https://doi.org/10.31649/mccs2022.12

УДК 620.92:621.311.29

П. Д. Лежнюк
К.О. Повстянко

ОПЕРАТИВНЕ КЕРУВАННЯ БАЛАНСОМ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет;

У даній роботі продемонстровано наслідки впливу активного використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України, зокрема особливо підтримки балансу в мережі задля її надійної та якісної роботи. В енергетичній стратегії розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні до 2035 року планується стрімке нарощування встановленої потужності ВДЕ, тобто завдання зберегти балансову надійність в умовах зростання частки ВДЕ в ЕЕС України є досить актуальним. Прогнозування балансу електроенергії відбувається на основі прогнозу генерації, споживання електроенергії в заданий період часу, а також від запасів палива об'єму резервів генеруючих потужностей. Джерела відновлювальної енергії мають нерівномірний характер генерації, а тому ставлять під загрозу аспекти балансової надійності. Дана проблема є ключовою для України у світлі на шляху інтеграції енергосистеми України до європейської мережі ENTSO-E. В результаті проведених досліджень можна стверджувати, що покращення ситуації можливе лише за комплексного підходу та впровадження відповідних технологій, а саме: технічні, економічні та інституційні технології. Запровадження технологій дасть змогу поліпшити спостереження і управління енергетичними системами; економічні впровадження сприятимуть реформування роздрібного ціноутворення і оподаткування поставок електричної енергії з урахуванням оплати, яку вони поставляють електроенергії і покриттям частини вартості загальної інфраструктури; інституційні новації змінять функції і обов'язки суб'єктів управління. Пріоритетним стане поліпшення координації між операторами передавальних і розподільних мережа.

Ключові слова: електроенергетична система, відновлювальні джерела енергії, баланс, контроль балансу.

Вступ

Актуальним завданням сучасної енергетики є забезпечення надійного та ефективного електропостачання споживачів, особливо тих, що знаходяться у віддалених та важкодоступних місцях. Перспективним способом забезпечення такого процесу є гібридна енергетична система з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Водночас виробництво електроенергії з використанням ВДЕ (таких як енергія сонця, вітру, геотермальної та гідроелектроенергії) замість традиційних джерел енергії (вугілля, нафти та природного газу) зменшує викиди парникових газів у енергетичному секторі та допомагає боротися зі зміною клімату, яка в свою чергу залежить від рівня вироблення викидів. Дані переваги спричиняють активний розвиток та збільшення частки ВДЕ в загальній мережі, проте виробництво електроенергії з ВДЕ залежить від змінних природних ресурсів, що ускладнює контроль над цими електростанціями та створює проблеми з підтримкою балансу в мережі, ставлячи під загрозу надійність електропостачання та роботу енергетичної мережі загалом. Саме тому **актуальною** є тема керування балансом в електроенергетичній мережі з використанням ВДЕ.

Постановка задачі

В основі надійної робота електроенергетичної системи (ЕЕС) з ВДЕ лежить необхідність постійної підтримки балансу потужностей, адже цей фактор впливає на проблеми відповідності якості електричної енергії, а саме відхилення напруги і частоти струму від номінальних значень. Тому необхідною задачею для розвитку та збільшення частки ВДЕ в ЕСС є розробка методів керування балансом в ЕЕС з врахування нерівномірності генерації ВДЕ.

На сьогодні баланс електроенергії в ОЕС України в частині генерування на сьогоднішній день формується різними типами електростанцій, а саме:

$$P_{AEC}(t)+P_{TEC}(t)+P_{TEC}(t)\pm P_{TAEC}(t)+P_{BДЕ}(t)\pm P_{рез}(t)-P_H(t)-\Delta P(t)=0, \quad (1)$$

де $P_{AEC}(t)$ - потужність атомних станцій (АЕС); $P_{TEC}(t)$ - потужність теплових електростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралей (ТЕЦ); $P_{TEC}(t)$ - потужність гідроелектростанцій; $P_{TAEC}(t)$ - потужність гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС); $P_{BДЕ}(t)$ - потужність ВДЕ; $P_{рез}(t)$ - потужність засобів і шляхів резервування електроенергії під час балансування; $P_H(t)$ - навантаження трансформаторних підстанцій (ТП); $\Delta P(t)$ - технологічні витрати у електричних мережах[1].

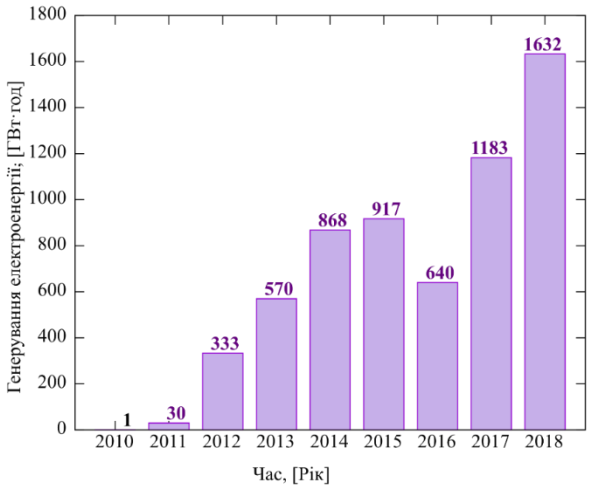

Рис.1 - Тенденція збільшення генерування електроенергії ФЕС в Україні за даними IRENA

Згідно (1) станом на сьогодні більшу частину генерації в Україні займають традиційні джерела, які піддаються керуванню та диспетчеризації, проте частка ВДЕ невпинно зростає (рис. 1), а тому потреби в раптових і частих пусках, викликаних періодичним і змінним характером виробництва електроенергії з ВДЕ, у поєднанні зі змінами чистого навантаження, спричиняють труднощі для звичайних генеруючих установок[2].

Результати дослідження

Щоб належним чином збалансувати пропозицію та попит на електроенергію в електромережі, оператори електромережі повинні знати, скільки відновлюваної енергії виробляється в будь-який момент часу, скільки енергії очікується, і як реагувати на зміну виробництва. Операторам електромереж може бути важко отримати всю цю інформацію через нерівномірний характер ВДЕ та великий діапазон потужностей і розташування даного типу станцій у всій енергосистемі. Навіть якщо погода передбачувана, оператори електромережі стикаються з проблемою, як швидко реагувати на зменшення виробництва сонячної енергії, коли сонце заходить, але попит на електроенергію залишається незмінним (або зростає під час піку вдень). Усі ці аспекти вимагають від операторів мереж бути гнучкими та швидко реагувати на нові умови та моделі виробництва. Якщо цього не зробити, це може призвести до перебоїв з електроенергією та знеструмлення.

У більшості випадків мережа поглинає всю електроенергію отриману від ВДЕ, оскільки існує достатній попит на електроенергію (рідко генерація ВДЕ перевищує попит на електроенергію в певному регіоні), тому щоб компенсувати різницю між кількістю електроенергії, що потребується, та кількістю електроенергії, виробленої ВДЕ (чисте навантаження) в мережі використовуються інші джерела енергії, звичайні ресурси викопного палива, що працюють на природному газі, вугіллі, тощо. У результаті, чим більше відновлюваних джерел енергії в мережі, тим менше електроенергії

потрібно виробляти за допомогою звичайних електростанцій, що працюють на викопному паливі[3].

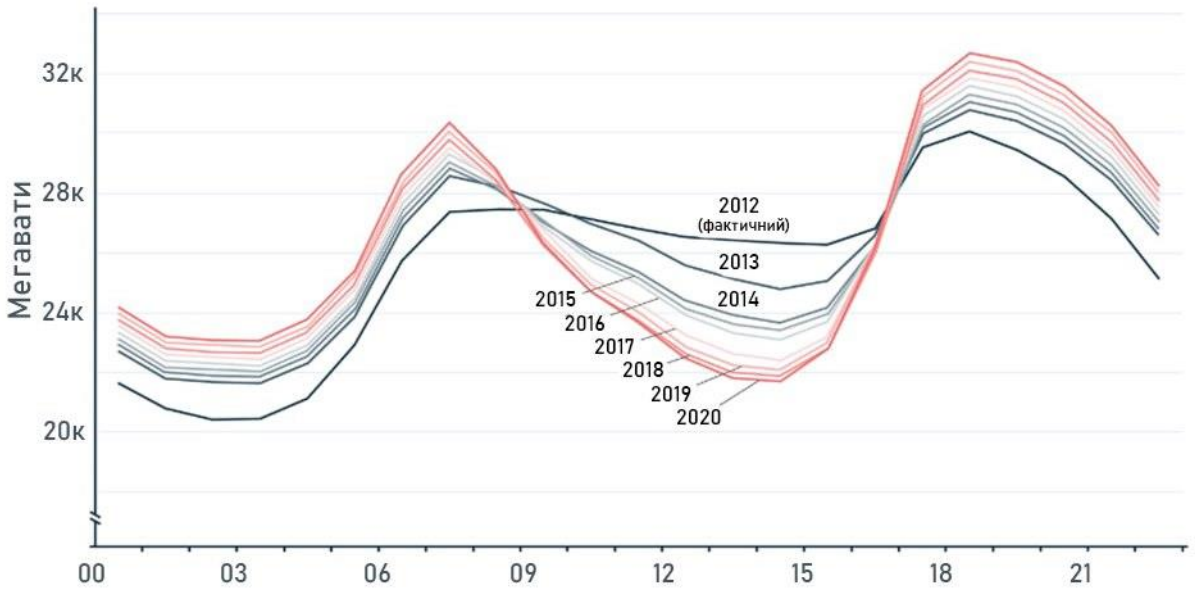

Рис. 2 – Залежність величини покриття чистого навантаження за добу

Аналізуючи графік на рис. 2, що ілюструє труднощі балансування та керування системою з великою часткою ВДЕ, можна стверджувати, що система вимагає дуже крутий «пандус», тобто швидке розподілення невідновлюваних ресурсів мережі для покриття різкого зростання попиту на електроенергію за дуже короткий період (між 16 та 18 годинами), в період, коли сонячна генерація зменшується.

Водночас, в період між 10 та 14 годинами збільшується ризик скорочення сонячної енергії. Як згадувалося вище, операторам електромереж іноді доведеться обмежувати або зменшувати виробництво певних відновлюваних джерел енергії під час високого виробництва, якщо немає достатнього попиту для їх використання, що може призвести до економічних втрат для власників ВДЕ[4].

Отже, збільшення частки ВДЕ в мережі стає все менш корисним як для задоволення попиту на електроенергію, так і для зменшення викидів вуглецю, оскільки кількість ресурсів зростає. Це можна вирішити, об’єднавши виробництво з накопиченням енергії для подальшого використання.

До шляхів ефективного вирішення цих питань можна віднести:

- **Зберігання енергії.** Можна поєднувати зі нерівномірними ВДЕ, щоб пристосуватись до коливань відновлюваної генерації протягом дня або кількох днів. Електроенергія може зберігатися під час високої генерації (для сонця, протягом сонячних днів; для вітру, під час високої швидкості вітру) для подальшого використання в періоди високого попиту. Проте характерною особливістю режимів таких систем є наявність пульсацій у струмах заряду-розряду акумуляторів, що використовуються як накопичувачі енергії. Робота батареї з такими коливаннями струму призводить до швидкої деградації її характеристик, а також скорочення терміну служби. Крім того, це призводить до зниження надійності системи електропостачання та збільшення вартості виробленої електроенергії. Істотним недоліком гібридних систем, побудованих за відомими типовими схемами, є неефективне використання первинної відновлюваної енергії, що особливо критично для енергетичних систем, географічно розташованих у районах із суворими кліматичними умовами.
- **Збільшення будівництва.** Розвиток кількості ліній електропередач для з’єднання територій, забезпечених багатими відновлюваними ресурсами (наприклад, дуже

сонячних або вітряних областей), з областями з високим попитом на електроенергію може підвищити цінність відновлюваних ресурсів і зменшити нерівномірність їх генерації.

- **Поєднання різних типів ВДЕ.** Збалансувати мінливість виробництва одного виду ресурсу. Наприклад, мережа, яка використовує багато типів відновлюваних джерел енергії, як-от сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна, ймовірно, зіткнеться з меншою волатильністю у виробництві, ніж та, яка покладається виключно на вітрову енергію.
- **Управління попитом.** Даний спосіб можна використовувати стратегічно для оптимізації часу споживання електроенергії для відображення доступності виробництва. Управління з боку попиту може включати перенесення високого попиту на періоди високого виробництва ВДЕ, наприклад, попереднього підігріву електричних водонагрівачів або заряджання електромобілів під час високого виробництва сонячної енергії, а також зниження попиту в години пік.[5].

Висновки

Активне збільшення частки ВДЕ в енергосистемі змушує її приймати нові правила роботи та підвищувати гнучкість, тобто здатність забезпечувати баланс попиту та пропозиції, підтримувати безперервність у неочікуваних ситуаціях і справлятися з невизначеністю попиту та пропозиції. У традиційних енергосистемах гнучкість забезпечувалася шляхом забезпечення резервів і графіків генерації/навантаження. Проте, це набуло нового виміру в сучасних енергетичних системах, де зростає частка ВДЕ. Стабільність має вирішальне значення для надійної та безперервної роботи енергосистеми та може бути досягнута за допомогою управління генерацією, управління попитом, правильне планування та експлуатація мереж передачі також набули значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] *Оцінювання засобів балансування режимів електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії.* Д. Лежнюк,В. О. Комар, Л. Н. Добровольська, К. О. Повстянко. ВІСНИК ВПІ № 3 (162) 2022.

[2] *Балансування потужності та електроенергії в електроенергетичній системі з відновлюваними джерелами енергії критеріальним методом.* П. Д. Лежнюк, о. А. Буславець, о. О. Рубаненко. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 1 (2) 2021

[3] *Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid* [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.rff.org/publications/explainers/renewables-101-integrating-renewables/

[4] *Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey*. Semich Imprama, Secil Varbak Neseb, Bülent Oralb. Oral Energy Strategy Reviews. Volume 31, September 2020, 100539 Operational Challenges towards Deployment of Renewable Energy.

REFERENCES

[1] Evaluation of means of balancing modes of electric power systems with renewable energy sources. D. Lezhniuk, V. O. Komar, L. N. Dobrovolska, K. O. Povstyanko. VPI BULLETIN No. 3 (162) 2022.

[2] Balancing power and electricity in the electric power system with renewable energy sources by the criterion method. P. D. Lezhniuk, Fr. A. Buslavets, Fr. O. Rubanenko. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy, reliability and energy efficiency, No. 1 (2) 2021

[3] Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid [Electronic resource] - Mode of access: URL: https://www.rff.org/publications/explainers/renewables-101-integrating-renewables/

[4] Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey. Semich Imprama, Secil Varbak Neseb, Bülent Oralb. Oral Energy Strategy Reviews. Volume 31, September 2020, 100539 Operational Challenges towards Deployment of Renewable Energy.

Лежнюк Петро Дем'янович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електричних станцій та систем, e-mail: lezhpd@gmail.com ; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0338-2131

Повстянко Катерина Олександрівна — аспірантка кафедри ЕСС,

e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет;

P. D. Lezhniuk
K. O. Povstianko

OPERATIONAL MANAGEMENT OF THE BALANCE OF POWER AND ELECTRIC ENERGY IN THE ELECTRICAL POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Vinnytsia National Technical University;

This work demonstrates the effects of the active use of renewable energy sources (RES) in the unified energy system (UES) of Ukraine, in particular, maintaining the balance in the network for its reliable and high-quality operation. In the energy strategy for the development of renewable energy sources in Ukraine until 2035, a rapid increase of the installed RES capacity is planned, i.e. the task of maintaining balance sheet reliability in the conditions of an increase in the share of RES in the UES of Ukraine is quite urgent. Forecasting of the electricity balance is based on the generation forecast, electricity consumption in a given period of time, as well as fuel reserves and the volume of generating capacity reserves. Renewable energy sources have a non-uniform nature of generation, and therefore endanger aspects of balance reliability. This problem is key for Ukraine in light of the integration of Ukraine's energy system into the European ENTSO-E network. As a result of the conducted research, it can be stated that the improvement of the situation is possible only with an integrated approach and the implementation of appropriate technologies, namely: technical, economic and institutional technologies. The introduction of technologies will make it possible to improve monitoring and management of energy systems; economic implementations will contribute to the reform of retail pricing and taxation of electricity supplies, taking into account the payment they supply for electricity and covering part of the cost of the general infrastructure; institutional innovations will change the functions and responsibilities of management subjects. Improving coordination between transmission and distribution network operators will become a priority.

Keywords: electric power system, renewable energy sources, balance, balance control.

Lezhniuk Petro D. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: lezhpd@gmail.com ; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0338-2131

Povstianko Kateryna O. — *post*graduate student of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: ekaterina.povstyanko@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5501-662X