

ВРАХУВАННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ В ЗАДАЧІ ВИРІВНЮВАННЯ ДОБОВОГО ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В.

Вінницький національний технічний університет

Проведений аналіз основних морфометричних показників графіка електричного навантаження, а саме округлості, компактності, видовження та випуклості.

Постановка проблеми. Для енергетики України актуальним є створення загальних методологічних засад і засобів докорінної модернізації розподільних електричних мереж таким чином, щоб впровадження нових технологій, формування мікромереж [1], як перспективного напрямку використання розосередженого генерування (РГ) приносили максимальний позитивний ефект у плані покращення техніко-економічних та надійнісних показників їх функціонування [2, 3].

Значна частина приросту потужностей відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні з початку 2015 року, припадає на генерування електроенергії сонячних електростанцій (СЕС), причому 6% від цього приросту приходить на СЕС, що встановлені безпосередньо у споживача. Збільшення частки електроенергії, що генерована на СЕС, призводить до появи проблем узгодження графіків генерування таких електростанцій з навантаженням. Для забезпечення узгодженої з графіком навантаження роботи СЕС потрібно проаналізувати імовірнісні характеристики генерування, оскільки графік видачі потужності СЕС залежить від тривалості світлового дня та змінюється протягом року (рис. 1).

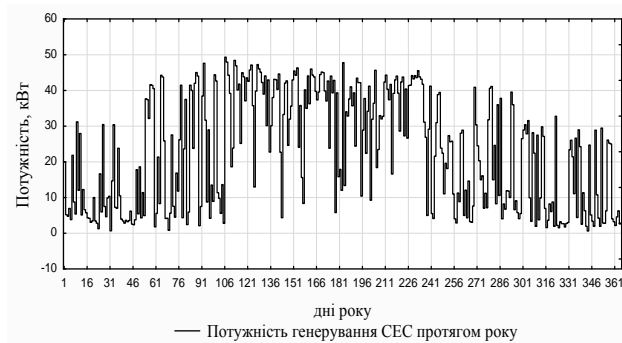


Рисунок 1 – Зміна потужності генерування СЕС протягом року

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потужність ВДЕ в балансі ОЕС України зростає. Таке зростання збільшує вплив ВДЕ, зокрема СЕС, на режимні параметри електричних мереж. Одним із таких параметрів є нерівномірність добового графіка електричних навантажень (ГЕН). Як раніше зазначалось, генерування СЕС має імовірнісний характер. В [4] для оцінки імовірності покриття графіка навантаження генеруванням СЕС, пропонується ввести коефіцієнт стабільності:

$$k_{stab} = \sum_{i=1}^{48} \left[P_{добі} \sum_{j \in M} \left(P_{ВДЕ_j} \sum_{l \in N} P_{спож_l} \right) \right] \quad (1)$$

де $P_{доб}$ – імовірність появи ступені добового графіка;

$P_{ВДЕ}$ – імовірність появи ступені генерування;

M – множина не нульових ступеней генерування;

$P_{спож}$ – імовірність появи ступені споживання протягом заданого періоду;

N – множина ступеней споживання, які знаходяться нижче рівня генерування відповідного періоду доби.

З урахуванням коефіцієнта стабільності можна відносно просто визначити імовірність покриття графіка електричних навантажень генеруванням СЕС та використати його для узгодження графіків генерування та навантаження, що дозволить більш точно оцінити взаємовплив генерування СЕС та нерівномірність ГЕН.

Нерівномірність ГЕН негативно впливає на процес виробництва, передачі та розподілу електричної енергії [5]. Вирівнювання графіка навантаження є складним процесом, що потребує змін у технологічному процесі споживачів електричної енергії. Тому вирівнювання ГЕН повинно бути детально обґрунтовано. В [6] показано, що використання морфометричного апарату для аналізу нерівномірності має ряд переваг і дозволяє здійснити комплексну і детальну оцінку форми ГЕН. З урахуванням морфометричних показників, запропонованих в [7], що характеризують форму та нерівномірність ГЕН, можна більш точно узгодити ГЕН з графіком видачі потужності ВДЕ.

Метою статті є розробка методу, що дозволяє, врахувати імовірнісний характер видачі потужності ВДЕ для узгодження графіків генерування та навантаження. Таке узгодження дозволить зменшити нерівномірність добового ГЕН.

Основні матеріали дослідження. Оскільки графік електричних навантажень нерівномірний, а як зазначається в [8], робота СЕС збільшує таку нерівномірність. Пік видачі потужності СЕС припадає на денний провал в ГЕН, тому потрібно мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік електричних навантажень в години максимуму генерування СЕС. За кордоном впроваджується концепція віртуальних електростанцій, що значно спрощує задачу вирівнювання добового ГЕН.

Основна ідея такого підходу – не вироблення електроенергії, а створення нових або мотивування вже існуючих споживачів електроенергії здійснювати маневрування власним споживанням. В Україні зараз основним мотивуючим заходом є зонний тариф на електроенергію, згідно якого вартість електроенергії диференціюється за періодами часу доби. Таким чином споживач може зменшити плату за електроенергію, не зменшуючи обсягів споживання. При цьому зменшується нерівномірність ГЕН.

Оскільки значна частина генерування ВДЕ припадає на розподільні електричні мережі (ЕМ), то розглянемо, як приклад, радіальну схему ЕМ (рис.2).

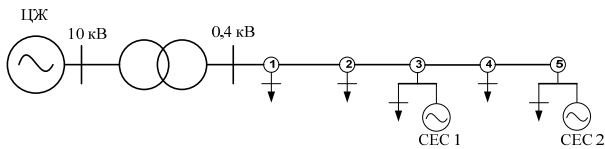


Рисунок 2 – Схема мережі з двохстороннім живленням

Добовий графік навантаження ЕМ зображений на рис. 3.

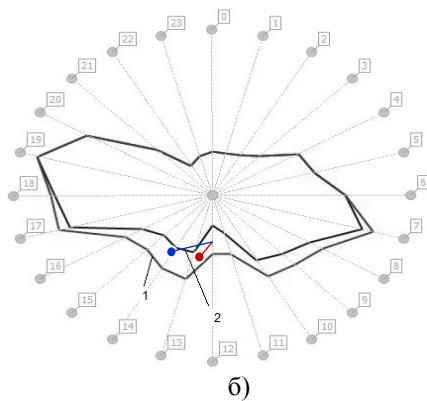
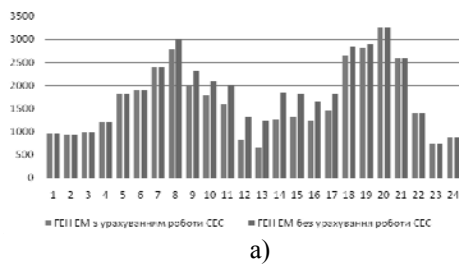


Рисунок 3 – Графік навантаження в декартовій системі координат (а) та морфометрична модель графіка електричних навантажень (б): 1 – ГЕН ЕМ без урахування генерування СЕС, 2 – ГЕН ЕМ з урахуванням генерування СЕС

Оскільки графік навантаження нерівномірний (рис. 3 а), тобто наявні піки/напівпіки навантаження, то відповідно центри ваги фігур, що описують ГЕН ЕМ на діаграмі (рис. 3 б), не співпадають з центром початку координат. Для визначення центру ваги фігур скористаємося формулами:

$$x_u = \frac{\sum_{i=1}^{24} \frac{x_{i+1} + x_i}{2} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{\sum_{i=1}^{24} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}, \quad (2)$$

$$y_u = \frac{\sum_{i=1}^{24} \frac{y_{i+1} + y_i}{2} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{\sum_{i=1}^{24} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} \quad (3)$$

Відстань від початку координат x_0, y_0 до центру ваги фігури x_u, y_u (рис.3 б), буде характеризувати нерівномірність графіка навантаження d :

$$d = \sqrt{(x_0 - x_u)^2 + (y_0 - y_u)^2}, \quad (4)$$

де x_0, y_0 – центр координат;

x_u, y_u – координати зміщення центру ваги ГЕН відносно центру координат.

Для узгодження графіків генерування та навантаження скористаємося класичними морфометричними параметрами.

У відповідності з визначеннями [9] округлість (M_1) оцінює співвідношення між мінімальним та максимальним навантаженням, характеризуючи екстремуми процесу добового споживання електричної енергії та динаміку зміни навантаження. Визначається вона як відношення між радіусами вписаного та описаного кіл:

$$M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}, \quad (5)$$

де R_{\min} – радіус вписаного кола;

R_{\max} – радіус описаного кола.

Компактність (M_2) оцінює співвідношення величини споживання електричної енергії, яке було б якби споживач працював тільки з заданими максимальними навантаженнями, до реальної величини споживання електроенергії. Тобто, вона характеризує не завантаженість електричного обладнання і визначається як відношення між площею фігури і квадратом її периметра:

$$M_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{\Pi^2}, \quad (6)$$

де $S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{23} (x_i + x_{i+1}) \cdot (y_i - y_{i+1}) \right|$ – площа фігури

графіка навантаження в полярній системі координат;

$\Pi = \sum_i d_i = \sum_i \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$ – периметр

фігури графіка навантаження, який визначається як

сума довжин відрізків фігури ГЕН.

Видовження (M_3) оцінює співвідношення між навантаженням у нічний провал/напівпік та піковим навантаженням, характеризуючи співвідношення дешевої та дорогої спожитої електроенергії (відповідно до диференційованого тарифу). Визначається воно як відношення між значенням довжини перпендикуляра до головної осі діаграми (L_2) та значенням довжини головної осі діаграми (L_1):

$$M_3 = \frac{L_2}{L_1} \quad (7)$$

Випуклість (M_4) характеризує загальну добову нерівномірність графіка навантаження, динаміку і величину зміни значень навантажень. Визначається вона як відношення площі фігури, що описує навантаження, до площі кола, яке б описувало рівномірний ГЕН:

$$M_4 = \frac{S_g}{S} \quad (8)$$

де S – площа фігури ГЕН;

$S_g = \pi R^2$ – площа кола, радіус якого дорівнює середньому значенню навантаження.

Таким чином морфометричні параметри M_1, M_2, M_3, M_4 , доцільно використовувати для аналізу нерівномірності ГЕН, враховуючи, що їх значення лежить в межах від 0 до 1. Якщо вони прямують до нуля, тоді нерівномірність ГЕН є значною, а з наближенням їх до одиниці ГЕН є рівномірним.

Розроблений програмний комплекс дозволяє визначити основні морфометричні параметри ГЕН ЕМ (рис. 3 б). Результати розрахунку приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Морфометричні показники нерівномірності ГЕН ЕМ

ГЕН ЕМ	M_1	M_2	M_3	M_4
Без урахуванням генерування СЕС	0,301	0,612	0,469	0,689
З урахуванням генерування СЕС	0,212	0,540	0,375	0,621

Виходячи з результатів визначення основних морфометричних показників (табл.1), генерування СЕС збільшує нерівномірність ГЕН.

За запропонованим алгоритмом (рис. 4) з урахуванням генерування СЕС можна зменшити нерівномірність добового графіка навантаження за рахунок зміщення потужностей навантаження в години з меншим споживанням. Таким чином формується морфометрична модель ГЕН, в якій для кожного споживача електроенергії в ЕМ аналізується добава потужність споживання та визначаються години, в які є надлишки та дефіцити потужності. Значення надлишків P_{nt} та дефіцитів P_{dt} , потужності пропонується порівнювати з

середнім значенням добової потужності (рівномірний ГЕН).

Проте через технологічну складність зміщення навантаження з пікових годин потрібно врахувати обмеження щодо неможливості зменшення споживання нижче певного значення потужності в t -ту годину доби $P_{min t}$. І навпаки, в години, де є провали в ГЕН, через технологічну неспроможність по перенесенню потужностей споживання вводиться обмеження по максимальній кількості потужності, що може бути спожита в t -ту годину доби $P_{max t}$.

Виходячи з цього, надлишок потужності P_{nt} , яким можна здійснювати маневрування, можна визначити:

$$P_{nt} = P_t - P_{ВДЕ t} - P_{min t} \quad (9)$$

де P_t – потужність навантаження;

$P_{ВДЕ t}$ – потужність генерування ВДЕ;

t – година доби.

А дефіцит потужності P_{dt} визначаємо:

$$P_{dt} = P_{max t} - P_t - P_{ВДЕ t} \quad (10)$$

де P_t – потужність навантаження;

$P_{ВДЕ t}$ – потужність генерування ВДЕ.

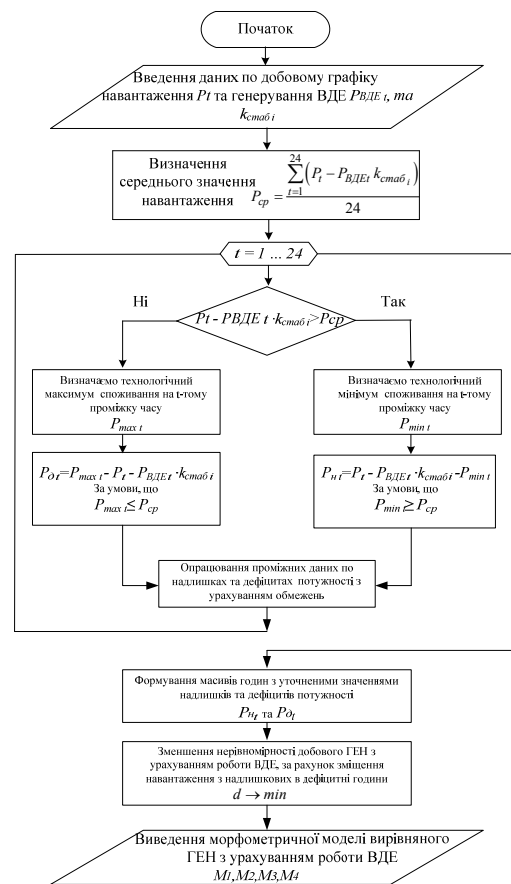


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритму вирівнювання добового ГЕН з урахуванням генерування ВДЕ

В результаті виконання алгоритму визначаються основні морфометричні параметри (табл. 2) моделі ГЕН (рис. 5) з урахуванням генерування СЕС та вирівнювання добового ГЕН.

Таблиця 2 – Морфометричні показники нерівномірності ГЕН ЕМ до після вирівнювання

ГЕН ЕМ	M_1	M_2	M_3	M_4
Оптимізований ГЕН	0,581	0,854	0,657	0,789
З урахуванням генерування СЕС	0,212	0,540	0,375	0,621

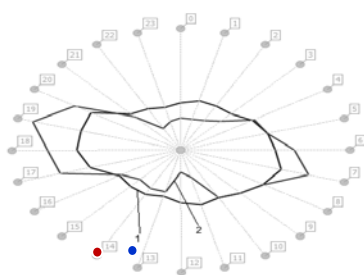


Рисунок 5 – Морфометрична модель графіка електричних навантажень: 1 – оптимізований ГЕН ЕМ з урахування генерування СЕС, 2 - ГЕН ЕМ з урахуванням генерування СЕС

Висновки. Для аналізу та оцінювання впливу відновлюваних джерел енергії на сумарний графік навантаження електричної мережі можливо і доцільно використовувати морфометричні показники нерівномірності ГЕН. Перевага таких показників під час аналізу нерівномірності графіків навантаження полягає в їх інтегральності. З урахуванням інтегральних характеристик морфометричних показників можна більш точно обґрунтувати вирівнювання ГЕН та узгодження з графіком генерування ВДЕ. Розроблено програмний комплекс, що дозволяє визначити морфометричні показники для аналізу нерівномірності ГЕН. На основі цих показників пропонується проводити узгодження графіків генерування ВДЕ та навантаження. Запропоновано алгоритм вирівнювання добових графіків навантаження, що враховує нестабільність генерування СЕС.

Список використаних джерел.

1. Agarwal, Y. Understanding the role of buildings in a smart microgrid / Y. Agarwal, T. Weng, R. Kupta // 2011 Design, Automation & Test in Europe. – 2011. P. 1-6. – doi: 10.1109/DATE.2011.5763195.
2. Buslavets O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881
3. Попов В. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей / В. Попов, Е. Ярмольук, П. Замковой // Восточно-европейский

журнал передовых технологий. – 2014. – № 2. – P. 61-68. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23158.

4. Лежнюк П. Д. Оцінювання стабільності генерування сонячних електростанцій у задачі забезпечення балансової надійності / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар., С. В. Кравчук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. –2016. – №2 С. 1- 8. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/471>

5. Коменда Н. В. Морфометрична оцінка та критерій рівномірності графіка електричних навантажень / Н. В. Коменда // Вісник національного університету "Львівська політехніка". – 2011.– №66. – С. 42–46.

6. Коменда Н. В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфометричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда, О. Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. –2010 – №27. – С. 22–26.

7. Лежнюк П. Д. Узгодження графіків генерування відновлювальних джерел електроенергії та навантаження засобами морфометричного аналізу/ П. Д. Лежнюк, В. О. Комар., С. В. Кравчук // Міжнародний збірник наукових праць "Європейське співробітництво". – 2016. – №16. – С. 10 – 28. ISSN 2449-7320.

8. Тугай Ю. І. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / Ю. І. Тугай, В. В. Козирський, О. В. Гай, В. М. Бодунов // Технічна електродинаміка.– 2011.– № 5. – С. 63-67.

9. Коменда Т. І. Округлість, компактність та видовженість графіків електричного навантаження / Т. І. Коменда, Н. В. Коменда, Л. В. Давиденко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2016.– №2. – С. 98–105.

Анотація

УЧЕТ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ В ЗАДАЧИ ВЫРАВНИВАНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В.

Проведенный анализ основных морфометрических показателей графика электрической нагрузки, а именно округлости, компактности, удлинения и вытянутости.

Abstract

CONSIDERING THE VOLATILITY OF THE GRAPH OF GENERATION RENEWABLE ENERGY ALIGNMENT DAILY GRAPH OF ELECTRIC LOADINGS

P. Lezhniuk, V. Komar, S. Kravchuk

The analysis of morphometric parameters fixed schedule of electric load, such as roundness, compactness, convexity and elongation.