

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО ТОЧНІСТЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація: У роботі розглядаються фундаментальні 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, фотоелектричні станції, вітроустановки, прогнозування генерування, погодинний графік навантаження, ризик

Abstracts: The paper examines the fundamental theoretical principles of forecasting generation capacity and the 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, photovoltaic plants, wind turbines, generation forecasting, hourly load schedule, risk

Вступ

Сучасна електроенергетика зазнає глибоких трансформацій у зв'язку з масовою інтеграцією відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до традиційних систем виробництва та розподілу електроенергії. Зростання частки сонячної, вітрової, гідроенергії дозволяє отримати як екологічні, так і економічні переваги, проте водночас відкриває нові виклики у плані забезпечення стабільності та надійності роботи електромереж. Однією з основних проблем є високий ступінь невизначеності графіка генерованої потужності, що безпосередньо впливає на баланс попиту і пропозиції електроенергії та призводить до виникнення небалансу потужності.

Прогнозування навантаження в енергосистемі супроводжується ризиками, що виникають внаслідок невизначеності вхідної інформації. В мережах, що містять ВДЕ ці ризики зростають, адже більшість ВДЕ є умовно керованими й прогнозування 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].

Метою даної роботи є аналіз факторів, що впливають на точність прогнозу потужності генерованої 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

Від якості прогнозних моделей залежить не лише забезпечення стабільності роботи мережі, зниження експлуатаційних витрат, а також мінімізація ризиків аварійних ситуацій. У сучасних умовах, коли частка відновлюваних джерел енергії постійно зростає, традиційні методи прогнозування потребують адаптації для роботи з високоволативними та нелінійними процесами генерації.

Прогнозування потужності, що генерується відновлюваними джерелами енергії, має свої специфічні особливості, які відрізняють його від традиційного прогнозування потужності для теплових та атомних електростанцій. Основні особливості включають таке [2].

По-перше, висока волативність та сезонність погодних умов, а отже й параметрів джерел, що впливають на прогноз. Так для сонячної енергії генерація залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, кута падіння променів, хмарності та інших атмосферних умов. Навіть протягом одного дня можливі різкі коливання потужності. Крім того, сезонні зміни (літо-зима) значно впливають на рівень генерування. Генерування потужності вітрових електростанцій прямо залежить від швидкості та напрямку вітру. При певних умовах потужність може різко зростати, а при перевищенні порогових значень система може бути відключена для запобігання пошкодженням. Ці особливості вимагають застосування адаптивних моделей, які здатні оперативно реагувати на швидкі зміни вхідних даних.

По-друге, нелінійність залежностей та порогові ефекти. Взаємозв'язок між метеорологічними показниками та генерованою потужністю має нелінійний характер: наприклад, у випадку вітрової генерації існує так звана «крива потужності», яка демонструє, як потужність змінюється залежно від швидкості вітру. При низьких швидкостях потужність практично відсутня, з підвищенням швидкості потужність різко зростає, а при занадто високих швидкостях система може бути автоматично відключена. Аналогічно, сонячна генерація має порогові значення, коли навіть незначна зміна погодних умов може суттєво вплинути на результат. Для врахування таких нелінійних залежностей використовують моделі, що базуються на нейронних мережах або інших методах глибокого навчання [3].

Крім цього існують локальні та регіональні кліматичні особливості. Прогнозування ВДЕ повинно враховувати географічну специфіку: наприклад, сонячні електростанції в південних регіонах працюють за іншими сценаріями, ніж у північних, через різну тривалість світлового дня та інші кліматичні умови. А вітрова генерація залежить від місцевих географічних особливостей (рельєфу, близькості до моря, наявності гірських масивів), що впливає на стабільність і швидкість вітру. Таким чином, моделі прогнозування повинні бути адаптовані до конкретних регіональних умов, що часто вимагає використання локалізованих даних та розробки специфічних підмоделей для окремих зон.

Наступною особливістю є імовірнісне прогнозування та сценарний аналіз. Через високий рівень невизначеності у генерації ВДЕ доцільним є використання імовірнісних підходів, таких як імовірнісне прогнозування та сценарний аналіз [4]. Імовірнісне прогнозування дозволяє побудувати розподіл можливих варіантів генерації потужності, що дає змогу оцінити ризики відхилень. Сценарний аналіз допомагає моделювати кілька сценаріїв (оптимістичний, песимістичний, базовий) для прийняття оперативних рішень та розробки стратегій управління мережею.

І на останок, варто враховувати такий фактор як інтеграція прогнозів ВДЕ у процес керування розподільними мережами. Окрім точності прогнозу, важливою є інтеграція отриманих прогнозів у системи керування. Системи накопичення енергії (електрохімічні акумулятори, інші технології) дозволяють згладжувати пікові навантаження та компенсувати короточасні коливання. Адаптивне управління навантаженням дозволяє автоматично коригувати режими роботи мережі залежно від змін у генерації. А інтеграція зі SCADA-системами сприяє оперативному прийняттю рішень на основі актуальних прогнозних даних.

Висновки

Отже, особливості прогнозування ВДЕ вимагають використання спеціалізованих методів, які враховують високий рівень волатильності, 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. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: principles and practice*. 2018. URL: <https://otexts.com/fpp3/>
3. 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)
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;

Тептя Віра Володимирівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

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;

Vira V. Teptia – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Department of Electrical Power Plants and Systems, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com