

УДК 621.316.11: 311.163

ІНТЕГРАЦІЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ СІЛЬСЬКИХ РЕГІОНІВ

В.В.Козирський¹, докт.техн.наук, **Ю.І.Тугай²**, канд.техн.наук., **В.М.Бодунов³**, **О.В.Гай⁴**, канд.техн.наук
^{1,4} – Національний університет біоресурсів та природокористування України,

вул. Героїв Оборони, 15, Київ-041, 03041, Україна

² – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

³ – Чернігівський державний технологічний університет,
вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14027, Україна.

Розглянуто питання розміщення джерел розподіленої генерації в електричних мережах сільських регіонів. Показано, що збільшення величини генерації без врахування режиму системи призводить до збільшення нерівномірності добового графіка навантаження і, як наслідок, до зростання технологічних витрат електроенергії на її транспортування з енергосистеми. Вказано, що можливими шляхами попередження цього негативного явища є запровадження динамічного тарифу на розподілену генерацію або перекладання функцій управління генерацією енергії з власника генеруючих потужностей на єдину централізовану систему управління «розумною» розподільною електричною мережею (смарт-грід). Бібл. 5, рис. 5.

Ключові слова: джерела розподіленої генерації, графік електричного навантаження, коефіцієнт форми, динамічний тариф, управління генерацією.

Тенденція використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ) для електропостачання споживачів аграрного сектору та інтеграція локальних генераторів в розподільні електричні мережі почалася наприкінці 90-х років минулого століття і набуває поширення. У багатьох країнах світу проводяться дослідження майбутніх сценаріїв розвитку енергетики, пошук рішень щодо функціонування перспективних електричних мереж. Велика кількість різновидів ПДЕ та значний діапазон потужностей генераторів дозволяють використовувати їхні генеруючі потужності як в розподільних мережах низької та середньої напруг (мініГЕС, побутові вітрові та сонячні генератори, установки на біопаливі тощо), так і в мережах живлення високої напруги (потужні вітрові електростанції).

При встановленні генеруючих потужностей в електричних мережах напругою 110 кВ та вище маємо справу з класичним централізованим електропостачанням споживачів, яких підключено до нижчих класів напруг. Зовсім інша річ – значна кількість генерації, що розподілена в мережах 0,4–35 кВ. Можливість існування системи розподіленої генерації потребує розробки нових принципів проектування, функціонування та управління режимами роботи розподільних електричних мереж сільських регіонів [1]. Характерною особливістю ситуації, яка склалася в електроенергетиці України на даний момент, є той факт, що значна частина цих мереж знаходиться в експлуатації вже не один десяток років і найближчим часом потребує повної або часткової заміни та реконструкції, тому варто вже зараз розпочати процес підготовки до одночасного впровадження нових принципів їхньої роботи [4].

Впровадження джерел розподіленої генерації (ДРГ), як і будь-який технічний захід, вимагає оцінки техніко-економічної ефективності. Одним з інтегральних показників роботи електричної мережі з ДРГ є електрична енергія, яка була отримана від ДРГ за розрахунковий період. Цей показник залежить від виду первинного енергетичного ресурсу та способу отримання електричної енергії

$$W_{\Gamma\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (W_{\Pi ij}^{meop} - \Delta W_{нев ij}) \eta_{\Gamma j},$$

де i – вид первинного енергетичного ресурсу; j – порядковий номер вузла генерації; $W_{\Pi ij}^{meop}$ – частка

енергії первинного енергетичного ресурсу, яка теоретично може бути використана для виробництва електроенергії у j -му вузлі генерації за допомогою ДРГ; $\Delta W_{нев\ ij}$ – частка енергії первинного енергетичного ресурсу виду i , яка з певних технологічних причин не була використана у вузлі j (відключення ДРГ, регулювання потужності тощо); $\eta_{Г\ j}$ – коефіцієнт корисної дії j -го вузла генерації.

Електроенергія $W_{Г\ \Sigma}$ може бути умовно поділена на два потоки: власне споживання $W_{власн\ \Sigma}$ та генерація в мережі енергосистеми $W_{ЕС\ \Sigma}$: $W_{Г\ \Sigma} = W_{власн\ \Sigma} + W_{ЕС\ \Sigma}$.

З позиції інтенсифікації впровадження в електроенергетику ПДЕ слід підвищувати величину $W_{Г\ \Sigma}$, але в той же час з точки зору загальної ефективності роботи електричних мереж постає ряд проблем, пов'язаних з впливом ДРГ на якість електричної енергії, втрати електричної енергії, функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, надійність роботи електричної мережі тощо [2]. Слід також відзначити, що при відносно великій сумарній потужності ДРГ в розподільній мережі важливим фактором стає їх вплив на сумарні графіки навантаження. Метою даної роботи є пошук шляхів оптимізації цих графіків для підвищення загальної ефективності роботи електричних мереж з ДРГ.

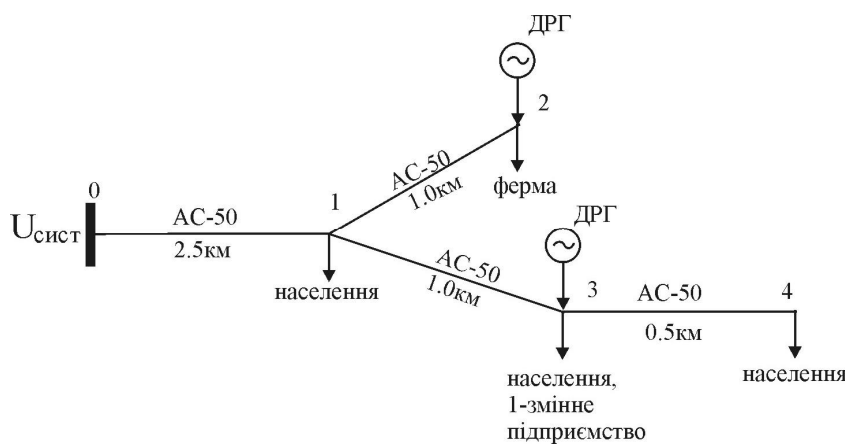


Рис. 1

Для ілюстрації розглянемо фрагмент розподільної електричної мережі 10 кВ з таким навантаженням: 50% – житлові будинки та комунально-побутові споживачі у сільській місцевості, 25% – сільськогосподарські однозмінні промислові підприємства, 25% – ферми з виробництва молока (рис. 1).

Добові графіки навантаження електричної мережі за активною та реактивною потужностями у відносних одиницях (рис. 2) можна отримати з

типових для даних споживачів графіків навантаження [5].

Припустимо, що на фермі встановлено власні генеруючі потужності, які дорівнюють максимальному споживанню ферми, і потужність генерації не змінюється протягом доби. В такому випадку добовий графік навантаження на головній ділянці розподільної мережі 10 кВ (рис. 1) після встановлення ДРГ матиме вигляд, наведений на рис. 3.

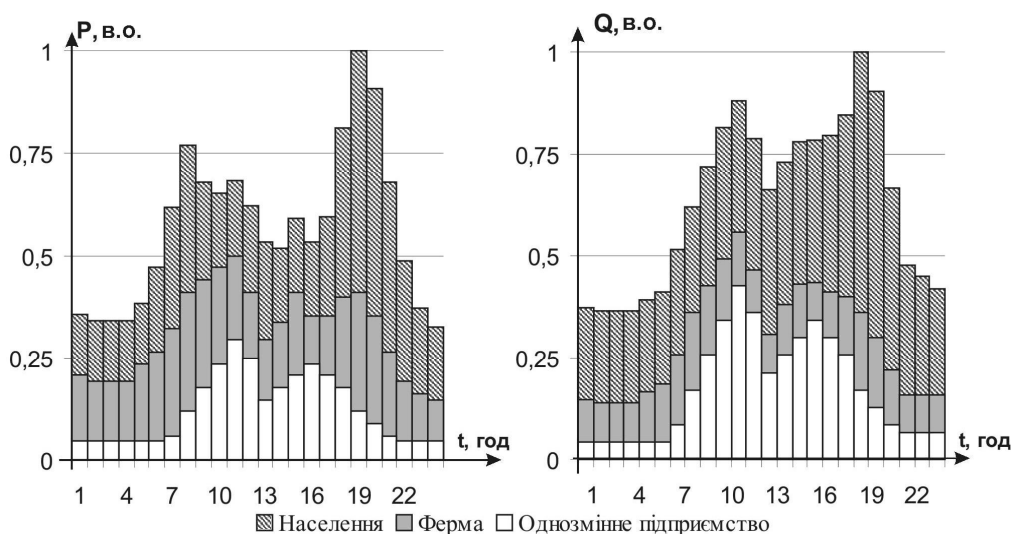


Рис. 2

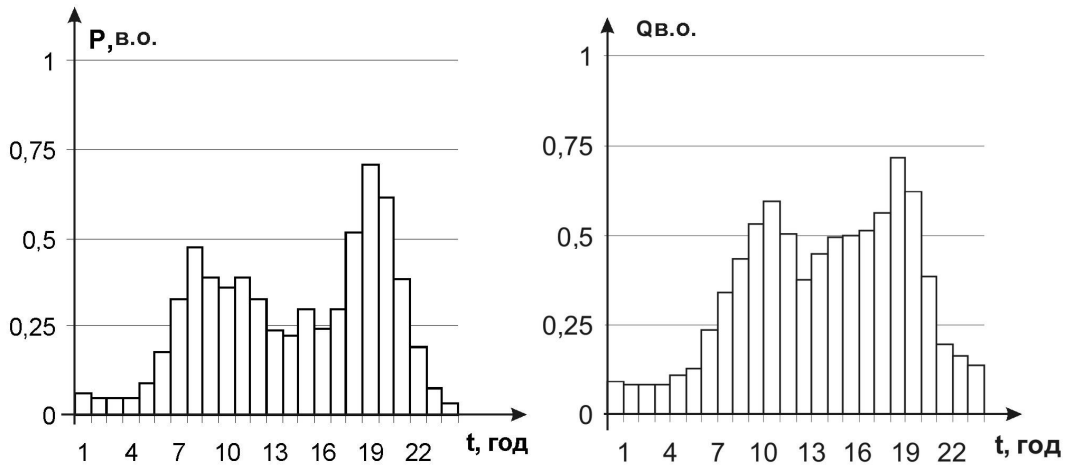


Рис. 3

Як видно з рис. 3, поряд зі зменшенням максимуму навантаження на мережу збільшилася нерівномірність графіку навантаження. Коефіцієнт форми графіку навантаження за активною потужністю в залежності від величини генерації P_G можна знайти за співвідношенням

$$k_\phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (P_i - P_G)^2}{24 \cdot P_{cp}^2}},$$

де i – порядковий номер години доби; P_i – активна потужність мережі за i -й інтервал часу до встановлення ДРГ; P_G – активна потужність ДРГ (у нашому прикладі $P_G = \text{const}$); P_{cp} – середньодобова активна потужність мережі після встановлення ДРГ.

Для наведеного прикладу коефіцієнт форми графіку навантаження за активною потужністю підвищився з 1,05 до 1,21, що знизило ефективність транспорту електричної енергії через збільшення відносного значення втрат. В загальному випадку при виконанні аналізу зміни коефіцієнта форми графіка навантаження за реактивною потужністю необхідно також звернути увагу на клас використаних ДРГ. Джерела розподіленої генерації на базі синхронних генераторів виробляють реактивну потужність та мають змогу регулювати цю величину, а ДРГ на базі асинхронних генераторів споживають реактивну потужність та можуть працювати тільки паралельно з існуючою електричною мережею. Але в рамках даної статті питання режимів мережі за реактивною потужністю не розглядалися.

На рис. 4 показано залежності коефіцієнта форми графіку навантаження за активною потужністю, що споживається від енергосистеми, від величини активної потужності ДРГ для деяких груп сільськогосподарських споживачів. По осі абсцис відкладено значення величини генерації ДРГ по відношенню до мінімуму добового графіку навантаження. Як видно з графіків, збільшення генерації без регулювання режиму спричиняє збільшення нерівномірності графіка навантаження і, як наслідок, збільшення відносного значення технологічних витрат електроенергії на її транспорт.

Збільшення кількості вузлів з ДРГ призводить до зростання нерівномірності графіку навантаження, оскільки це (при постійній величині генерації протягом доби) викликає зменшення сталої частини добового графіку (пікові значення залишаються незмінними). У режимі мінімальних навантажень потужність генерації може перевищити споживану потужність, що призведе до перетоку енергії в бік джерела живлення та збільшення сумарних втрат електроенергії [1].

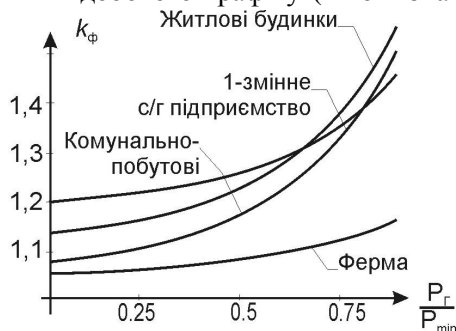


Рис. 4

Із зазначеного вище можна зробити висновок, що для оптимізації режимів роботи електричних мереж з ДРГ слід застосувати такі керуючі впливи, які забезпечать генерацію електроенергії в систему за рахунок ДРГ переважно в періоди максимуму навантаження енергосистеми та в напівпіковий період. Досягти цього можливо:

– впровадженням динамічного тарифу на генерацію в електричні мережі [2];

– перекладанням функцій управління генерацією енергії ДРГ з власника генеруючих потужностей на єдину централізовану систему управління «розумною мережею» (смарт-грід) [3].

Оскільки електрична енергія є товаром, а енергопостачальна компанія та споживач є суб'єктами енергоринку, то в їхніх відносинах діють закони ринкової економіки, зокрема, закони попиту та пропозиції. Сутність динамічного тарифу полягає в тому, що енергокомпанія формує величину тарифу генерації електричної енергії на дискретних інтервалах часу відповідно до попиту на генеруючі потужності в зазначеній точці системи і в даний інтервал часу. На рис. 5 функція попиту D_1 відповідає режиму з мінімальними потребами в генеруючих потужностях, відповідно величина динамічного тарифу для цього режиму є мінімальною. На перетині з функцією пропозиції S_1 (величина генерації електроенергії ДРГ) отримуємо робочу точку **A**. В режимі максимальних навантажень, коли вартість електроенергії від енергосистеми найбільша, попит на ДРГ зростає, збільшується і величина динамічного тарифу (функція D_2). Величина генерації в електричній мережі відповідає точці **B**.

Запровадження динамічного тарифу стимулюватиме власника ДРГ до отримання більшого прибутку за рахунок зменшення генерації в режимах з мінімальними тарифами та підвищення в режимах максимальних навантажень (точки **A'** та **B'** на рис. 5). Цієї мети можна досягти, наприклад, за

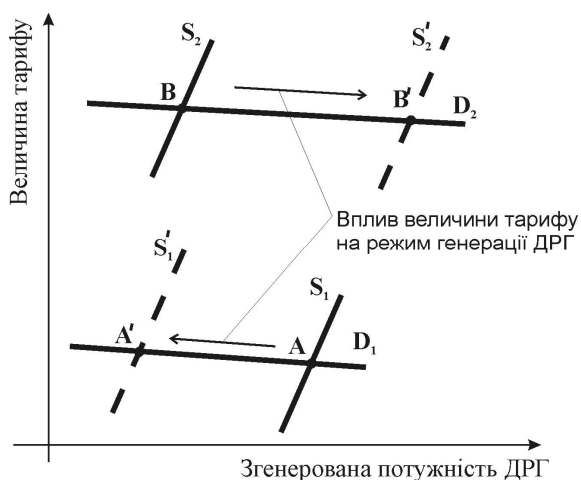


Рис. 5

рахунок зміни кількості та потужності генеруючих агрегатів, регулювання власного графіку навантаження, використання накопичувачів енергії тощо.

Створення єдиної централізованої системи управління «розумною мережею» є більш перспективним засобом вирішення проблеми, ніж зміна тарифної сітки, оскільки підвищує гнучкість використання генеруючих потужностей енергосистемою, але він не може бути застосований без згоди всіх сторін енергоринку. Тому, з одного боку, цінова політика на генерацію електроенергії ДРГ має стимулювати впровадження передових технологій керування режимами електричних мереж, а з іншого – необхідно розвивати дослідження в напрямку створення відповідного апаратного та програмного забезпечення смарт-грід.

Висновки

Виконано аналіз впливу ДРГ на добові графіки навантаження розподільної електричної мережі та запропоновано шляхи оптимізації використання потужностей ПДЕ в енергосистемах. Одним з таких шляхів є впровадження динамічного тарифу на генерацію електричної енергії ДРГ в розподільних мережах, який буде стимулювати її використання споживачами ДРГ переважно в години максимального навантаження енергосистеми. Інший шлях – використання смарт-грід технологій для впровадження єдиної централізованої системи управління режимами роботи електричних мереж з ДРГ.

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–53.

2. Козирський В.В., Гай О.В. Розробка методів підвищення надійності забезпечення споживачів електричної енергії з використанням інтелектуальної системи контролю // Енергетика та електрифікація. – 2010. – № 12. – С. 68–71.

3. Козирський В.В., Каплун В.В., Гай О.В., Бодунов В.М. Інтелектуальні системи захисту та автоматики замкнених електричних мереж з джерелами розподіленої генерації // Енергетика та електрифікація. – 2011. – № 3. – С. 42–47.

4. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І. Тенденції розвитку систем електропостачання // Електротехніка та електроенергетика. – 2000. – №2. – С. 73–76.

5. Р 50-072-98 Енергозбереження. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в мережах електропостачання напругою від 0,38 до 110 кВ включно. – К.: Держстандарт України, 1998.

Интеграция возобновляемых источников энергии в распределительные электрические сети сельских регионов

В.В.Козырский¹, докт.техн.наук, **Ю.И.Тугай²**, канд.техн.наук, **В.Н.Бодунов³**, **А.В.Гай⁴**, канд.техн.наук

^{1,4} – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Обороны, 15, Киев, 03041, Украина,

² – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,

³ – Черниговский государственный технологический университет,
ул. Шевченко, 95, Чернигов, 14027, Украина.

Рассмотрены вопросы размещения источников распределенной генерации в электрических сетях сельских регионов. Показано, что увеличение генерации без учета режима системы приводит к увеличению неравномерности суточного графика нагрузки и, как следствие, к возрастанию технологических затрат электроэнергии на ее транспортировку из энергосистемы. Отмечено, что возможными путями предупреждения этого отрицательного явления есть внедрение динамического тарифа на распределенную генерацию или переключивание функций управления генерацией энергии от генерирующих мощностей на единую централизованную систему управления «умной» распределительной электрической сетью (смайт-грид). Библ. 5, рис. 5.

Ключевые слова: источники распределенной генерации, график электрической нагрузки, динамический тариф, управление генерацией.

The integration of renewable energy sources in rural distribution electrical networks

V.V.Kozyrskyi¹, **Yu.I.Tugai²**, **V.M.Bodunov³**, **O.V.Gai⁴**

^{1,4} – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine.

² – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

³ – Chernihiv State Technological University,
Shevchenko, 95, Chernihiv-27, Ukraine.

The problems of functioning efficiency of rural electric networks with distributed generation sources are considered. It is fact, that the increasing of power generating without depending on the network state causes the increasing the load graphic coefficient form. As a result, the technological losses of electric power in the electric system are enlarged. The possible ways for solution this problem are special dynamic tariff or the unite control system for energy management in the Smart Grid. References 5, figures 5.

Key words: distributed generation sources, electric load graphic, coefficient of form, dynamic tariff, the generation energy management.

1. Kyrylenko O.V., Pavlovskiy V.V., Lukianenko L.M. Technical aspects of adoption of distributed generation sources in electric mains // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – №1. – P. 46–53. (Ukr)

2. Kozyrskyi V.V., Gai O.V. Development of methods for improving reliability of electricity consumers with smart controls // Enerhetyka ta elektryfikatsiia. – 2010. – № 12. – P. 68–71. (Ukr)

3. Kozyrskyi V.V., Kaplun V.V., Gai O.V., Bodunov V.M. Intelligent systems of protection and control of closed electrical circuits with distributed generation sources // Enerhetyka ta elektryfikatsiia. – 2011. – № 3. – P. 42–47. (Ukr)

4. Kuznetsov V.G., Tugai Yu.I. The tendencies of development of electrosupply systems // Elektrotehnika ta elektroenerhetyka. – 2000. – № 2. – P. 73–76. (Ukr)

5. P 50-072-98 Energy-saving. Method for calculation of energy losses in electricity networks 0,38–110 kV. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1998. (Ukr)

Надійшла 25.03.2011

Received 25.03.2011