plus 220V

№ з.п.	Найменування параметру, розмірність	Значення
1	Зарядний блок, Вт·год.	288
2	Вихід USB, шт.:	
	- 2A; - 1A	2 2
3	Розетка на автоприкурювач 12 В, шт.	1
4	Розетка 220 В, шт.	1
5	LED світильники, шт.	2
6	Сонячна панель (габаритні розміри), мм	680×430×12
7	Зарядний блок (габаритні розміри), мм	300×120×200
8	Маса сонячної панелі, кг	3,3
9	Маса зарядного блоку, кг	8,5



Рис. 1. Сонячна портативна зарядна станція Sanlarix Standart Plus 220V

Під час дослідження впливу факторів було обрано межі змін факторів варіювання [3]: для кута нахилу – $0 \dots 80^\circ$, для рівня освітленості – $2000 \dots 30000$ лк (від похмурого дня до сонячного).

Визначимо значення центру планування:

$$z_1^0 = (0 + 80^\circ) / 2 = 40^\circ; \quad z_2^0 = (2000 + 30000) / 2 = 16000.$$

Інтервал варіювання становив:

$$\Delta z_1 = (80^\circ - 0) / 2 = 40^\circ; \quad \Delta z_2 = (30000 - 2000) / 2 = 14000.$$

Матриця ортогонального планування для 2-факторного експерименту наведена в таблиці 2.

Перевіримо експериментальні значення на нормальність розподілу та однорідність. Для цього розрахуємо лінійні коефіцієнти регресії за відомою формулою [12]:

$$b_1 = \frac{1}{6}(-1 \cdot 18,1 + 1 \cdot 18,3 - 1 \cdot 22,8 + 1 \cdot 23,1 + 0 \cdot 21,6 + 1 \cdot 21,4 - 1 \cdot 21,2 + 0 \cdot 23,4 + 0 \cdot 18,2) = 0,12;$$

$$b_2 = \frac{1}{6}(-1 \cdot 18,1 - 1 \cdot 18,3 + 1 \cdot 22,8 + 1 \cdot 23,1 + 0 \cdot 21,6 + 0 \cdot 21,4 + 1 \cdot 21,2 + 1 \cdot 23,4 - 1 \cdot 18,2) = 2,45.$$

Розрахуємо коефіцієнти b_{11} , b_{22} і коефіцієнт парної взаємодії b_{12} . Для цього складемо додаткову таблицю 2. Значення у 5 та 6 стовпчиках визначаємо за такими формулами:

$$(x'_1)^2 = x_1^2 - \frac{\sum x_1^2}{N}; \quad (x'_2)^2 = x_2^2 - \frac{\sum x_2^2}{N}.$$

Коефіцієнти розрахуємо за такими формулами [12]:

$$b_{11} = \frac{1}{2} \left(\begin{aligned} &0,33 \cdot 18,1 + 0,33 \cdot 18,3 + 0,33 \cdot 22,8 + 0,33 \cdot 23,1 - 0,67 \cdot 21,6 + \\ &+ 0,33 \cdot 21,4 + 0,33 \cdot 21,2 - 0,67 \cdot 23,4 - 0,67 \cdot 18,2 \end{aligned} \right) = -0,56;$$

$$b_{22} = \frac{1}{2} \left(\begin{aligned} &0,33 \cdot 18,1 + 0,33 \cdot 18,3 + 0,33 \cdot 22,8 + 0,33 \cdot 23,1 - 0,67 \cdot 21,6 - \\ &- 0,67 \cdot 21,4 - 0,67 \cdot 21,2 + 0,33 \cdot 23,4 + 0,33 \cdot 18,2 \end{aligned} \right) = -1,1;$$

$$b_{12} = \frac{1}{4}(18,1 - 18,3 - 22,8 + 23,1) = 0,03;$$

$$b_0 = \frac{188,1}{9} - 0,67 \cdot (-0,56) - 0,67 \cdot (-1,1) = 22,01.$$

У результаті розрахунку отримане таке рівняння регресії:

$$y(x_1, x_2) = 22,01 + 0,12x_1 + 2,45x_2 - 0,56x_1^2 - 1,1x_2^2 + 0,03x_1x_2.$$

Внаслідок того, що матриця планування є діагональною, коефіцієнти регресії некорельовані між собою. Отже, вагомість для кожного коефі-

Таблиця 2

Матриця ортогонального планування експерименту і результати випробувань

№ досліджу	Фактори у натуральному масштабі		Фактори у безрозмірній системі координат			Вихідний параметр, U, B
	Кут встановлення $z_1, ^\circ$	Освітленість $z_2, \text{лк}$	x_0	x_1	x_2	y
1	0	2000	0	-1	-1	18,1
2	80	2000	0	+1	-1	18,3
3	0	30000	0	-1	+1	22,8
4	80	30000	0	+1	+1	23,1
5	40	16000	0	0	0	21,6
6	80	16000	0	+1	0	21,4
7	0	16000	0	-1	0	21,2
8	40	30000	0	0	+1	23,4
9	40	2000	0	0	-1	18,2

Таблиця 3

Розширена матриця ортогонального планування

Номер досліджу	x_0	x_1	x_2	$(x'_1)^2$	$(x'_2)^2$	x_1x_2	y
1	+1	-1	-1	+0,33	+0,33	+1	18,1
2	+1	+1	-1	+0,33	+0,33	-1	18,3
3	+1	-1	+1	+0,33	+0,33	-1	22,8
4	+1	+1	+1	+0,33	+0,33	+1	23,1
5	+1	0	0	-0,67	-0,67	0	21,6
6	+1	+1	0	+0,33	-0,67	0	21,4
7	+1	-1	0	+0,33	-0,67	0	21,2
8	+1	0	+1	-0,67	+0,33	0	23,4
9	+1	0	-1	-0,67	+0,33	0	18,2
Σ квадратів	9	6	6	2	2	4	Σ 188,1

цієнта окремо можна перевіряти за допомогою критерія Стюдента [12]. Виключення з рівняння регресії невагомого коефіцієнта не вплине на інші коефіцієнти. Діагональні елементи матриці рівні один одному, тому усі коефіцієнти визначаються однаково точно.

Середнє значення величини y , отримане при паралельних дослідах у центрі плану, становило:

$$\bar{y} = \frac{21,6 + 21,5 + 21,4}{3} = 21,5.$$

Дисперсія відтворюваності $s_{\text{від}}$ дорівнювала:

$$s_{\text{від}} = \sqrt{\frac{(21,6 - 21,5)^2 + (21,5 - 21,5)^2 + (21,6 - 21,5)^2}{3 - 1}} = 0,1.$$

При рівні значущості $q = 0,05$ та числа ступенів вільності 2 (за [12]) маємо табличне значення критерію $t_{\text{таб}} = 4,3$.

Визначаємо $t_{\text{кр}}$ для кожного коефіцієнта:

$$t_0 = \frac{22,01\sqrt{2}}{0,1} = 311,27; \quad t_1 = \frac{0,12\sqrt{2}}{0,1} = 1,70; \quad t_2 = \frac{2,45\sqrt{2}}{0,1} = 34,65;$$

$$t_{11} = \frac{0,56\sqrt{2}}{0,1} = 7,92; \quad t_{22} = \frac{1,1\sqrt{2}}{0,1} = 15,56; \quad t_{12} = \frac{0,03\sqrt{2}}{0,1} = 0,42.$$

Значення коефіцієнтів b_1 та b_{12} є невагомими, тому що вони не перевищують величину $t_{\text{таб}} = 4,3$.

Отже, маємо такий вид рівняння регресії:

$$y(x_1, x_2) = 22,01 + 2,45x_2 - 0,56x_1^2 - 1,1x_2^2.$$

Перевіряємо адекватність рівняння регресії за допомогою критерію Фішера. Суть перевірки зводиться до порівняння дисперсії адекватності та відтворюваності. Знайдемо значення y відповідно до отриманого рівняння регресії (таблиця 4):

$$y_1 = 22,01 + 2,45(-1) - 0,56(-1)^2 - 1,1(-1)^2 = 17,9;$$

$$y_2 = 22,01 + 2,45(-1) - 0,56(1)^2 - 1,1(-1)^2 = 17,9;$$

$$y_3 = 22,01 + 2,45(1) - 0,56(-1)^2 - 1,1(1)^2 = 22,8;$$

$$y_4 = 22,01 + 2,45(1) - 0,56(1)^2 - 1,1(1)^2 = 22,8;$$

$$y_5 = 22,01 + 2,45(0) - 0,56(0) - 1,1(0) = 22,01;$$

$$y_6 = 22,01 + 2,45(0) - 0,56(1)^2 - 1,1(0)^2 = 21,45;$$

$$y_7 = 22,01 + 2,45(0) - 0,56(-1)^2 - 1,1(0)^2 = 21,45;$$

$$y_8 = 22,01 + 2,45(1) - 0,56(0)^2 - 1,1(+1)^2 = 23,36;$$

$$y_9 = 22,01 + 2,45(-1) - 0,56(0)^2 - 1,1(-1)^2 = 18,46.$$

Дисперсія адекватності становить при 4-ох вагомих коефіцієнтах таке значення:

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{0,5923}{9 - 4} = 0,12.$$

Значення F-критерію Фішера [12]:

$$F = \frac{0,12}{0,01} = 12.$$

При рівні значущості $q = 0,05$ та числах ступенів вільності $f_{\text{від}}=2$ та $f_{\text{ад}}=5$ за [12] маємо табличне значення критерію $F_{\text{таб}} = 19,3$. Отже, рівняння адекватно описує процес дослідження, тому що розрахункове значення не перевищує табличне.

Для розкодування рівняння замінимо x на натуральні значення:

$$x_1 = \frac{z_1 - 40}{40}; \quad x_2 = \frac{z_2 - 16000}{14000}.$$

Матимемо таке рівняння регресії:

$$y(z_1, z_2) = 22,01 + 2,45\left(\frac{z_2 - 16000}{14000}\right) - 0,56\left(\frac{z_1 - 40}{40}\right)^2 -$$

$$- 1,1\left(\frac{z_2 - 16000}{14000}\right)^2.$$

За допомогою команди *simplify* системи комп'ютерної алгебри MathCAD 15 спростимо попереднє рівняння до виду (рисунок 2, а):

$$y(z_1, z_2) = 0,028 \cdot z_1 - 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot z_1^2 - 5,61 \cdot 10^{-9} \cdot z_2^2 + 3,54 \cdot 10^{-4} \cdot z_2 + 17,2.$$

Побудуємо поверхні відгуку отриманого рівняння регресії. Для їх отримання кожен із двох факторів зафіксуємо на нульовому рівні: $z_1 = 40$; $z_2 = 16000$. Підставимо ці значення у розкодоване

Таблиця 4

Розрахунок дисперсності адекватності

№ досліду	y	$y_{\text{роз}}$	$(y - y_{\text{роз}})$
1	18,1	17,9	0,04
2	18,3	17,9	0,16
3	22,8	22,8	0
4	23,1	22,8	0,09
5	21,6	22,01	0,1681
6	21,4	21,45	0,0025
7	21,2	21,45	0,0625
8	23,4	23,36	0,0016
9	18,2	18,46	0,0676
Σ			0,5923

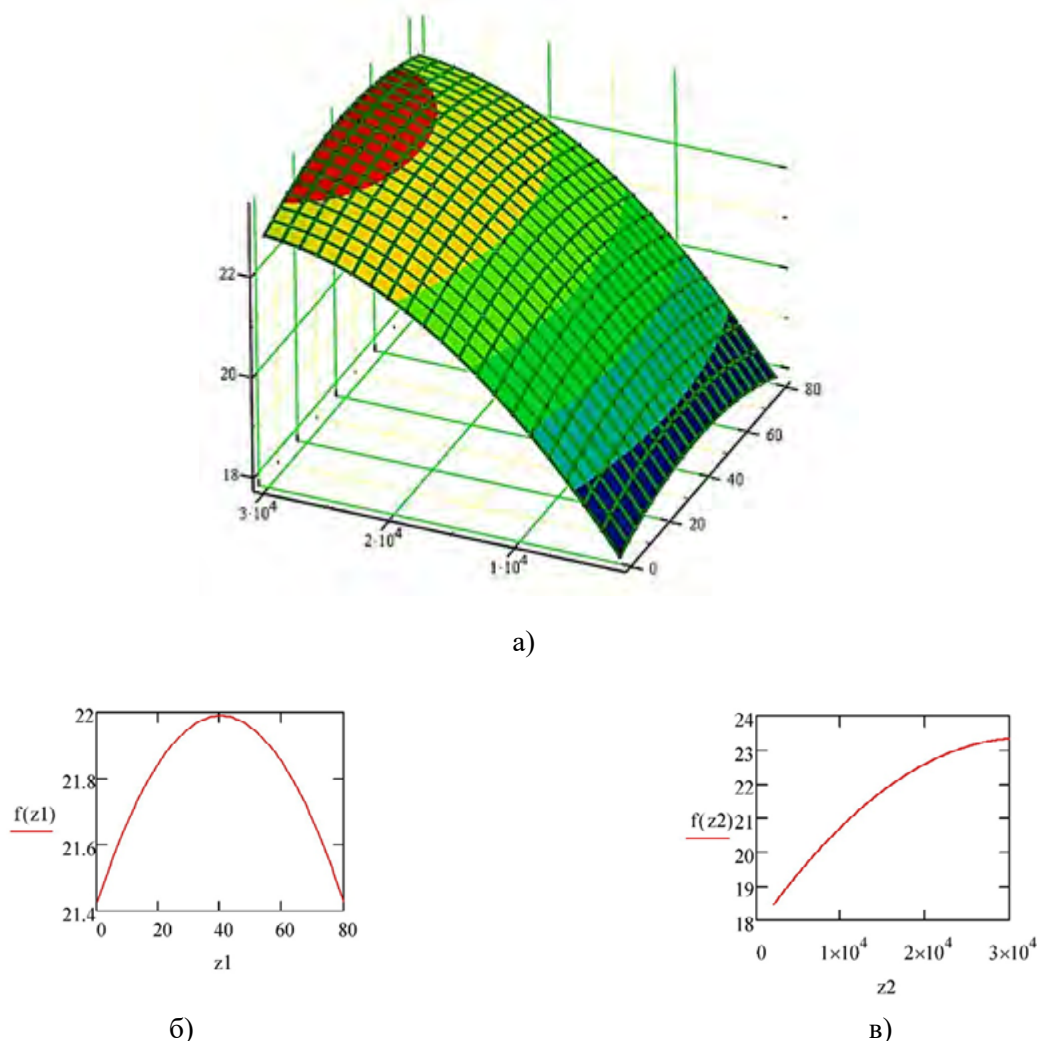


Рис. 2. Графік функції відгуку: а – поверхневий; б, в – двовірний

рівняння регресії та побудуємо графічні залежності (рисунок 2, б, в). Отримаємо таке:

$$\sigma = 3,54 \cdot 10^{-4} \cdot z_2 - 5,61 \cdot 10^{-9} \cdot z_2^2 + 17,76;$$

$$\sigma = 0,028 \cdot z_1 - 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot z_1^2 + 21,43.$$

Проведення експерименту надало нам можливість зрозуміти вплив робочих параметрів на технологічне обладнання, а також отримати адекватну математичну модель у вигляді функціональної залежності.

Висновки. Отже, здійснено ортогональне планування двофакторного експерименту стосовно визначення впливу кута встановлення сонячної панелі ($z_1, ^\circ$) та рівня освітленості (z_2 , лк) на величину напруги заряджання зарядного блоку портативної електричної станції. Найбільше значення напруги спостерігається при куті встановлення сонячної панелі у 40° та за максимального рівня сонячної активності (освітленості) 30000 лк – 23,4 В. Отримано рівняння регресії.

Кінцеві результати узгоджуються із рекомендаціями виробників, а також із даними програмного забезпечення Optimal Annual Tilt, що працює на платформі Android.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання : монографія / А.О. Семенов, С.В. Попов, Т.В. Сахно, Д.С. Тарасенко. Полтава : ПП «Астроя», 2023. 190 с.
2. Відновлювальні джерела постійного струму для освітлення приміщень за умов віялових відключень енергопостачання та блекауту / С.В. Попов, Н.В. Прилепо, К.С. Попов. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, м. Запоріжжя, ТДАТУ, 01–25 листопада 2022 р. Запоріжжя, 2022. С. 207.
3. Альтернативні джерела енергії : підручник / А.П. Войцицький, Т.П. Резніченко, М.А. Войцицький. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. 280 с.

4. Руденко Д.В., Васюченко П.В. Моделювання фізичних процесів роботи сонячних фотоелектричних батарей. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Т. 30 (69). Ч. 2. 2019. № 2. С. 42–47.

5. Kumari J.S., Babu Ch.S. Mathematical Modelling and Simulation of Photovoltaic Cell Using MATLAB/Simulink Environment and PLECS Blockset. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2012. Vol. 2. No. 1. February. P. 26–34. URL: <https://doi.org/10.11591/ijece.v2i1.117/>

6. Sangwongwanich A. et al. Reliability Assessment of PV Inverters with Battery Systems Considering PV Self-Consumption and Battery Sizing. *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. 2018. P. 7284–7291. URL: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2018.8557479>.

7. Rahmat Abdul Karim, Sandi Rais, Bambang Tjiroso. Design Portable Solar Panel. *Patria Artha Technological Journal*. 2022. Vol. 6. Is. 1. April. P. 41–47.

8. Hashmi G., Hasan M.S., Efat M.M.H. Portable solar panel efficiency measurement system. *SN Appl. Sci.* 2, 56 (2020). URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1851-z>.

9. Jasim B., Taheri P. An Origami-Based Portable Solar Panel System: 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 2018. P. 199–203. URL: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614997>.

10. A Review of Feed-In Tariff Model (FIT) for Photovoltaic (PV)/I. Prahastono, N.I. Sinisuka, M. Nurdin, H. Nugraha. *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*. 2019, P. 076–079. URL: <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011131>.

11. Портативні зарядні станції : вебсайт. URL: <https://sanlarix.com.ua/portatyvni-zariadni-stantsii/> (дата звернення: 08.05.2023).

12. Математичне моделювання систем і процесів : навчальний посібник / Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Київ : НАУ, 2017. 392 с.

DETERMINATION OF OPTIMUM WORKING PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USING THE ORTHOGONAL PLANNING METHOD EXPERIMENT

Stanislav Popov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Mechanical and Electrical Engineering

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovoroda str., Poltava, Ukraine, 36002, stanislav.popov@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2381-152X

Yulia Levchenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovoroda str., Poltava, Ukraine, 36002, yuliia.levchenko@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7087-3681

Yulia Basova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Mechanical and Electrical Engineering

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovoroda str., Poltava, Ukraine, 36002, yuliia.basova@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0003-4057-7712

Kostiantyn Popov

Getter

Lyceum 17 “Intellect”, 15 Bohdana Khmelnytskoho blvd., Poltava, Ukraine, 36000

ORCID: 0009-0000-3131-0528

The use of portable solar electric stations is an urgent need today. They are quite versatile. They can be used to light various types of premises and restore the charging level of drones, walkie-talkies, mobile phones, power banks, laptops, and constant power supply of low-power equipment, such as routers, etc. Due to the presence of charging blocks in the composition of the stations, their operation is possible even in darkness.

A considerable number of portable solar electric stations are represented in the consumer market of Ukraine. Foreign production models prevail. A significant drawback of the available proposals is the lack of recommendations in the accompanying technical documentation regarding the settings of this type of equipment for a specific consumer.

A specific model of the Sanlarix Standart Plus 220V portable electric station equipped with a solar panel is considered. Its main technical characteristics and appearance are given. Due to the use of the orthogonal planning method, an experiment with two influencing factors was implemented. The limits of variation factors are as follows: for the angle of inclination – 0...80°; for an illumination level of 2000...30000 lx. The value of the planning center and the variation intervals are determined. An orthogonal planning matrix has been compiled. Experimental values were checked for normality of distribution and homogeneity. That's why the linear regression coefficients were calculated. The importance of each coefficient was checked using the Student's criterion. The adequacy of the regression equation is confirmed by Fisher's criterion.

A mathematical model in the form of a functional dependence was obtained. It adequately describes the value of the solar panel's voltage supplied to the charging unit. According to the results of the analysis of the mathematical model, the optimal technological parameters of the process of charging the battery of the portable solar power station were determined.

Key words: portable electric station, solar panel, orthogonal planning, voltage, factorial experiment, levels of variation, response function, model adequacy.

REFERENCES

1. Semenov A.O., Popov S.V., Sakhno T.V., Tarasenko D.S. (2023). Ultrafiolet: sfery vykorystannya ta dzherela vyprominyuvannya [*Ultraviolet: areas of use and sources of radiation*]. Poltava: PP "Astraya" [in Ukrainian].
2. Popov S.V., Prilepo N.V., Popov K.S. (2022). Vidnovlyuvalni dzherela postyynoho strumu dlya osvittleniya prymishchen' za umov viyalovykh vidklyuchen enerhopostachannya ta blekautu [*Renewable sources of direct current for the lighting of premises under the conditions of power outages and blackouts*]. Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi – Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the IV Internet International Conference science and practice. (p. 207). Zaporizhia: TDATU [in Ukrainian].
3. Voytsytskyi A.P., Reznichenko T.P., Voytsytskyi M.A. (2017). A'ternatyvni dzherela enerhiyi [*Alternative energy sources*] Zhytomyr. ZhNAEU [in Ukrainian].
4. Rudenko D.V., Vasyuchenko P.V. (2019). Modelyuvannya fizychnykh protsesiv roboty sonyachnykh fotoelektrychnykh batarey [Modeling of physical processes of operation of solar photovoltaic batteries]. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky – Academic notes of TNU are named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences. (Vols. 30 (69)), 2 (2) (pp. 42–47) [in Ukrainian].
5. Kumari J.S., Babu Ch.S. (2012). Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell Using MATLAB / Simulink Environment and PLECS Blockset. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vols. 2 (1). (pp. 26–34).
6. Sangwongwanich A. et al. (2018). Reliability Assessment of PV Inverters with Battery Systems Considering PV Self-Consumption and Battery Sizing. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. (pp. 7284–7291). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ECCE.2018.8557479>
7. Rahmat Abdul Karim, Sandi Rais, Bambang Tjiroso. (2022). Design Portable Solar Panel. *PATRIA ARTHA Technological Journal*. Vols. 6 (1). (pp. 41–47).
8. Hashmi, G., Hasan, M.S., Efat, M.M.H. et al. (2020). Portable solar panel efficiency measurement system. 2 (56). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1851-z>.
9. Jasim B., Taheri P. (2018). An Origami-Based Portable Solar Panel System. *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, (pp. 199–203). Vancouver, BC, Canada. Retrieved from: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614997>.
10. Prahastono I., Sinisuka N., Nurdin M., Nugraha H. (2019). A Review of Feed-In Tariff Model (FIT) for Photovoltaic (PV). *2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*. (pp. 076–079). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011131>.
11. Portativnyye zaryadnyye stantsii [Portable Charging Stations]. Retrieved from <https://sanlarix.com.ua/portativni-zariadni-stantsii/>.
12. Pavlenko P.M., Filonenko S.F., Cherednikov O.M., Treytyak V.V. (2017). *Matematicheskoye modelirovaniye sistem i protsessov [Mathematical modeling of systems and processes]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

Стаття надійшла 11.04.2023