

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НЕБАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ ПІД ЧАС ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

На сьогодні важливою та актуальною проблемою залишається оцінювання та підвищення якості прогнозування генерування відновлюваних джерел енергії. У роботі розглядаються теоретичні засади прогнозування потужності генерування та специфічні особливості моделювання процесів, пов'язаних із відновлюваними джерелами енергії. Запропоновано для оцінювання якості прогнозів використати поняття ризику.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, прогнозування генерування, погодинний графік навантаження, ризик

Abstracts

Today, an important and urgent problem remains the assessment and improvement of the quality of forecasting of renewable energy generation. The paper considers the theoretical principles of forecasting generation capacity and specific features of modeling processes related to renewable energy sources. It is proposed to use the concept of risk to assess the quality of forecasts

Keywords: renewable energy sources, generation forecasting, hourly load schedule, risk

Вступ

Збільшення частки відновлюваної енергетики в енергосистемі дозволяє отримати екологічні, економічні переваги, проте водночас відкриває нові виклики у плані забезпечення стабільності та надійності роботи електромереж. Однією з основних проблем під час експлуатації розподільних мереж з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) є високий ступінь невизначеності графіка генерованої потужності, що безпосередньо впливає на баланс попиту і пропозиції електроенергії та призводить до появи небалансу потужності.

Впровадження ВДЕ характеризується не лише позитивними екологічними ефектами, але й створює низку технічних і операційних проблем. Однією з основних проблем є неточність прогнозів генерації через непередбачуваність природних умов.

Поява нових учасників на ринку електричної енергії викликає зміни й під час ціноутворення та прогнозування генерації [1].

Метою роботи є аналіз факторів, які впливають на точність прогнозу генерування ВДЕ, які мають бути враховані для зменшення небалансів активної потужності в локальних електроенергетичних системах під час планування режимів роботи в умовах сучасного енергоринку.

Результати дослідження

Прогнозування навантаження в енергосистемі супроводжується ризиками, що виникають внаслідок невизначеності вхідної інформації [1]. В розподільних мережах з ВДЕ ці ризики зростають, адже більшість відновлюваних джерел є умовно керованими. Тому прогнозування графіка генерування на добу наперед залежить від якості та достовірності інформації щодо прогнозованих параметрів (наприклад, інсоляції СЕС, потужності й напрямку вітру на вітроустановках, напору води на малих ГЕС тощо) [1].

Ризики, що виникають у процесі прогнозування потужності, мають багаторівневий характер і охоплюють як технічні, так і економічні аспекти. До основних складових ризиків належать [1-4]:

- похибка прогнозування та її вимірювання;
- невизначеність вхідних даних;
- технічні та експлуатаційні обмеження;
- економічні витрати;
- системні та операційні ризики.

Одним із найважливіших показників є розмір похибки прогнозу, який відображає різницю між прогнозованою потужністю $P_{\text{прогноз}}(t)$ та фактичною потужністю $P_{\text{факт}}(t)$ протягом певного інтервалу часу t . Для кількісного вимірювання цієї похибки використовують такі показники:

Середньоквадратична похибка (СКП) []:

$$СКП = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (P_{\text{факт}}(t) - P_{\text{прогноз}}(t))^2}.$$

Середня абсолютна похибка (САП) []:

$$САП = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |P_{\text{факт}}(t) - P_{\text{прогноз}}(t)|,$$

де N – номер сходинок в добовому графіку навантаження; $P_{\text{прогноз}}$ – прогнозована потужність, МВт; $P_{\text{факт}}$ – фактична потужність джерела, МВт.

Ці показники дозволяють оцінити точність прогнозних моделей та визначити необхідність подальших коригувань. Високі значення СКП або САП свідчать про значну невизначеність, що може стати основою для розробки додаткових алгоритмів адаптації прогнозу.

Стосовно невизначеності вхідних даних можна зазначити, що ВДЕ, такі як сонячні та вітрові електростанції, безпосередньо залежать від метеорологічних умов, що характеризуються високою волатильністю. Невизначеність даних про швидкість вітру, хмарність, температуру та інші атмосферні параметри може призводити до значних відхилень прогнозних значень. Для зменшення цього ризику використовують імовірнісні підходи, які дозволяють моделювати розподіл можливих значень, а не отримувати лише точкову оцінку

Невідповідність між прогнозованою та фактичною потужністю може бути спричинена також технічними обмеженнями системи. До них належать:

- обмеження трансформаторів і ліній електропередач,
- фізичні характеристики мережі, які можуть обмежувати можливості перетікання потужності, що потребує додаткових коригувальних заходів.
- час реакції системи управління, тобто затримки у прийнятті оперативних рішень, які можуть призвести до накопичення невідповідностей, збільшуючи ризик дисбалансу.

Невідповідність прогнозу також відображається в економічних витратах. Сюди входять витрати на:

- Оперативне регулювання. Затрати на зміну режимів роботи обладнання (наприклад, трансформаторів, систем регулювання напруги);
- Компенсацію втрат електроенергії. Економічні наслідки збільшення втрат через дисбаланс потужності можуть бути значними, що впливає на загальну ефективність роботи мережі.

Крім технічних та економічних аспектів, існують загальні операційні ризики, пов'язані з роботою енергосистеми:

- Несправності в системах моніторингу та управління (SCADA).
- Відхилення від стандартних режимів експлуатації.
- Аварійні ситуації, що виникають через комбінацію кількох факторів.

Ці ризики потребують комплексного підходу до оцінки, де кожен з компонентів аналізується окремо, а потім інтегрується у спільну модель оцінки ризиків.

Висновки

Отже, особливості прогнозування ВДЕ вимагають використання спеціалізованих методів, які враховують високий рівень нелінійності процесів та регіональних особливостей. Комплексний підхід, що поєднує імовірнісне прогнозування, сценарний аналіз та інтеграцію у системи керування, дозволяє забезпечити ефективне управління енергетичною системою в умовах високої невизначеності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Risk assessment of power imbalance for power systems with wind power integration considering governor ramp rate of conventional units.* / Yanwen Wang, Yanying Sun, Yalong Li and others. Electric // Power Systems Research. Volume 217. 2023. Page 109111. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109111>

2. Zhang, G., Patuwo, B.E. and Hu, M.Y. (1998) Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art. *International Journal of Forecasting*, 14, 35-62. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)
3. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: principles and practice*. 2018. URL: <https://otexts.com/fpp3/>
4. Antonio Bello, Javier Reneses, Antonio Munoz, Andres Delgadillo *Probabilistic forecasting of hourly electricity prices in the medium-term using spatial interpolation techniques* // *International Journal of Forecasting*. Volume 32, Issue 3, 2016, Pages 966-980 doi:10.1016/j.ijforecast.2015.06.002.

Тептя Євгеній Андрійович – аспірант кафедри електричних станцій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: genyashkat@gmail.com;

Комар Вячеслав Олександрович – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kvo1976@ukr.net

Yevhenii A. Teptia – Postgraduate student of the Department of Electrical Power Plants and Systems, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: genyashkat@gmail.com;

Viacheslav O. Komar – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Plants and Systems, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvo1976@ukr.net