

# ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет;

## **Анотація**

*В роботі розв'язується актуальна задача підвищення балансової надійності локальних електричних систем (ЛЕС) за рахунок встановлення накопичувача в межах балансової належності фотоелектричної електростанції (ФЕС). Проаналізовано закон розподілу генерування ФЕС для певного проміжку часу доби протягом року. Запропоновано математичну модель генерування ФЕС у вигляді гаусових сумішей. Отримано основні характеристики імовірнісного характеру генерування сонячної електростанції. Визначено імовірність покриття заданого графіка навантаження генеруванням ФЕС протягом певного часу доби впродовж всього року. На основі визначених імовірнісних характеристик генерування ФЕС визначено ємність накопичувача, що дозволить підвищити балансову надійність ЛЕС.*

**Ключові слова:** потужність генерації, фотоелектричні станції, графік навантаження, ємність накопичувача, гаусові суміші розподілу, імовірнісні характеристики

# OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL PHOTOVOLTAIC STATION IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

## **Abstract**

*In this work the actual task of increasing the balance reliability of local electrical systems (LES) is solved by establishing a drive within the limits of the balance sheet of a photovoltaic electric station (PES). The law of distribution of generation of FES is analyzed for a certain period of time of day during the year. A mathematical model for generating PES in the form of Gaussian mixtures is proposed. The main characteristics of the probabilistic nature of solar power generation are obtained. The probability of covering the given loading schedule by generating the PES is determined for a certain time of day throughout the year. On the basis of certain probabilistic characteristics of the PES generation, the capacity of the drive is determined, which will increase the balance reliability of the forest.*

**Keywords:** generation power, photovoltaic stations, load schedule, storage capacity, Gaussian mixes of distribution, probabilistic characteristics.

## **Вступ**

Графік генерування електричної енергії фотовольтаїчними електростанціями безпосередньо залежить від природних особливостей регіону, в якому вони розташовані. Ця особливість ФЕС вносить певні проблеми під час розв'язання задачі забезпечення надійного і якісного електропостачання споживачів. Тому, постає задача зменшення нестабільності такого генерування за рахунок встановлення накопичувача електроенергії.

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, відмітимо балансову надійність як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження енергії. Від того, якими способами і засобами забезпечується балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1-4]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС і ВЕС. Нестабільність генерування ФЕС і ВЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з ЕЕС. В умовах сьогодення забезпечення балансу лежить суто на централізованій системі електропостачання [6]. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукатимуть власників ВДЕ, працювати за заданим графіком. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування, щодо покриття графіка навантаження. На основі статистичних даних по генеруванню, якщо станція вже експлуатується, або прогнозних по виробітку електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію щодо визначення потужності накопичувача, як елемента дотримання заданого графіка генерування, а отже і балансування в електричній мережі до якої приєднана станція.

**Метою роботи** є оцінювання впливу відновлюваних джерел енергії, зокрема ФЕС на балансову

надійність локальної електричної системи та визначення ємності та графіку роботи накопичувача для її підвищення

### Результати дослідження

Розроблення методу визначення покриття графіка споживання потенційно можливим генеруванням фотоелектричної електростанції є необхідним для забезпечення балансової надійності. Для цього потрібно визначити основні ймовірнісні характеристики процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС.

На рис. 1, як приклад, в розрізі кожної доби в проміжок часу 12:30–13:00 протягом року для підстанції «Ямпіль 110/10 кВ» побудовані гістограми густин генерування і споживання потужностей (потужності подані у відносних одиницях, де за базис прийнято їх номінальні значення). З рис. 1 видно, що розподіл генерування ФЕС та навантаження – полімодальний. В тих випадках, коли «форму» розподілу не вдається описати одним розподілом, то її можна описати за допомогою суміші розподілів. Серед інших, можна виділити модель гаусової суміші, яка представляє собою зважену суму  $k$  компонентів, густина розподілу якого має вигляд [7]:

$$p(x) = \sum_{j=1}^m w_j p_j(x), \quad (1)$$

де  $p_j(x)$  – функція густини розподілу  $j$ -тої компоненти суміші;  $w_j$  – вага  $j$ -тої компоненти суміші

(апріорна імовірність)  $\sum_{j=1}^k w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1 \dots k$  – кількість компонент в суміші.

Функція густини розподілу має вигляд:

$$p_j(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{k}{2}} |\zeta_j|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_j)^T \zeta_j^{-1}(x-\mu_j)},$$

де  $\mu_j$  – математичне очікування  $j$ -тої компоненти;  $|\zeta_j|$  – визначник коваріаційної матриці  $j$ -тої компоненти суміші,  $k$  – кількість компонент в суміші.

В задачі визначення розподілу випадкової величини на певному проміжку часу загальна математична модель розподілу буде описуватись рівнянням (1). Розщеплення гаусової суміші пропонується проводити за допомогою методу оцінки-максимізації (expectation-maximization) правдоподібності. EM-алгоритм складається з ітераційного повторення двох кроків. На E-кроці вираховуємо очікуване значення (expectation) вектора прихованих параметрів  $G$  за поточним наближенням вектора параметрів  $\Theta$ . На M-кроці вирішується задача максимізації правдоподібності (maximization) і знаходиться наступне наближення вектора  $\Theta$ , за поточними значеннями векторів  $G$  та  $\Theta$ .

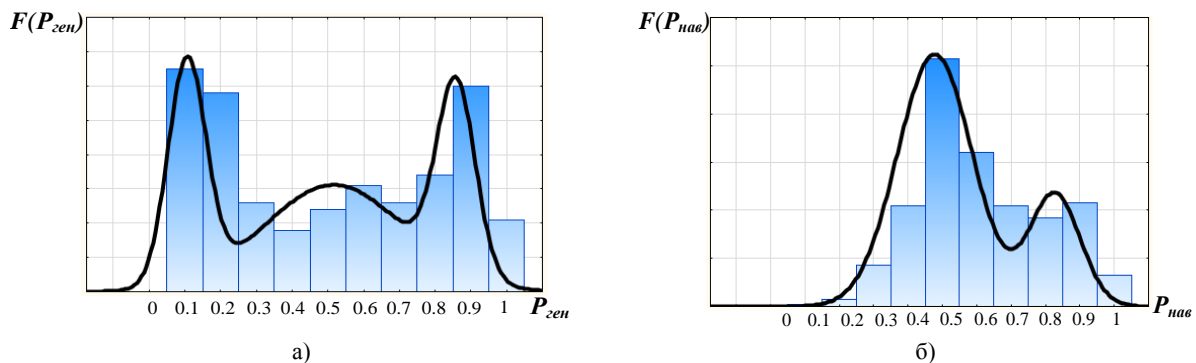


Рис. 1. Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС (а) та для навантаження ЛЕС (б)

**Е-крок.** Позначимо густину імовірності як  $p(x, \theta_j)$ , того що об'єкт  $x$  отриманий з  $j$ -тої компоненти суміші. Згідно з формулою умовної ймовірності:

$$p(x, \theta_j) = p(x)P(\theta_j | x) = w_j p_j(x). \quad (2)$$

Позначимо,  $g_{ij} = P(\theta_j | x_i)$  – невідома апостеріорна імовірність того, що  $x_i$  отриманий з  $j$ -тої компоненти суміші. Приймаємо ці величини в якості прихованих змінних, тобто  $G = (g_{ij}) = (g_1 \dots g_j)$ , де  $g_j$  –  $j$ -й стовбець матриці  $G$ .

**М-крок.** Визначивши за формулою Байєса значення прихованих змінних  $g_{ij}$ , вирішуємо оптимізаційну задачу:

$$Q(\Theta) = \ln \prod_{i=1}^m p(x_i) = \sum_{i=1}^m \ln \sum_{j=1}^k w_j p_j(x_i) \rightarrow \max(\Theta) \quad (3)$$

Результатом розв'язування оптимізаційної задачі є імовірнісні характеристики процесів генерування та навантаження за критерієм максимуму правдоподібності. Маючи такі характеристики, визначено закон розподілу випадкових потужностей генерування ФЕС (рис. 1а) та навантаження ЛЕС (рис. 1б). На основі визначених характеристик, маючи вагу кожної компоненти генерування та навантаження, можна визначити імовірність видачі певної потужності генерування ФЕС та навантаження.

Для цього пропонується розбити кожну компоненту генерування та навантаження на складові з певним кроком (чим менший крок, тим точність розрахунку вища) та знайти імовірність їх появи за допомогою інтегралу імовірності:

$$F(X_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_u}^{X_{u+1}} e^{-\frac{r^2}{2}} dX_u, \quad (4)$$

де  $r = \frac{(X_u - \mu)}{\sigma}$ , а  $X_u$  відповідно приймає значення  $X_u$  та  $X_{u+1}$  кожної складової компоненти генерування ФЕС чи споживання;  $\mu$  – математичне очікування;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення.

Визначивши імовірність появи  $u$ -тої складової компоненти генерування  $P_{ген_u}$  та навантаження  $P_{нав_u}$ , визначаємо імовірність покриття  $u$ -тої компоненти навантаження генеруванням ФЕС:

$$P_{покр_{u_t}} = P_{нав_{u_t}} \cdot \sum_{\substack{z=1 \\ P_{нав_{u_t}} \leq P_{ген_{z_t}}}^f P_{ген_{z_t}}, \quad (5)$$

де  $f$  – кількість складових компонент генерування;  $t$  – часовий проміжок, на якому визначається імовірність покриття споживання генеруванням ФЕС.

Імовірність покриття графіка навантаження, дозволяє визначити математичне очікування надлишкової потужності, тобто потужність генерування ФЕС, що більша за навантаження на  $t$ -му проміжку часу доби. Така інформація буде вихідною для визначення ємності накопичувача, що необхідно встановити в межах балансової належності ФЕС.

## Висновки

Нестабільність генерування фотовольтаїчних електростанцій на протязі доби і відповідно негативний вплив на балансову надійність ЛЕС може компенсуватися резервним джерелом електроенергії. В роботі, на основі визначених імовірнісних характеристик процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС, запропоновано метод визначення ємності накопичувача.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov, V. A. Algorithm mnohokryteryalnoho control regimes work microgrids / V. Popov, O. Yarmoliuk, P. Zamkovoy // East european journal of advanced technology. - 2014. - № 2. - R. 61-68. - Doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.23158.

2. Kirilenko AV control mode of power from renewable energy sources in terms of frequency change in the power / O.V. Kirilenko, V.V. Pavlovsky, A.S Yandulskyy, S.A Stelyuk // Technical electrodynamics. - 2012. - № 4. - P. 52-57.

3. Yandulskyy O.S Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve / O.S Yandulskyy, G.A Trunina, A.B Nes-terko // Herald Kremenchuk University. - 2015. - Vol. 2. - P. 50-54. - Access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu\\_2015\\_2\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2015_2_9)

4. Rubanenko O.E Optimal control normal modes EEC with regard to the technical condition of trans-formers with RPN / A E Rubanenko, VA Lesko // Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine. - 2013. Special issue. - S.154-161. ISSN 1727-9895.

5. Burykin, O.B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O.B. Burykin, J.V. Malogulko, Y.V. Tomashevskiy, P. Komada, N.A. Orshubekov, M. Kozham-berdiyeva, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. - R. 93. - NR 3/2017. - P. 97-102. - ISSN 0033-2097. - doi:10.15199/48.2017.03.23

6. Lezhniuk, PD Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system / PD Lezhniuk, VA Komar, S. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - № 42 (1214). - P. 69-75. - Doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.42.11.

7. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айва-зян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. ISBN 5-279-00054-X.

**Огородник А.А.** — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний те-хнічний університет, Вінниця, e-mail: [sv.kravchuk@ukr.net](mailto:sv.kravchuk@ukr.net).

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електро-енергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Ogorodnik Andrey A** - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: [sv.kravchuk@ukr.net](mailto:sv.kravchuk@ukr.net).