

# ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ПРИЄДНАННЯ ПРОМИСЛОВИХ СЕС ДО РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет.

## *Анотація*

*В роботі представлено методи оптимізації приєднання промислових сонячних електростанцій до розподільчих мереж.*

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, втрати електроенергії, перетікання електроенергії, схеми приєднання, сонячні електростанції.

## *Abstract*

*The paper presents methods for optimizing the connection of industrial solar power plants to distribution networks.*

**Keywords:** distribution electric networks, electricity losses, energy flow, connection schemes, solar power plants.

## **Вступ**

Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні закріплено на державному рівні у Енергетичній стратегії України на період до 2030 року. Згідно даного документу на період до 2035 р. частка ВДЕ в загальній структурі енергоспоживання країни повинна скласти 35 %.

Додаткове мережеве будівництво, що спрямоване на підтримку інтегрування СЕС шляхом збільшення пропускної здатності електричних мереж (ЕМ), забезпечить можливість приєднання нових джерел. Одним з основних питань, пов'язаних з підвищенням якості електроенергії в мережах, розв'язуваних на стадії проектування та експлуатації систем розподілу, є питання оптимізації схем приєднання СЕС, що включає вибір підстанцій, розрахунок і регулювання потужності СЕС, розміщення джерел в системі електропостачання.

Вибір раціональної схеми приєднання СЕС в розподільних електромережах включає в себе широке коло питань, що спрямовані на підвищення економічності роботи електроустановок, поліпшення якості споживаної електроенергії. Вирішення задачі передбачає вдосконалення методів вибору і розрахунку параметрів приєднання виходячи з умов виконання завдань енергосистеми. Важливими і до кінця не вирішеними є питання визначення місця приєднання промислових СЕС відповідно до їх потужності для забезпечення раціональної та безпечної їх експлуатації. Вибір раціональної схеми приєднання СЕС сприяє зниженню втрат електроенергії, забезпеченню належної якості електроенергії завдяки регулюванню та стабілізації рівня напруги в електромережах, досягненню високих техніко-економічних показників роботи комплексу електроустановок.

Тому, у доповіді наведено результати дослідження щодо підвищення ефективності функціонування розподільних електромереж завдяки оптимізації місць приєднання промислових сонячних електричних станцій.

## **Результати дослідження**

Для розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією перетікань електроенергії у електричних мережах за комплексним критерієм, традиційно знайшли застосування методи декомпозиції, лінійного та нелінійного програмування. Однак такі методи через використання припущень та спрощень можуть скеровувати процес розв'язку до локальних екстремумів.

Розробки в галузі інформаційних технологій уможливили використання паралельних обчислень та хмарних сервісів. Виходячи з цього отримали розвиток нові методи розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації [2]. Переважна більшість з них базується на добре досліджених методах однокритеріальної оптимізації, зокрема на генетичних алгоритмах, алгоритмах пошукової оптимізації у поєд-

нанні з методами декомпозиції.

Застосування генетичних алгоритмів недомінантного сортування II (NSGA II) [3], з оптимізацією рою часток з недомінантним сортуванням (NSPSO) [4], підтверджує адекватність рішень, що проявляється у зниженні витрат електроенергії та підвищенні стійкості системи. Однак, практична реалізація запропонованого підходу передбачає, крім визначення оптимальних схем приєднання СЕС, централізоване керування ними, що є практично неможливим.

За результатами досліджень показано, що для оптимізації розміщення СЕС доцільно використовувати результати моделювання «ідеальних» режимів електромереж [5] за активною потужністю з використанням заступних схем з активними опорами. Економічні витрати, пов'язані з приєднанням та експлуатацією мереж зовнішнього електропостачання СЕС, запропоновано перераховувати у відповідні економічні опори заступної схеми ЕМ:

$$R_{ei}^P = \frac{U_i^2}{P_i} \left[ \alpha_{vr} + \frac{K_i (\alpha_e + \alpha_r)(1 - \alpha_p) + (\alpha_{kr} + \alpha_r)}{\tau c (1 - \alpha_p)} \right] \quad (1)$$

де  $U$  – середньозважений рівень напруги на шинах СЕС;  $P$  – розрахункова потужність СЕС;  $\alpha_{vr}$  – відносні втрати в мережах зовнішнього електропостачання СЕС;  $K_i$  – капіталовкладення, пов'язані з приєднанням СЕС;  $\alpha_e$  – річні експлуатаційні видатки для обслуговування приєднання СЕС (якщо підстанція та лінії зовнішнього електропостачання передані на баланс енергокомпанії);  $\alpha_r$  – додаткові річні амортизаційні відрахування на реновацію;  $\alpha_p$  – податок на прибуток;  $\alpha_{kr}$  – річні витрати на обслуговування кредиту;  $\tau$  – час максимальних втрат;  $c$  – середньозважений тариф на електроенергію для певної розподільної мережі.

Таке представлення економічного опору для місцевих джерел електроенергії в мережах є найбільш загальним. Воно дає змогу враховувати в оптимізаційних розрахунках сукупності джерел активної потужності, як еквівалентні джерела (віртуальні електростанції). Якщо розмістити в заступній схемі електричні станції за опорами, що розраховані за (1), то розрахунковий струморозподіл буде забезпечувати мінімум витрат на генерування контрактної активної потужності. Оскільки в розрахунковій моделі електричні мережі представлені заступною г-схемою [5], то оптимізуються також втрати електроенергії в ЕМ.

Визначення оптимальних місць приєднання та потужностей СЕС за критерієм максимуму рентабельності виконується у такій послідовності.

1. Використовуючи наявне інформаційне забезпечення формуються вихідні дані для розрахунку усталеного режиму ЕМ для визначення рівнів напруг у її вузлах. За результатами визначаються задаючі струми у вузлах, завдяки чому вдається перейти до лінеаризованої модулі поточного режиму, еквівалентної початковій.

2. Формується розрахункова модель ЕМ для відтворення її «ідеального» струморозподілу за втратами потужності. Для цього ЕМ подається за-ступною г-схемою. Наявні СЕС подаються фіксованими задаючими струмами. Нові СЕС, розміщення яких виконується для забезпечення максимальної рентабельності з урахуванням обмежень за напругою та потужністю, подаються економічними опорами, що визначаються за виразом (1).

3. Використовуючи лінеаризовану модель у координатах вузлових напруг за методом Гауса розраховується режим ЕМ, ідеальний за втратами потужності та визначається економічний струморозподіл. Він відповідає максимуму рентабельності впровадження СЕС. Розрахункові струми у вітках з економічними опорами окремих СЕС, перераховують у значення встановлених активних потужностей СЕС, що забезпечують максимум рентабельності їх встановлення.

4. Перевіряються обмеження за відхиленнями напруги у вузлах ЕМ. Надмірні відхилення усуваються коригуванням встановлених потужностей СЕС.

5. Враховуючи, що розрахункові потужності СЕС можуть відрізняються від заявлених інвестором, виконується процедура коригування цих значень. Якщо потужність СЕС, яка приєднана до певного вузла, була зменшена для забезпечення обмежень за напругою, то напрямок заокруглення потужності до стандартного значення має відповідати цьому корегуванню.

У інших випадках, враховуючи, що будь-яке відхилення розрахункових потужностей СЕС від економічних значень, призводить до зниження рентабельності їх впровадження, вибір напрямку заокруглення погоджується з інвестором.

Якщо СЕС оснащені засобами автоматичного регулювання, що забезпечують можливість обмеження їх генерування, то розрахункова встановлена потужність заокруглюється до ближчого більшого заявленого значення. Таким чином враховується перспективний розвиток електроспоживання, а тимчасове перевищення генерування СЕС обмежується налаштуваннями систем автоматичного керування.

Якщо для встановлення пропонуються пристрої без можливості обмеження генерування, то будь-яка зміна потужності СЕС призводить до зниження рентабельності. Тому необхідно заокруглювати розрахункові потужності до найближчих заявлених. Після виконання обмежень на параметри розв'язок вважається оптимальним.

6. За розрахованими параметрами режиму електромереж, оптимальними встановленими потужностями СЕС та коефіцієнтами трансформації трансформаторів на підстанціях уточнюються перетікання потужності по вітках мереж та визначаються втрати потужності.

7. Оцінюється ефект від приєднання СЕС в електромережі з урахуванням надійності мереж та якості напруги.

8. Результати розрахунку подаються як рекомендації для інженерного персоналу.

Запропонований алгоритм дає змогу розв'язувати задачу визначення оптимальних схем приєднання промислових СЕС за різними критеріями залежно шляхом відповідного коригування економічних опорів.

## Висновки

За результатами досліджень запропоновано алгоритм розв'язання задачі оптимізації приєднання СЕС до електромереж, що базується на імітації «ідеальних» режимів електричних мереж. Однак у реальних ЕМ експлуатуються раніше приєднані промислові СЕС, власні СЕС активних споживачів, традиційні джерела енергії, що можуть змінювати генерування на вимогу операторів системи передачі та розподілу. В таких умовах задача оптимізації розміщення СЕС виявляється багатокритеріальною, але може бути зведена до однокритеріальної з подальшим її розв'язанням за методом «ідеального» струморозподілу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Текст]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13#Text>

2. M. Mohsen and H. Siahkali, "Multi-objective optimization of reactive power dispatch in power systems via SPMGSO algorithm," in Proceedings of the 2017 Smart Grid Conference, Tehran, Iran, 2017, pp. 1-9

3. T. Bhattacharjee and A. K. Chakraborty, "Congestion management in deregulated power system using NSGAI," in Proceedings of the 2012 IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 2012, pp. 1-6.

4. A. Man-Im, W. Ongsakul, J. G. Singh, and C. Boonchuay, "Multi-objective optimal power flow using stochastic weight trade-off chaotic NSPSO," in Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGTASIA), Bangkok, Thailand, 2015, pp. 1-8.

5. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems: monograph / O. Burykin, P. Lezhniuk, V. Kulyk and others. – Vinnytsya: VNTU, 2018. – 124 p.

**Кириченко Іван Федорович** – студент групи ІЕС-20м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [glok2259@gmail.com](mailto:glok2259@gmail.com)

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Ivan F. Kyrychenko – student, group IES-20m Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [glok2259@gmail.com](mailto:glok2259@gmail.com);

Supervisor: **Volodymyr V. Kulyk** – Dr. Sc. (Eng.), associate professor, professor of the Department of Electrical Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.