

УДК 621.311

Довгалюк О.М., канд. техн. наук, доц., Бондаренко Р.В., аспірант,  
Саїдов Ш.Н., магістр, Яковенко І.С., аспірант,  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ

**Вступ.** Загальна тенденція розвитку енергетики у світі та в Україні полягає в збільшенні частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у структурі генеруючих потужностей енергосистем. Оскільки робота ВДЕ характеризується нестабільністю видачі потужності протягом доби і сезону, то для підвищення ефективності функціонування таких джерел застосовуються системи накопичення енергії (СНЕ). В умовах реформування енергоринку України та активного розвитку технологій зберігання енергії змінюється роль накопичувачів електричної енергії, які стають важливим елементом електричних мереж, здатним суттєво впливати на режими їх роботи. Це робить питання оцінки ефективності використання СНЕ в мережах з ВДЕ актуальним і важливим для енергетики України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна кількість наукових робіт присвячена дослідженню питань, пов'язаних із застосуванням СНЕ в електричних мережах з ВДЕ. Увага приділяється вдосконаленню технологій зберігання енергії [1], дослідженню показників якості та надійності електричних мереж з ВДЕ [2, 3], особливостям забезпечення та оптимізації режимів електричних мереж з ВДЕ [4], впливу СНЕ на роботу ВДЕ, застосуванню СНЕ в електричних мережах і системах та іншим. Разом з тим питання запровадження лібералізованого енергоринку в Україні призводить до появи нових аспектів використання СНЕ в електричних мережах з ВДЕ, що потребує проведення відповідних досліджень.

**Мета дослідження.** Метою проведених досліджень була розробка критерію оцінки ефективності використання СНЕ в мережі з ВДЕ в умовах енергоринку.

**Основні матеріали дослідження.** Аналіз ефективності застосування СНЕ є складним багатокритеріальним завданням, яке повинно вирішуватися з урахуванням поточної ситуації на ринку електроенергії.

На сьогоднішній день в мережах з ВДЕ для вирішення задачі стабілізації видачі потужності доцільно використовувати механічні (маховики, пневматичні і гідроенергетичні установки), електрохімічні (акумуляторні батареї) та електричні (конденсатори і суперконденсатори) типи СНЕ. Запровадження нової моделі ринку електричної енергії в Україні надає ВДЕ нові можливості, які дозволяють їм стати активними учасниками внутрішньодобового і балансуєчого сегментів ринку. Використання СНЕ дозволить зробити більш прогнозованою та стабільною видачу потужності ВДЕ в мережу, яка в умовах енергоринку може відбуватись в різний час доби, що значно впливатиме на вартість відпущеної електроенергії. За таких умов важливою стає оцінка економічної доцільності та ефективності застосування відомих технологій та СНЕ в мережах з ВДЕ.

Для аналізу ефективності роботи електричної мережі з ВДЕ був розроблений техніко-економічний критерій, який враховує особливості використання СНЕ та поточну ситуацію на ринку електричної енергії відповідно до виразу:

$$K_{ef}(x) = \sum_{i=1}^n D_{Szi}(x) - \sum_{i=1}^n D_{Stzi}(x) - \sum_{i=1}^n D_{aszi}(x), \quad (1)$$

де  $x$  – тип СНЕ, яка застосовується при роботі ВДЕ;  $\sum_{i=1}^n D_{Szi}(x)$  – вартість виробленої ВДЕ

і проданої електричної енергії на ринку за період часу  $[1, n]$  при використанні СНЕ типу  $x$ ;  $\sum_{i=1}^n D_{Stzi}(x)$  – вартість накопичення і зберігання електричної енергії при використанні СНЕ типу  $x$  за період часу  $[1, n]$ ;  $\sum_{i=1}^n D_{aszi}(x)$  – вартість амортизації та обслуговування СНЕ типу  $x$  за період часу  $[1, n]$ .

Вартість електричної енергії, яка продається ВДЕ на ринку, враховує поточний стан ситуації на ринку і відповідно до [5] визначається наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n D_{Szi}(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{z=1}^m (V_{Szi} \cdot P_{zi}), \quad (2)$$

де  $V_{Szi}$  – обсяг електричної енергії, проданої ВДЕ на ринку у зоні  $z$  та операційному періоді  $i$ , який визначений на торгах ринку на добу наперед;  $P_{zi}$  – ціна купівлі-продажу електричної енергії у зоні  $z$  та операційному періоді  $i$ , яка визначена на торгах ринку на добу наперед;  $z$  – індекс зони;  $m$  – кількість зон.

Сумарна вартість накопичення і зберігання електричної енергії залежить від типу СНЕ, який використовується, і за період часу  $[1, n]$  визначається за виразом:

$$\sum_{i=1}^n D_{Stzi}(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{z=1}^m (V_{Stxzi} \cdot P_{gkzi} \cdot (1 - \eta)), \quad (3)$$

де  $V_{Stxzi}$  – обсяг електричної енергії, виробленої ВДЕ типу  $k$  і накопиченої СНЕ типу  $x$  у зоні  $z$  та операційному періоді  $i$ ;  $P_{gkzi}$  – собівартість генерації електричної енергії ВДЕ типу  $k$  у зоні  $z$  та операційному періоді  $i$ ;  $\eta$  – ККД СНЕ типу  $x$ .

Для досягнення максимальної ефективності роботи електричної мережі з ВДЕ при використанні СНЕ в умовах енергоринку України необхідно забезпечити максимальне значення коефіцієнту ефективності  $K_{ef}(x) \rightarrow \max$ .

**Висновки.** Розроблений техніко-економічний критерій дозволяє зробити кількісну оцінку ефективності роботи електричної мережі з ВДЕ при використанні СНЕ різних типів з урахуванням поточної ситуації на ринку електричної енергії. Він може використовуватись для вирішення задач як на етапі проектування, так і під час експлуатації електричних мереж.

#### Список використаної літератури:

1. Фіалко Н.М., Тимченко М.П. Технології накопичення енергії у складі інтелектуальних систем енергозабезпечення // Промислова теплотехніка. – 2017. – №4. – Т. 39. – С. 44-54.
2. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Палачов С.О. Нормативно-технічне регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації // Технічна електродинаміка. – 2016. – №3. – С. 55-57.
3. Попов В.А., Ткаченко В.В., Сахрагард С.Б., Журавлев А.А. Особенности анализа надежности воздушных распределительных сетей с источниками распределенной генерации // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/8 (75). – С. 26-32.
4. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Гулько І.О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 164 с.
5. Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку, Затверджено Постановою НКРЕКП № 308 від 14.03.2018 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18>

#### References:

1. N.M. Fialko and M.P. Timchenko, "Technologies of energy accumulation in intelligent power supply systems," *Industrial heat engineering*, vol. 4, no. 39, pp. 44-54, 2017.
2. A.F. Zharkin, V.O. Novsky, and S.O. Palachov, "Technical regulation of voltage quality in electrical grids with sources of distributed generation," *Technical Electrodynamics*, vol. 3, pp. 55-57, 2016.
3. V.A. Popov, V.V. Tkachenko, S.B. Sakhragard, and A.A. Zhuravlov, "Distinctive features of analysis of reliability of overhead distribution networks with sources of distributed generation," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3/8 (75), pp. 26-32, 2015.
4. P.D. Lezhnyuk, A.E. Rubanenko, and I.O. Gunko, *Optimization of regimes of electric networks with renewable energy sources*. Vinnitsa: VNTU, 2017.
5. National Energy and Utilities Regulatory Commission (NEURC), "Rules of the market "one day in beforehand" and the intraday market," *National Energy and Utilities Regulatory Commission*, Legislation of Ukraine, 2018. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18>. [Accessed Apr. 30, 2019].