

МОДЕЛЬ ДОБОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТА, ОСНАЩЕНОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ З МАКСИМАЛЬНИМ ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Костюк В. О.¹, Аксьонова О. С.²

¹Інститут загальної енергетики НАН України,

²Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Запропоновано параметричну модель сумарної сонячної інсоляції для фотоелектричної установки, оснащеної пристроями азимутального стеження. Виконано співставні розрахунки ємності акумуляторної батареї – накопичувача у складі локальної системи електропостачання сільськогосподарського об'єкта.

Постановка проблеми. У сучасній відновлювальній енергетиці особливої уваги надають показникам якості виробленої електроенергії. Визначальним є застосування акумуляторів, які забезпечують розв'язання низки взаємопов'язаних проблем: накопичення, зберігання і перетворення енергії. Таким чином, актуальною постає задача повнішої утилізації (збору) енергії, яку можливо здобути в процесі її видового перетворення фото-електричною установою (СФЕУ), насамперед шляхом формування періодичних запасів (акумулявання) й ощадного використання – в локальних автономних системах електропостачання (ЛЕС) та мікро-мережах зокрема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний момент дослідження та розвиток сонячної енергетики в Україні знаходиться на початковому рівні. Середнє значення коефіцієнта корисної дії (ККД) працюючих СФЕУ оцінюють на рівні 20-24%. Населення планети має практично нескінченний запас сонячної енергії, тому вкрай важливо скерувати зусилля на вдосконалення технічних засобів утилізації енергії цього першоджерела.

Мета статті. Виконати аналітично-розрахункове оцінювання адекватності параметричної моделі опису обсягів сонячної інсоляції на плоскій поверхні та застосувати її в задачі вибору покращених компонентів рішень локальної електропостачальної системи сільськогосподарського підприємства на основі СФЕУ з пристроями азимутального стеження.

Основні матеріали дослідження. Проблему максимальної утилізації енергії, виробленої фотоелектричною установою (СФЕУ) в автономних системах енергопостачання, традиційно вирішують за допомогою накопичувачів електроенергії [1, 2]. Дані щодо рівнів сонячної радіації є підставою для визначення погодинних рівнів електрогенерації СФЕУ. Знаючи обсяги енергії, виробленої з використанням технологій на основі відновлюваних джерел E_{RES} , задачу можна звести до аналізу балансового рівняння (1) на інтервалі T , позначивши у ньому значення небалансу величиною Δ_b – воно залежить від проектних та експлуатаційних параметрів проектно СФЕУ та зумовлене прогнозним попитом споживання, що характеризується певною невизначеністю

$$\sum_{t=t_1}^{t_2} [E_{RES}(t) - (E_{load}^{DC}(t) + E_{load}^{AC}(t) / \eta_{inv})] - \Delta_b = 0. \quad (1)$$

Складність техніко-економічної задачі розрахунку ємності накопичувача за проектним рішенням ЛЕС на основі СФЕУ [2] пов'язане з коректним врахуванням статичної та динамічної компонент Δ_b у рівнянні.

Дослідники виокремлюють два класи моделей опису обсягів сонячної енергії ("моделей Сонця"), придатних для електроенергетичних задач: параметричні і декомпозиційні [3]. За допомогою параметричної моделі визначити значення погодинної сумарної сонячної інсоляції I_t на підставі даних про рівень денного глобального випромінювання G_t .

В основу параметричної моделі покладено геометрію траєкторії руху Сонця над горизонтом протягом денного інтервалу доби, рис. 1

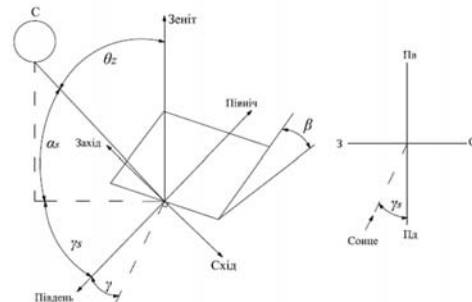


Рисунок 1 – Геометрія траєкторії руху Сонця: позначення кутів до виразів (2) – (3): кут нахилу β , азимутальний кут γ , азимутальний кут Сонця γ_s , кут сонячного сходження α_s , зенітний кут θ_z

Адекватність емпіричного запису параметричної моделі проаналізовано графічно, для чого на рис. 2 побудовано криві залежностей частки щогодинної інсоляції від добової (коефіцієнта r_t) від кута заходу Сонця ω_s та/або тривалості світлового дня на основі аналітичного виразу [2]

$$r_t = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos \omega_1 - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \pi \frac{\omega_s}{180} \cos \omega_s} \right) \cdot (a_2 + b_2 \cdot \cos \omega_1), \quad (2)$$

в якому коефіцієнти обчислюють за емпіричними залежностями від кута заходу Сонця ω_s

$$a_2 = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60^\circ),$$

$$b_2 = 0,6609 + 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60^\circ),$$

а поточний годинний кут може бути визначений для кожного моменту часу T , год, за виразом

$$\omega_1 = 15(12 - T).$$

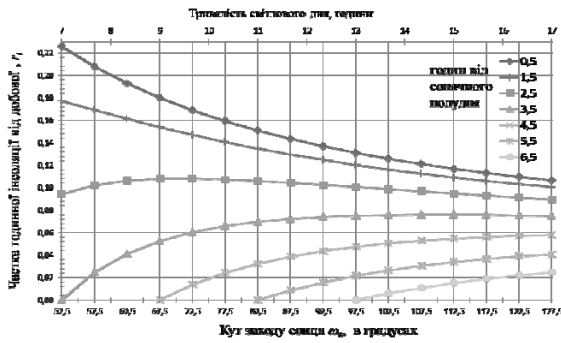


Рисунок 2 – Розподіл середньомісячної погодинної радіації

Параметричну модель (2) легко пристосувати до визначення погодинних обсягів виробництва електроенергії сонячною батареєю, скориставшись інструментами розрахунку денних обсягів електрогенерації СФЕУ потужністю 1,0 МВт_{пик} [2]. Для цього погодинні обсяги генерування електроенергії СФЕУ з орієнтацією панелей на південь обчислюють через співвідношення рівнів прямої радіації, що освітлює похилу (фіксований кут β) і горизонтальну площину сонячних панелей [4]

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (3)$$

яке з урахуванням геометрії траєкторії сонця по відношенню до панелей (рис.1) записують у вигляді

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_1 + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_1 + \sin \varphi \cdot \sin \delta}. \quad (4)$$

СФЕУ з пристроями азимутального стеження. Погодинні обсяги генерування електроенергії такою СФЕУ так само обчислюють за допомогою (3). З метою відстеження азимутального кута. Значення коефіцієнта R_b (3) розраховують на підставі числових значень $\cos \theta$, із припущення, що азимутальний кут встановлюється пристроями стеження з достатньою точністю в режимі реального часу таким, що його значення повторює значення азимутального сонячного кута: $\gamma = \gamma_s$. Значення кута γ_s визначають за формулою

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \alpha_s \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha_s \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

Кут сходження Сонця α_s у виразі (5) обчислюють користуючись співвідношенням

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \varphi - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega_1 = \cos \theta_z. \quad (6)$$

Розрахунковий експеримент. Вирази (2)–(5) параметричної моделі Сонця використано для співставних розрахунків обсягів генерування електроенергії СФЕУ потужністю 1,0 МВт_{пик} за варіантами: 1) фотоелектричні панелі СФЕУ орієнтовані на південь ($\gamma=0$) та 2) СФЕУ з панелями, оснащеними пристроями стеження за положенням Сонця. СФЕУ спроектовано для покриття потреб добового споживання електроенергії технологічним обладнанням птахоферми яка знаходиться у Вінницькій області.

Розрахункові дані представлені графічно на рис. 3 та рис. 4.

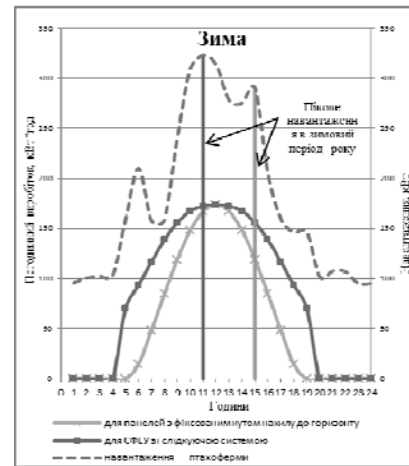


Рисунок 3 – Розрахункові обсяги електрогенерації СФЕУ з пристроями азимутального стеження для покриття потреб птахоферми, характерний день зими

В літній період обсяг генерації СФЕУ для випадку її оснащення автоматичною системою відстеження Сонця дозволяє утилізувати додатково до 45% енергії.

Співставні результати числових розрахунків погодинних обсягів генерування СФЕУ за варіантами розрахункового експерименту зображено на рис. 4.

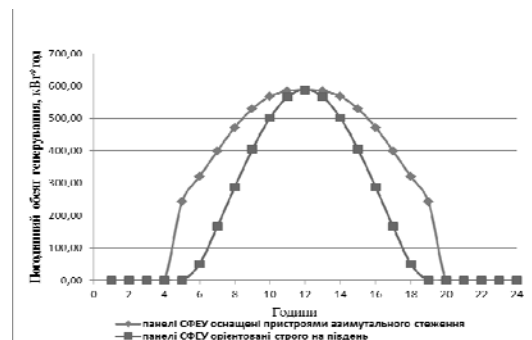


Рисунок 4 – Погодинні графіки генерування протягом доби (15.07, фіксований кут нахилу $\beta=30^\circ$)

В нічний період і за умови критичного зниження рівня сонячної інсоляції (нижче 100 Вт/м²) робочі режими електропостачання ЛЕС птахоферми забезпечуються використанням енергії накопиченої акумуляторною батареєю (АБ), також резервною електро-

станцією з двигуном внутрішнього згорання – на випадок перевищення споживаної потужності, обумовленої договором із зовнішнім постачальником електроенергії (оператором районної електромережі).

Розрахунок ємності АБ для обох варіантів СФЕУ в першому наближенні можна виконати з урахуванням статичної компоненти небалансу Δ_b у рівнянні (1). Для цього для обчислень за виразом (7) слід використати показники середньодобових обсягів енергії Сонця або значення максимальної і середньодобової питомої потужності сонячної інсоляції

$$C_b = \frac{E_{dmax} - E_c}{24 \cdot U_{BCK} \cdot DOD} \cdot T_d \cdot k_{loss} = \frac{A \cdot (I_{dmax} - I_c) \eta_r}{U_{BCK} \cdot DOD} \cdot T_d \cdot k_{loss}, \quad (7)$$

де E_{dmax} – максимальний середньодобовий обсяг електроенергії (кВт·год);

E_c – середньорічний обсяг електроенергії (кВт год);

k_{loss} – кумулятивний коефіцієнт втрат в системі АБ–фотоелектричні панелі СФЕУ;

η_r – номінальний ККД сонячного фотоелектричного модуля або панелі;

T_d – середньорічна протяжність світлого часу доби, год;

$I_{dmax} = H_{dmax} / 24$, $I_c = H_c / 24$ – максимальна і середньорічна питома потужності сонячного випромінювання, Вт/м².

Співставні дані подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунок вартісних показників АБ у складі ЛЕС птахоферми зі СФЕУ 1,0 МВт_{пік}

Варіанти конструктивного виконання СФЕУ	Панелі фіксовано на південь – 1)	Панелі + пристрої стеження – 2)
	Значення	
Вихідні дані для розрахунків:	Значення	
Термін експлуатації, років	20	20
Індекс ескалації/інфляції, %	5	5
Ставка дисконтування, %	15	15
Ціна АБ, тис. євро/кВт·год _{смі} *	0,09	0,09
Початкова вартість комплектною батареї, тис. євро	190	301
Номінальна кількість циклів	800	800
Фіксоване значення глибини розряду DOD ₀	0,8	0,8
Прийняте значення глибини розряду DOD _d	0,3	0,3
Розраховані значення:		
Розрахункова ємність комплекту АБ, кВт·год _{смі}	2020	3200
Реальна кількість циклів "заряд/розряд" АБ	1793	1793
Число заміні комплекту АБ	4	4
Кумулятивні експлуатаційні витрати:		
Експлуатаційні витрати (придбання нових батарей, заміна комплекту), тис. євро	476,37	754,64
Вартість АБ, всього, тис. євро	666,25	1055,64

*Прим. Застосовано індикативні поточні ринкові ціни

Висновки. Використана в роботі параметрична модель опису обсягів сонячної інсоляції у поєднанні з практичними методами визначення ємності акумулятора є придатною для техніко-економічних оцінок за проектами керованих локальних систем електропостачання об'єктів із підвищеним обсягом утилізації енергії первинного джерела.

Список використаних джерел

1. Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Agustín, Javier Contreras. Optimization of Control Strategies for Stand-Alone Renewable Energy Systems with Hydrogen Storage [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09601481>.

2. Костюк В. О., Ханицька О. О. Поєднання вимог щодо керування й надійності в задачах вибору раціональної конфігурації гібридної електропостачальної системи з використанням ВДЕ // Збірник тез доповідей XII Міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах" (КУСС-2014). – Вінниця, ВНТУ. – 2014. – С.145.

3. Iqbal M. An introduction to solar radiation. Toronto: Academic press, 1983.

4. Ion Bostan et al. Resilient energy systems. Renewables: Wind, Solar, Hydro. – Springer Science+Business Media B.V, 2013. – 507p.

Анотація

МОДЕЛЬ СУТОЧНОГО ЕЛЕКТРОСНАБЖЕННЯ ОБ'ЄКТА, ОСНАЩЕННОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С МАКСИМАЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Костюк В. О., Аксёнова Е. С.

Использована параметрическая модель суммарной солнечной инсоляции для фотоэлектрической установки, оснащенной устройствами азимутального слежения. Выполнены сопоставительные расчеты аккумуляторной батареи – накопителя избыточной энергии в составе локальной системы электроснабжения сельскохозяйственного объекта.

Abstract

THE MODEL OF DAILY POWER SUPPLY FOR THE OBJECT EQUIPPED WITH PV-ARRAY PROVIDING MAXIMUM ENERGY UTILIZATION

V. Kostiuk, O. Aksonova

The parametric model of total solar insolation of the PV-installation equipped with vertical tracking appliances used for the study Comparative computations of the capacity battery storage inside the local power supply system of agricultural object have been presented.