

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Лежнюк П. Д., д.т.н., проф., e-mail: lezhpd@gmail.com

Ситник А. В., асистент, e-mail: kveda@ukr.net

Вінницький національний технічний університет

Актуальність дослідження. Швидкий прогрес технологій робить рішення для виробництва та зберігання енергії, виробленої на електричних станціях, що використовують відновлювані енергоносії, доступнішими для споживачів та дає їм змогу стати відповідальними учасниками енергетичного процесу. В Україні використання гарантій походження зеленої електроенергії стає дедалі вагомішим інструментом для споживачів, які прагнуть зменшити вплив свого енергоспоживання на зміну клімату та перейти на більш екологічні джерела енергії. Гарантії походження (ГП) є інструментом підтвердження походження електроенергії, що продається на роздрібному ринку. Вони є основою для розрахунків викидів парникових газів та звітування щодо викидів вуглецю і є найбільш затребуваним європейськими підприємствами.

Основні матеріали досліджень. Наявні рішення для маркування електроенергії на основі сертифікатів мають низку проблем. Вони часто не точно відображають викиди вуглецю, не забезпечують прозорості та можливості перевірки для кінцевих споживачів оскільки не враховують фізичні процеси у системі маркування. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити метод визначення частки навантаження кожного вузла електричної мережі, що забезпечується певним джерелом електроенергії, використовуючи закони електротехніки. Це дозволить уникнути суб'єктивності і розробити дієвий інструмент підтвердження обсягів електроенергії у гарантіях її походження з урахуванням фізичних процесів електричних мереж.

Складність задачі полягає в тому, що електричні мережі, до яких приєднуються відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), в певній мірі можуть оцінити наслідки цього процесу. Це стосується того, що змінюються перетоки електроенергії у вітках мережі, змінюються її техніко-економічні показники такі як втрати електроенергії, в тому числі, від ВДЕ, надійність електропостачання і якість електроенергії. Ключем до вирішення проблем є моніторинг щодо вироблення і перетікання електроенергії в електричних мережах від ВДЕ. Для цього необхідно розробити метод та засоби оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, яка забезпечується з відновлювальних джерел енергії. Його застосування на етапі ідентифікації походження електроенергії, забезпечить енергоефективне керування фізичними процесами в електричних мережах та сприятиме обґрунтованому підвищенню довіри споживачів до електропостачання від ВДЕ. Разом з тим формуватиметься відповідальність споживачів за електроенергію, яку він отримує з електричних мереж. Йдеться не тільки про якість електроенергії, а й про її походження.

Для подальшої розбудови ВДЕ та оптимального інтегрування їх в електричні мережі необхідно продовжувати створювати умови, які б сприяли формуванню зацікавленості в цьому процесі як виробників електроенергії, так і розподільних мереж та споживачів. Щодо споживачів, то вони мають бути впевнені в джерелі електроенергії. Його надійності і перспективі розбудови в майбутньому. Звідси слідує вимога до гарантованого походження електроенергії. Пропонується підхід, який ґрунтується на розрахунках виключно згідно законів електротехніки. Результатами розрахунків є складова потоку електроенергії у кожній вітці електричної мережі, яка належить певному ВДЕ. Таким чином в заданому вузлі мережі структурується кількість електроенергії, що надійшла від ВДЕ. У вітках мережі визначаються втрати електроенергії від перетоків у них електроенергії, згенерованої ВДЕ. Для оптимізації втрат електроенергії в мережі та розподілу навантаження між ВДЕ використовується принцип найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського.

Пропонований метод може бути інструментом підтвердження гарантій походження (ГП) енергії, що продається на роздрібному ринку. Використовуючи його може бути

сформована локальна електроенергетична система на основі ВДЕ з можливістю переходу її в автономний режим. За умови, що в ЛЕС встановлена система накопичення електроенергії, використовуються активні споживачі електроенергії та узгоджуються графіки споживання і генерування ВДЕ, то вона може функціонувати як балансуєча група.

Існуючі підходи до організації роботи національних електронних реєстрів гарантії походження не передбачають врахування топології мережі та місця виробництва електроенергії. Реєстри організовані на принципах відокремлення фізичних процесів від комерційних. Тому, актуальним є доповнення існуючої структури організації ГП врахуванням фізичних процесів у системах передачі та розподілу електроенергії, що потребує розроблення відповідного математичного апарату. Запропоновано метод визначення частки перетікань потужності від сукупності ВДЕ до певних вузлів навантаження, що приєднані до електричної мережі. Суть методу полягає в тому, що значення повної потужності на початку і в кінці кожної вітки схеми визначається за формулою [1]:

$$\dot{S}_B = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_{\Sigma d} \mathbf{M}_{\Sigma} \cdot \hat{\mathbf{I}}_d, \quad (1)$$

де $\dot{U}_{\Sigma d}$ – діагональна матриця напруги у вузлах, включаючи і балансувальні; \mathbf{M}_{Σ} – матриця з'єднань віток у вузлах, включаючи і балансувальні; $\hat{\mathbf{I}}_d$ – діагональна матриця струмів у вітках схеми.

Враховуючи сутність методу структурування потужності (1) в [2] отримано вираз для визначення коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі, які викликаються генеруванням у вузлах:

$$\dot{A}_i = (\dot{U}_i \mathbf{M}_{\Sigma i}) \hat{\mathbf{C}}_{\text{вде}i} \dot{U}_{\text{вде}}^{-1}, \quad (2)$$

де $\dot{U}_{\text{вде}}^{-1}$ – обернена діагональна матриця напруги у вузлах з ВДЕ; $\hat{\mathbf{C}}_{\text{вде}i}$ – i -й вектор-рядок матриці коефіцієнтів розподілу струмів по вітках схеми електричної мережі, який відповідає вузлам з ВДЕ:

$$\mathbf{C}_{\text{вде}} = \mathbf{z}_B^{-1} \mathbf{M}_{\text{вдет}} (\mathbf{Y}_{\text{вде}})^{-1};$$

$\mathbf{M}_{\text{вдет}}$, $\mathbf{Y}_{\text{вде}}$ – фрагменти транспонованої матриці з'єднань та матриці вузлових провідностей схеми електричної мережі, які відповідають вузлам з ВДЕ; \mathbf{z}_B – діагональна матриця комплексних опорів віток схеми електричної мережі.

Для визначення перетікань від ВДЕ у вітках схеми можна записати:

$$\dot{S}_{\text{вде}}^B = \dot{A} \cdot \dot{S}_{\text{вде}}. \quad (3)$$

де $\dot{S}_{\text{вде}}^B$ – вектор перетікань потужності у вітках схеми викликаних вузлами з ВДЕ; $\dot{S}_{\text{вде}}$ – вектор потужностей вузлів схеми, що відповідає вузлам схеми з ВДЕ.

Висновок. Однією з важливих проблем є визначання в балансі країни частки потужності та електроенергії, виробленої з ВДЕ. В ринкових умовах постала необхідність визначати також кількість електроенергії, яка споживається окремими споживачами. Це дозволяє розв'язувати такі перспективні завдання як формування кооперативів для енергозабезпечення селищних громад та інших угруповань на основі ВДЕ. Так склалося, що на сьогодні з різних причин важливим є формування локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ з переходом їх на автономний режим в нормальному, аварійному та воєнному станах, а для цього необхідно бути певним в гарантії походження електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lezhniuk P., Burykin O., Malogulko Y. Distributed energy sources in the local electrical systems. – LAP LAMBERT Academic Publishing. 2018. 140 p.
2. Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from renewable energy sources. Legniuk, P., Kulyk, V., Malogulko, Y., Burykin, O., Sytnyk, A. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022. Proceedings. pp. 85–88.