

## ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ПРИЄДНАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ

**О. А. Ковальчук<sup>1</sup>, В. В. Кулик<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, **О. Б. Бурикін<sup>2</sup>**, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ТОВ «Енергоінвест», пров. Станіславського, 16, Вінниця-22, 21022, Україна

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця-21, 21021, Україна

*Запропоновано метод оптимізації схем приєднання розосереджених джерел електроенергії (РДЕ) до електричних мереж (ЕМ) за критерієм мінімуму додаткових втрат електроенергії в локальній електричній системі. Оптимальні рішення приймаються на підставі аналізу чутливості втрат потужності в ЕМ, зумовлених функціонуванням РДЕ до зміни режимів останніх. Бібл. 4.*

**Ключові слова:** Розосереджені джерела електроенергії (РДЕ), локальна електрична система (ЛЕС), оптимізація, аналіз чутливості

Сучасні тенденції розвитку електричних систем передбачають масштабну розбудову розосереджених джерел електроенергії в розподільних електричних мережах з поступовим скороченням обсягів централізованого електропостачання [1]. З переходом до комбінованого електропостачання, а також збільшенням сукупного генерування РДЕ виникають нові задачі, однією з яких є формування оптимальних схем приєднання РДЕ в локальних електричних системах (ЛЕС). Метою тут є досягнення максимального техніко-економічного ефекту від їх введення в експлуатацію. Однак для компаній-власників таких джерел та для енергопостачальних компаній, мережами яких здійснюється транспортування електроенергії РДЕ, сприйняття ефекту може бути різним, а час-то суперечним. Однією з причин тут є практична відсутність на даний час дієвих засобів для аналізу впливу функціонування РДЕ на режими роботи та економічні характеристики ЕМ, а також для формування, на цій підставі, оптимальних схем приєднання розосереджених джерел до ЕМ на стадії розроблення технічних умов.

Використовуючи параметри реальних енергетичних об'єктів виконано розрахунки з оцінювання впливу РДЕ на техніко-економічні показники експлуатації ЕМ за різних схем видачі потужності. Встановлено, що у випадку приєднання розосереджених джерел встановленою потужністю 1000 кВт і більше без врахування їх впливу на втрати та режими напруг в розподільних мережах, ефективність роботи останніх може бути значно погіршена через, наприклад, суттєве збільшення втрат електроенергії (в 5 і більше разів). Отже, в роботі пропонується метод й алгоритм оцінювання та оптимізації варіантів приєднання розосереджених джерел до розподільних ЕМ на підставі аналізу чутливості втрат потужності в них до зміни параметрів генерування [2].

Досліджувати вплив РДЕ на режими ЕМ можна, виділивши з втрат потужності у мережах складову, зумовлену роботою таких станцій [3, 4]. Після узагальнення на розімкнені ЕМ довільної конфігурації матимемо:

$$\delta \dot{S}_{\Sigma} (I'_{РДЕi}) = \sum_{k \in M_i} \delta \dot{S}_k (I'_{РДЕi}) = \sum_{k \in M_i} \left[ 3I_{РДЕi}^{\prime 2} (K_k^{3\delta} (I'_{РДЕi}) - K_k^{3m} (I'_{РДЕi})) \dot{Z}_k \right], \quad (1)$$

де  $M_i$  – множина віток електричної мережі, що з'єднують центр живлення з вузлом приєднання  $i$ -ого РДЕ;

$K_k^{3\delta} (I'_{РДЕi}) = \sum_{j \in N_k} I'_{РДЕj} / I'_{РДЕi}$ ,  $K_k^{3m} (I'_{РДЕi}) = 2 \sum_{j \in N_k} I'_{pj} / I'_{РДЕi}$  – коефіцієнти, відповідно, збільшення та зменшення втрат потужності в ЕМ за рахунок впливу РДЕ у  $i$ -му вузлі;  $I'_{РДЕi}$ ,  $I'_{pj}$  – активна складова розрахункового струму, відповідно, на шинах  $i$ -го РДЕ та  $j$ -го вузла навантаження;  $N_k$  – множина вузлів ЕМ, що отримують живлення  $k$ -ою віткою;  $Z_k$  – повний поздовжній опір  $k$ -ої вітки ЕМ.

З (1) зміна втрат потужності в ЕМ від приєднання РДЕ до  $i$ -го вузла залежить від їх генерування, а також від його співвідношення з сукупним навантаженням та генеруванням РДЕ у інших вузлах, які пов'язані перетокками потужності з  $i$ -им. Оцінювати ці залежності можна використовуючи безрозмірні коефіцієнти  $K_k^{3\delta}$  та  $K_k^{3m}$ . Таким чином можна підібрати фрагмент електричної мережі та вузол для якого приєднання РДЕ буде максимально ефективним з огляду на втрати електроенергії за заданий проміжок часу (звітний період). Важливим тут є незмінність схеми ЕМ протягом цього проміжку, що в реальних умовах експлуатації мереж часто неможливо. Ця обставина призводить до певних ускладнень у методиці вибору схем приєднання РДЕ і вимагає проведення ряду імітаційних розрахунків з можливими змінами нормальної схеми ЕМ.

Отже, оцінюючи співвідношення генерування РДЕ та споживання ЕМ, можна намітити можливі варіанти місць приєднання РДЕ, тобто сформувати перелік з  $m$  перспективних схем видачі їх потужності. Остаточне рішення приймається на підставі оптимізації розрахункової потужності РДЕ та аналізу її чутливості [2]. Для  $m$  місць приєднання джерел енергії формується система рівнянь

$$\left\{ \frac{\partial \Delta \dot{S}_{\Sigma} (I'_{РДЕk})}{\partial I'_{РДЕk}} = 0; \quad k = \overline{1, m}, \quad \text{або} \quad \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ (I'_{РДЕi} - I'_{pi}) \sum_{j \in M_{ki}} Z_j \right] = 0; \quad k = \overline{1, m}, \right. \quad (2)$$

розв'язання якої дозволяє визначити оптимальні, з огляду на приєднання у відповідних вузлах ЕМ, розрахункові потужності РДЕ. За ними визначається місце приєднання джерела, тобто вузол ЕМ з найменшою розбіжністю між розрахунковою-оптимальною та встановленою потужністю РДЕ.

Враховуючи значні капітальні витрати, необхідні для реалізації схем приєднання, а також фінансові наслідки прийняття хибних рішень, остаточна схема формується на підставі аналізу оптимальних потужностей РДЕ для сукупності характерних режимів ЕМ, що підвищує якість експертного оцінювання схеми.

#### Висновки

1. Розроблений метод оптимізації схем приєднання РДЕ до ЕМ локальних електричних систем дозволяє оцінювати доцільність приєднання додаткових джерел, виходячи з технічної ефективності експлуатації розподільних мереж, а також мінімізувати складову видатків, пов'язану з транспортуванням електроенергії РДЕ на етапі формування технічних умов.

2. Показано, що використання методу аналізу чутливості втрат потужності в електричних мережах до приєднання РДЕ різних встановлених потужностей, а також проведення імітаційних розрахунків з метою врахування можливих змін нормальної схеми ЕМ, дозволяє формувати близькі до оптимальних варіанти схем приєднання РДЕ з огляду на зменшення технічних втрат електроенергії та покращення режиму напруг в ЕМ.

#### Перелік літератури

1. Кириленко О. В. Энергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови / О. В. Кириленко, А. В. Праховник // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. – Київ. – 2010. – С. 10–16.
2. Лежнюк П. Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом / Петро Дем'янович Лежнюк. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 2003. – 131 с.
3. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурякин: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.
4. Лежнюк П. Д. Оптимізація режимів електричних мереж з малими ГЕС в умовах адресного електропостачання / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурякин, О. А. Ковальчук // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 3. – 2010. – С. 31–34.

УДК 621.313.322: 316.1

#### Оптимизация схем присоединения распределенных источников электроэнергии к локальным электрическим системам

А. А. Ковальчук<sup>1</sup>, В. В. Кулик<sup>2</sup>, канд. техн. наук, А. Б. Бурякин<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Винницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця-21, 21021, Україна

<sup>2</sup> ООО «Енергоинвест», переулок Станіславського, 16, Вінниця-22, 21022, Україна

*Предложен метод оптимизации схем присоединения распределенных источников электроэнергии (РИЭ) к электрическим сетям (ЭС) по критерию минимума дополнительных потерь электроэнергии в локальной электрической системе. Оптимальные решения принимаются, основываясь на результатах анализа чувствительности потерь мощности в ЭС, обусловленных функционированием РИЭ к изменению режимов последних. Библи. 4.*

**Ключевые слова:** *Распределенные источники электроэнергии (РИЭ), локальная электрическая система (ЛЭС), оптимизация, анализ чувствительности*

#### Optimisation of joining circuits of extended power sources to local electric systems

О. А. Kovalchuk<sup>1</sup>, V. V. Kulyk<sup>2</sup>, O. B. Burykin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Open Companies "Energoinvest", Stanislavskogo lane, 16, Vinnytsya-22, 21022, Ukraine

<sup>2</sup> Vinnitsa national technical university of the Ministry of Education and Science, youth and sports, Khmelnytske shose, 95, Vinnytsya-21, 21021, Ukraine

*The optimisation method of extended power sources (EPS) joining circuits to electrical networks (EN) by criterion of a minimum of stray the electric power losses in local electric system is offered. Optimum solutions are accepted, being based on assay values of sensitivity of power losses in EN, caused by functioning EPS to change of regimes last. It is shown, that the account of such sources and EN regimes interference at a stage of specifications on connection formation, will allow raising efficiency of separate subjects functioning and local electric system as a whole. References 4.*

**Key words:** *Extended power sources (EPS), local electric system (LES), optimisation, the sensitivity analysis*

1. Kyrylenko O. V., Prahovnyk A. V. Power engineering of constant evolution: ringings and construction ways // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. Special exhaustion. – Kyiv. – 2010. – PP. 10–16. (Ukr.)

2. Lezhnyuk P. D. The analysis of optimum solutions sensitivity for complex systems with criteria method. – Vinnytsya: Universum-Vinnytsya, 2003. – 131 p. (Ukr.)

3. Lezhnyuk P. D., Kulyk V. V., Burykin O. B. Interference of electrical networks and systems in the course of their modes optimum control. – Vinnytsya: Universum-Vinnytsya, 2008. – 123 p. (Ukr.)

4. Lezhnyuk P. D., Kulyk V. V., Burykin O. B., Kovalchuk O. A. Optimisation of electrical networks modes with small hydro powers in the conditions of an address electric-power supply // Tekhnichna elektrodynamika. Thematic exhaustion: Problems modern electrical engineers. Part 3. – 2010. – PP. 31–34. (Ukr.)