

ВИКОРИСТАННЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Д. т. н. А. А. Єфіменко, к. т. н. О. В. Логвінов, Л. І. Присяжнюк

Державний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
bogachevalyuba523@gmail.com

Наведено результати дослідження умов використання повного факторного експерименту для створення математичних моделей — рівнянь регресії з метою моделювання роботи сонячних батарей за умови скорочення обсягу необхідних для цього натурних випробувань. Показано, що точність моделювання суттєво залежить від діапазону значень факторів.

Ключові слова: сонячна батарея, моделювання, повний факторний експеримент.

Для ефективного використання сонячних батарей (СБ) потрібна їх оптимальна орієнтація відносно Сонця [1]. В ідеальному випадку необхідно створювати системи слідкування, які дозволяли б оперативно змінювати орієнтацію СБ в напрямку Сонця для їх перпендикулярного розташування до сонячного випромінювання. Такі системи виявляються достатньо складними як в частині механічних, так і електронних структур, а найголовніше — для функціонування необхідні додаткові затрати електроенергії, що в більшості випадків робить їх неефективними.

Але все це зовсім не означає, що питання орієнтації СБ не варте уваги та відповідної реалізації. Одним з напрямків підвищення ефективності роботи СБ може бути фіксоване розташування сонячних батарей різної орієнтації по відношенню до Сонця у кластері сонячної електростанції.

Для створення таких електростанцій необхідні дані (моделі), що дозволяли б з достатньою точністю визначати оптимальне орієнтування окремих СБ для різних умов — залежно від місцеположення по широті, пори року тощо.

Відповідно до різноманіття умов експлуатації СБ необхідна значна кількість моделей, а значить, потрібен великий обсяг випробувань з обробленням отриманих результатів для створення цих моделей. Це спонукає виявляти шляхи зменшення обсягів натурних випробувань в різних умовах.

Метою даної роботи є дослідження можливостей використання повного факторного експерименту для створення математичних моделей, які б в умовах мінімізації обсягу випробувань з достатньою точністю описували функціонування сонячних батарей.

Моделлю, що описує поведінку СБ в умовах експлуатації, використаємо представлену на рис. 1 схему.

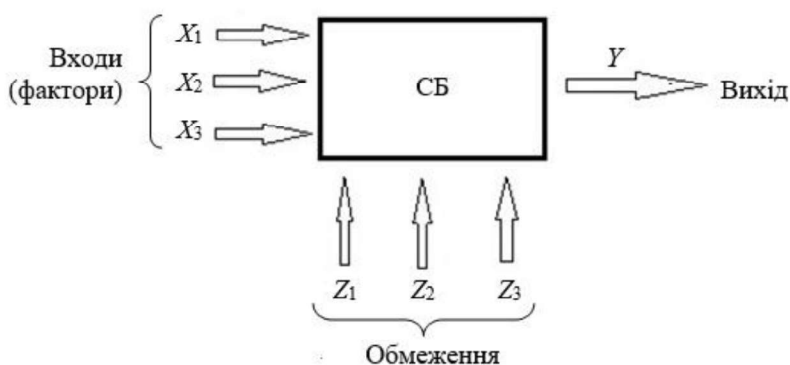


Рис. 1. Поведінка СБ в умовах експлуатації:

X_1 — кут нахилу СБ до горизонту (кут місця); X_2 — азимут розташування СБ (вибраний кут по відношенню до напрямку на південь); X_3 — час світлового дня, що характеризує положення Сонця як за азимутом, так і за кутом місця, і яке залежить від широти розташування СБ та пори року; Y — вихідна потужність, якої досягає СБ

До обмежувальних факторів належить різноманіття, з якого можна виділити такі: Z_1 — ступінь хмарності; Z_2 — ступінь забрудненості атмосфери; Z_3 — тип СБ.

Велике різноманіття вхідних факторів та обмежень породжує й велику кількість математичних моделей, які можуть з прийнятною точністю описувати залежність вихідної потужності від них, та відповідно, і обсяг натурних випробувань. З цих міркувань доцільно використати метод, який би дозволив спростити створення математичних моделей і в першу чергу — зменшити обсяг випробувань. З цією метою пропонується використати повний факторний експеримент.

Для всебічного дослідження можливостей його використання проведені натурні випробування з такими значеннями факторів:

- $X_1 = 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$ (для зручності сприйняття при подальшому використанні позначимо його α);
- $X_2 = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$ (позначимо β);
- $X_3 = 7.00; 7.45; 8.30; 9.00; 9.30; 10.30; 12.30$ год (позначимо t).

Випробування проводилися 09.07.2021 р. в умовах повністю безхмарного неба протягом всього часу експерименту. Використовувалась сонячна батарея АВ320-60МНС з максимальною потужністю 320 Вт.

В результаті використання простої нелінійної поліноміальної моделі (для досягнення більшої точності) та розрахунку коефіцієнтів було отримано нелінійне рівняння регресії

$$Y_n = 120,4 - 30,9X_1 + 12,8X_2 + 57,4X_3 + 12,2X_{12} - 39,1X_{13} - 18,5X_{23} - 14,9X_{123}. \quad (1)$$

Модель перевірялась на адекватність через оцінку відхилень δ розрахункових значень потужності $P_{\text{розр}}$, генерованої сонячною батареєю, від експериментальних значень $P_{\text{експ}}$:

$$\delta = |P_{\text{експ}} - P_{\text{розр}}| / P_{\text{експ}}. \quad (2)$$

Результати порівняння представлені на рис. 2 у вигляді залежностей δ від кута місця для різних значень положення СБ за азимутом. На графіку окремо наведено усереднену залежність, що може розглядатись як інтегральне оцінювання.

Ще більш інтегральною оцінкою може бути середнє відхилення для всіх значень α

$$\delta_{\text{інт}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot 100\%. \quad (3)$$

де n — кількість значень α .

В нашому випадку $\delta_{\text{інт}} = 31,5\%$.

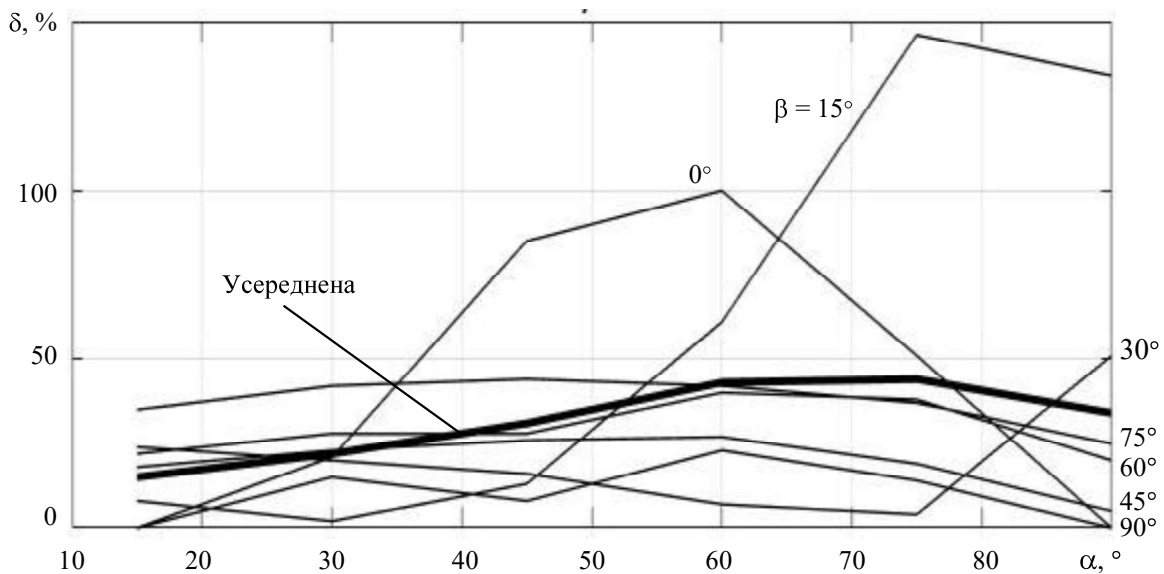


Рис. 2. Графіки залежності відхилення δ від кута місця α для різних положень СБ за азимутом (β)

Аналіз залежностей на рис. 2 показує значні викиди для значень азимуту $\beta = 0^\circ$ та $\beta = 15^\circ$. З метою підвищення точності моделі (рівняння регресії) та з деякими її обмеженнями (виключені значення $\beta = 0^\circ$ та $\beta = 15^\circ$) було отримано нову модель регресії

$$Y_n = 128,3 - 27,7X_1 + 5X_2 + 54,8X_3 + 10X_{12} - 37,3X_{13} - 16X_{23} - 16,7X_{123} \quad (4)$$

та проведено аналогічну її перевірку на адекватність, результати якої наведено на рис. 3. В цьому випадку було отримано $\delta_{\text{нт}} = 20\%$.

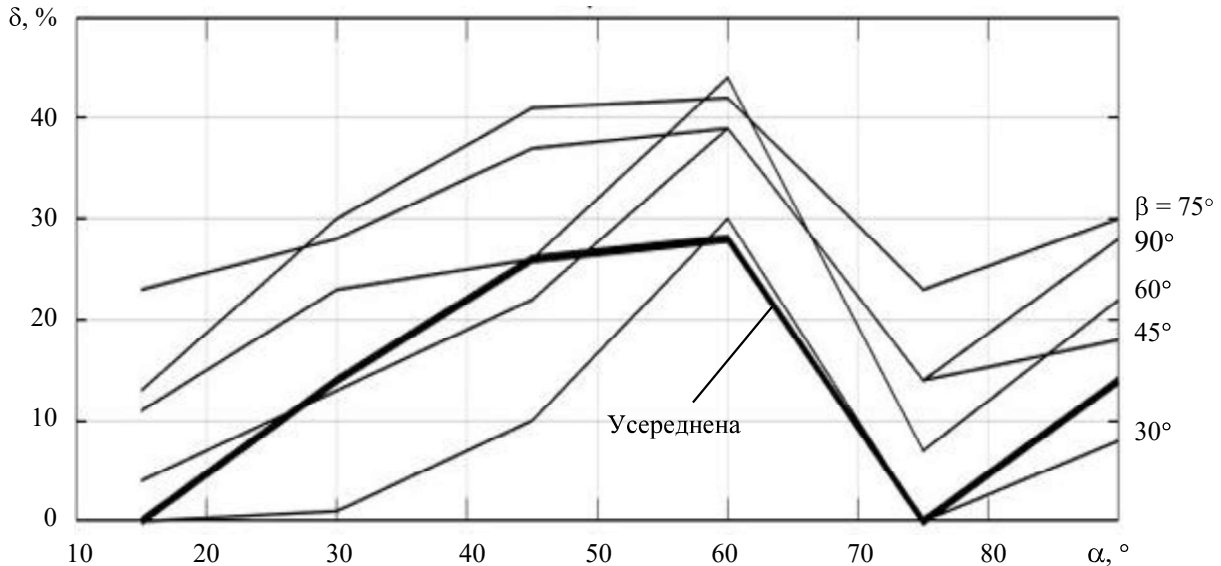


Рис. 3. Графіки залежності відхилення δ від кута місця α для різних положень СБ за азимутом (β), отримана за уточненою моделлю регресії (4)

Наведені результати досліджень дозволяють зробити такі висновки:

— використання повного факторного експерименту в широкому діапазоні значень факторів можливе для попереднього моделювання роботи сонячної батареї та приблизної оцінки результатів моделювання у зв'язку зі значними похибками;

— звуження діапазону значень факторів значно зменшує величину відхилень результатів моделювання від експериментальних даних. Такий підхід є прийнятним в більшості випадків, якщо розглядати моделювання для конкретних умов використання сонячної батареї.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Угол наклона и ориентация солнечных батарей для максимальной производительности. *tcip.ru Все об альтернативной энергетике*. Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/ugol-naklona-i-orientatsiya-solnechnyh-batarej-dlya-maksimalnoj-proizvoditel-no-sti.html>

2. Саврасов Ф.В., Ковалев И.К. Исследование эффективности работы солнечной батареи в полевых условиях. *Известия Томского политехнического университета*, 2012, т. 321, № 4, с. 165–168.

3. Проектирование солнечной батареи. Режим доступа: http://slavapril.narod.ru/proektirovanie_solnechnoi_batarei.html

A. A. Efimenko, O. V. Logvinov, L. I. Prisyazhniuk

Using full factor experiment for simulation of solar batteries

The paper presents the research results on the conditions for using full factorial experiment for creating mathematical models, regression equations, to simulate the performance of solar batteries under the conditions of reduced amount of field tests. The study demonstrated that the accuracy of the simulation significantly depends on the range of factor values.

Keywords: solar panel, modeling, full factorial experiment.