

**Ярошенко Я.В.** аспірант кафедри електротехніки, гр. 141А-21-10

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

З огляду на природну стохастичність потужності генерації вітрових та сонячних електростанцій, а також імовірнісний характер аварійних збоїв елементів енергосистеми, виникає потреба в додаткових рішеннях для забезпечення її стабільного балансу. Одним із таких рішень є впровадження нових режимів диспетчеризації для агрегатів, що забезпечують резервування та накопичення електроенергії. У разі недостатності цих заходів може виникнути потреба в залученні додаткових, більш маневрених систем накопичення та резервної генерації, таких як великі мережеві накопичувачі.

Для ефективного використання великих мережевих накопичувачів виробники змушені інтегрувати необхідну кількість менших одиниць у єдину систему накопичення. У свою чергу, регіональний розподіл накопичувачів великої потужності визначається урахуванням технологічних особливостей побудови ОЕС. Забезпечення стабільності та надійності енергосистеми в умовах значної частки відновлюваних джерел енергії вимагає застосування сучасних математичних моделей для прогнозування та управління потужностями. Ці моделі дозволяють оцінювати варіативність потужності, враховуючи стохастичний характер генерації сонячних та вітрових електростанцій, а також вірогідність аварійних збоїв у мережі. Зокрема, використовуються методи ймовірнісного аналізу, моделювання сценаріїв, стохастичне програмування та алгоритми машинного навчання для передбачення змін у генерації і навантаженні.

Війна в Україні додатково загострила потребу у підвищенні надійності енергосистеми. Постійні атаки на критичну інфраструктуру призводять до значних втрат генераційних потужностей та аварійних відключень, що підкреслює необхідність у нових підходах до резервування. Математичні моделі адаптивного керування можуть стати ключовими в умовах непередбачуваних подій, коли традиційні методи прогнозування виявляються недостатніми. Енергетична стійкість у таких умовах може бути забезпечена за рахунок інтеграції швидкодіючих накопичувальних систем і розподілених генерацій, які зменшують залежність від централізованої інфраструктури та підвищують здатність енергосистеми протидіяти зовнішнім загрозам. Застосування математичних моделей з числовими параметрами дозволяє точніше оцінити ефективність роботи ОЕС України, особливо в умовах підвищених вимог до стійкості. Приклади таких моделей із конкретними числовими параметрами:

Стохастичне програмування: наприклад, для оптимізації вітрових і сонячних генерацій, де відхилення потужності може сягати до  $\pm 30\%$  від прогнозованого значення. Використання цієї моделі допомагає забезпечити підтримку резервів на рівні 15-20% від загальної потужності, необхідної для компенсації можливих відхилень.

Методи Монте-Карло: у сценаріях імітаційного моделювання аварійних ситуацій для ОЕС України використовують 1000-5000 ітерацій для розрахунку ймовірностей відмов основних елементів мережі, що дозволяє оцінити можливі втрати до 5-10% загальної потужності у разі значного збою.

Аналіз часових рядів і машинне навчання: моделі прогнозування генерації відновлюваних джерел, такі як рекурентні нейронні мережі, можуть досягати точності прогнозування в межах 85-90% на основі історичних даних. Наприклад, при прогнозуванні сонячної генерації в умовах змінної хмарності з похибкою до 10%, моделі дозволяють забезпечувати більш стабільне планування енергоресурсів.

Динамічне програмування: для акумуляторних систем, де оптимізація розрядки і зарядки повинна забезпечити, щоб 80-90% збереженої енергії використовувалося для пікових навантажень. В умовах змінного попиту в ОЕС України це дає змогу знизити необхідність у маневрових генераціях на 20-25% під час критичних періодів.

Економіко-математичні моделі оптимального розподілу потужностей: зокрема, для підвищення ефективності використовуються моделі з мінімізацією витрат, що дозволяють знижувати операційні витрати на виробництво електроенергії на 10-15%, розподіляючи навантаження між ТЕС та маневровими джерелами з урахуванням їх коефіцієнта ефективності (ККД) на рівні 35-40% для ТЕС і до 90% для накопичувальних систем.

Застосування цих моделей із числовими параметрами дає змогу ОЕС України забезпечити надійне та ефективне функціонування навіть у складних умовах, скорочуючи втрати потужності й підвищуючи стабільність електропостачання.

#### Список використаних джерел:

1. Перспективи розвитку технологій накопичення низькопотенційного тепла газових (повітряних) потоків / І. Л. Бошкова та ін. Refrigeration Engineering and Technology. 2024. Т. 60, № 2. URL: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i2.2898> (дата звернення: 09.11.2024).
2. Buratynskiy I.M., & Nechaieva T.P. (2020). Modeling of the combined operation of a solar photovoltaic power plant and a system of electric energy storage. System Research in Energy, (3 (62), 30-36. <https://doi.org/10.15407/pge2020.03.030>
3. Особливі режими електричних мереж: Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, А.К. Шидловський, Г.А. Кігель, А.Я. Рибалко, О.І. Хованська. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. -376 с
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та дальшу перспективу. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.mpe.energy.gov.ua>
5. Енергетична безпека України: аналіз головних подій. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://dixigroup.org/analytic/18514/>
6. Кармазін О.О. «Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики» дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук.
7. Денисов В. А. Визначення оптимальних режимів функціонування енергосистеми України при покритті добового графіка електричних навантажень, забезпеченні необхідних обсягів резервування та використанні накопичуючих потужностей / В. А. Денисов // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – № 4(63). – С. 33-44.