

МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ АГРОПІДПРИЄМСТВ У MATLAB

Дяденчук А.Ф., к.т.н.,

Філіпович Є.В., магістрант

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного, м. Запоріжжя, Україна*

Постановка проблеми. Сучасні агропромислові підприємства характеризуються високим рівнем енергоспоживання, зокрема при експлуатації систем поливу, вентиляції, освітлення та технологічного обладнання. Зростання вартості електроенергії та необхідність зменшення викидів парникових газів обумовлюють перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Одним із найперспективніших напрямів є впровадження фотоелектричних систем живлення. Однак ефективність таких систем залежить від багатьох чинників: інтенсивності сонячного випромінювання, температури, конфігурації панелей, кутів нахилу, а також режимів споживання енергії.

Для підвищення ефективності проектування та експлуатації фотоелектричних систем останнім часом пропонується застосовувати моделювання в середовищі Matlab. Одним із ключових напрямів є математичний опис роботи фотоелементів на основі рівняння Шоклі, що дозволяє враховувати нелінійні залежності між струмом і напругою [1, 2]. У працях [3, 4] розглянуто моделювання PV-систем з інверторами та накопичувачами енергії, що дозволяє аналізувати їх роботу в реальному часі. Дослідження [5] присвячено оптимізації орієнтації фотоелектричних модулів для аграрних об'єктів з урахуванням сезонних змін інсоляції.

Таким чином, аналіз літератури свідчить про ефективність використання Matlab як інструменту моделювання фотоелектричних систем. Його гнучкість і точність дозволяють адаптувати моделі до специфічних умов агропідприємств з урахуванням кліматичних, технічних та економічних чинників. Незважаючи на значний науковий доробок, актуальним залишається розроблення адаптивних моделей, здатних враховувати змінну інсоляцію, режим споживання енергії та технічні обмеження аграрної інфраструктури.

Основні матеріали дослідження. Моделювання фотоелектричних систем живлення агропідприємств пропонується виконувати за допомогою однодіодної моделі (Single Diode Model), яка є найпоширенішою у наукових публікаціях та Matlab-документації для моделювання сонячних панелей [6, 7]. Пропонована модель описує вольт-

амперну характеристику (ВАХ) одного фотоелемента, який є основним елементом даної моделі і може бути описаний рівнянням:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V + IR_s}{nV_t}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

де I_{ph} – фотострум;

I_s – струм насичення діода;

R_s, R_{sh} – послідовний та паралельний опори;

n – коефіцієнт ідеальності діода;

V_t – термічна напруга.

У рамках дослідження розглядалася модель фотоелектричної установки потужністю 10 кВт, яка може використовуватися для живлення системи крапельного зрошення площею до 5 гектарів або вентиляційної системи тваринницького комплексу. Основною метою моделювання було оцінити можливість забезпечення стабільного живлення таких систем у денний час за різних рівнів сонячної радіації.

Для моделювання обрано параметри (табл. 1), які відповідають характеристикам реальних комерційних сонячних модулів потужністю 300-500 Вт. Типова панель містить 60-72 комірки, що забезпечує напругу 30-40 В при струмі 8-9 А. Така модель дозволяє адекватно оцінити поведінку системи за змінної інсоляції – критичного чинника для сільського господарства, де рівень освітленості постійно змінюється. Обрані параметри є типовими, експериментально підтвердженими та рекомендованими у науковій літературі. Вони забезпечують реалістичну поведінку вольт-амперної характеристики фотоелемента за стандартних умов, дозволяючи досліджувати вплив освітленості, температури та конфігурації панелей.

Таблиця 1

Вхідні параметри для розрахунку ВАХ фотоелемента

Параметр	Значення
Фотострум I_{ph} , А	5
Струм насичення діода I_s , А	10^{-10}
Послідовний опір R_s , Ом	0,4
Паралельний опір R_{sh} , Ом	10^3
Коефіцієнт ідеальності діода n	1,3
Термічна напруга V_t , В	$25,9 \cdot 10^{-3}$

Отримані дані (рис. 1) дозволяють оцінити зміну струму при різних значеннях напруги та побудувати ВАХ, що характеризує поведінку фотоелемента.

Розрахунки показали, що модель адекватно відтворює характерну нелінійну залежність між струмом і напругою. При напрузі, близькій до

нуля, струм становить близько 5 А (режим короткого замикання), а при напрузі понад 0.55 В – зменшується до нуля (режим холостого ходу).

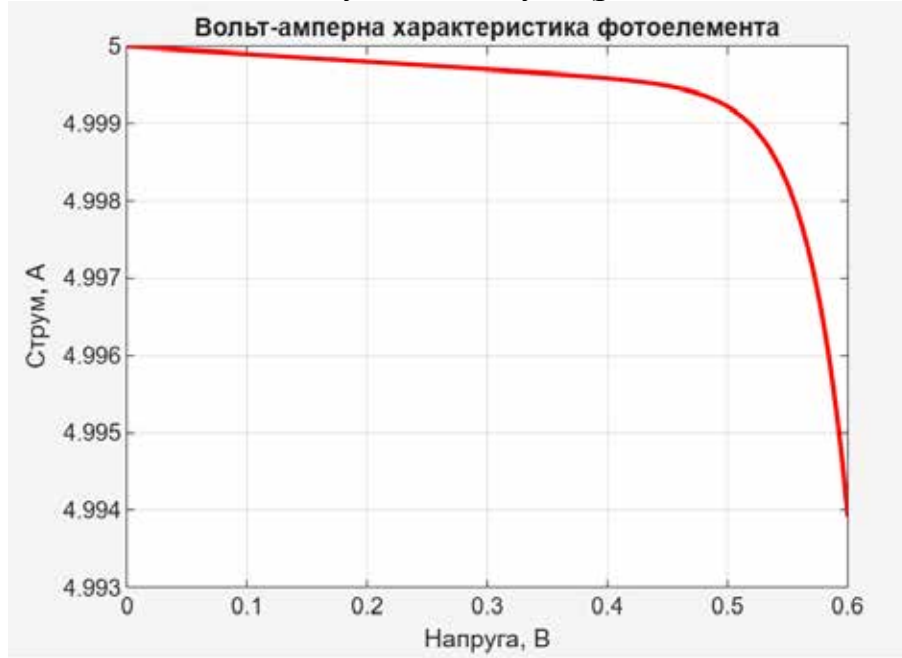


Рис. 1. ВАХ фотоелемента

Максимальна потужність елемента для даної моделі становить приблизно 2,4 Вт, що узгоджується з параметрами типової кремнієвої комірки при площі $\sim 0,015 \text{ м}^2$. Додатково змінювали параметр I_{ph} для імітації різної сонячної інсоляції: 2, 3, 5 А для 400, 600 та 1000 Вт/м² відповідно. Результати показали, що зменшення освітленості знижує як струм, так і потужність фотоелемента майже пропорційно, тоді як форма кривої залишається подібною.

Отже, Matlab забезпечує можливість ефективного аналізу роботи фотоелектричних елементів і дозволяє досліджувати вплив параметрів освітлення та температури на вихідні характеристики, визначати робочу точку та ефективність фотоелемента, використовувати результати для подальшого проєктування систем живлення агропідприємств.

Висновки. Результати моделювання свідчать, що впровадження фотоелектричних систем на агропідприємствах може забезпечити значну економію енергоресурсів, особливо в регіонах із високою сонячною активністю. Отримані результати можуть бути використані для планування автономних енергосистем для ферм, теплиць, насосних станцій, систем зберігання та переробки сільськогосподарської продукції.

У роботі показано, що Matlab є ефективним інструментом для моделювання фотоелектричних систем. Використання моделей дозволяє оптимізувати конфігурацію системи за кількістю модулів і ємністю акумуляторів, оцінити вплив кліматичних умов на продуктивність та

визначити економічну доцільність переходу на відновлювані джерела енергії.

Подальші дослідження будуть спрямовані на інтеграцію фотоелектричних систем з іншими джерелами — біогазовими або вітровими, а також розроблення інтелектуальних систем керування енергоспоживанням.

Список використаних джерел

1. Golan G., Axelevitch A. Progress in vacuum photothermal processing (VPP). *Microelectronics Journal*. 2006. Vol. 37, No. 5. P. 459–473.
2. Díaz S. R. A generalized theoretical approach for solar cells fill factors by using Shockley diode model and Lambert W-function: A review comparing theory and experimental data. *Physica B: Condensed Matter*. 2022. Vol. 624. Article 413427.
3. Harika G., Jayakumar N., Thrivonasundari D. Design and Simulation of Dual Inverter Based Energy Storage Systems for Wind Energy Systems Using MATLAB/SIMULINK. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. 2014. Vol. 4, Issue 4 (Version 7). Pp. 05–12.
4. Hemavathi S. Modeling and energy optimization of hybrid energy storage system. *Hybrid Renewable Energy Systems*. 2021. Pp. 97–114.
5. Tamoor M., Bhatti A. R., Farhan M., Rasool A., Sherefa A. Optimizing tilt angle of PV modules for different locations using isotropic and anisotropic models to maximize power output. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 30197.
6. Villalva M. G., Gazoli J. R., Ruppert Filho E. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2009. Vol. 24, No. 5. P. 1198–1208.
7. MATLAB Documentation: Solar Cell Block – Simscape Electrical. URL: <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/solarcell.html> (дата звернення - 26.10.2025).