

УДК 681.518.54

Ярошенко Я.В., аспірант спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Науковий керівник: Ципленков Д. В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки¹, науковий співробітник відділу безпеки життєдіяльності, охорони праці та промислової безпеки лабораторії інженерно-технічних досліджень, експерт з дослідження технічної експлуатації електроустановок²

¹(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

²(Дніпропетровського науково-дослідного інституту судової експертизи)

АЛГОРИТМ РОБОТИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Розробка та обґрунтування алгоритму математичної моделі, можуть дозволити прогнозувати ймовірне виробництво та накопичення водню як резервного енергоносія. Особливий акцент необхідно робити на інтеграцію відновлюваних джерел енергії в систему накопичення електроенергії та врахувати виклики післявоєнного відновлення.

Алгоритм працює на основі декількох етапів: збір та обробка вхідних даних, приведення інформації до тої, що може оброблюватися потужностями джерела моделювання (розрахунок скоригованого навантаження, тощо), обрахування надлишкової потужності (перегенерації електроенергії), виробництво та накопичення водню, а також аналіз сценаріїв накопичення.

Кожен із етапів включає в себе різні підходи до вирішення поставлених задач. Наприклад, аналізуються історичні показники споживання та генерації електроенергії, включно з даними АЕС, ТЕС, ВДЕ, ГЕС та ГАЕС. Отримані дані проходять нормалізацію для подальшого використання в розрахунках. Визначається маневрова частина енергосистеми шляхом відокремлення базового навантаження АЕС за формулою:

$$L(t) = S(t) - A(t) \quad (1)$$

де $L(t)$ – скориговане навантаження; $S(t)$ – повне навантаження, $A(t)$ – навантаження від АЕС

В подальшому, в моделі відбувається виробництво водню під час процесу якого, згідно фізичному представленні, надлишкова енергія перетворюється у водень через електроліз, з урахуванням його коефіцієнта корисної дії та технологічних обмежень. Алгебраїчно це виглядає наступним чином:

$$H_{2,prod}(t) = \min \left\{ \frac{\Delta(t) \times 1000}{E_{H_2}}, H_{max} \right\} \quad (2)$$

де $H_{2,prod}(t)$ – кількість водню (у кг), що виробляється в момент часу t , $\Delta(t)$ – надлишкова електроенергія, доступна для електролізу (МВт), E_{H_2} – енергія, необхідна для виробництва 1 кг водню (МВт·год/кг), H_{max} – максимальна кількість водню, яку можна виробити з урахуванням потужності електролізерів. 1000 – коефіцієнт перерахунку, оскільки E_{H_2} зазвичай виражається в мегават-годинах на кілограм, а електроенергія доступна у мегаватах.

Далі, алгоритм займається розрахунком накопичення електроенергії в вигляді водню, за принципом, коли, – загальна кількість водню обчислюється методом

чисельного інтегрування шляхом сумування вироблених обсягів за певні часові інтервали. Формула розрахунку:

$$N(t) = \sum H_{2,prod}(t_i) \quad (3)$$

Під час аналізу різних сценаріїв накопичення, таких як: різна ємність накопичення, різна потужність, різна динаміка накопичення, використання накопиченої енергії, тощо, визначається час, необхідний для досягнення критичного рівня запасів водню, що забезпечує покриття пікових навантажень накопиченою енергією з ВДЕ. Аналіз охоплює часові періоди від 1-єї доби до календарного року.

В математичній моделі поєднані і доповнюють один одного такі методи моделювання, як:

- *Динамічне моделювання* – використовує погодинну дискретизацію для відстеження змін параметрів системи в часі.
- *Статичне моделювання* – застосовує сталі параметри (ККД, потужність електролізерів тощо) для спрощення розрахунків.
- *Стохастичне (сценарне) моделювання* – оцінює вплив сезонних змін і невизначеності зовнішніх факторів.
- *Оптимізаційні методи та чисельне інтегрування* – використовуються для пошуку найкращих режимів виробництва водню та його накопичення.

Отже, запропонований алгоритм прогнозування виробництва та накопичення водню дозволяє розглянути можливість і ймовірно інтегрувати надлишкову електроенергію з відновлюваних джерел у єдину енергосистему України для погашення пікових просадок в електричній мережі. Розроблена модель дозволить посприяти стабілізації енергетичного сектору, обґрунтуванню економічної доцільності водневих технологій та мінімізації екологічних ризиків. Отримані результати можуть бути використані для подальшої модернізації енергетичної інфраструктури країни в післявоєнному відновленні та інтеграції до європейських електричних мереж.

Перелік посилань:

1. Denysova, A.E., Nikulshin, V.R., Wysochin, V.V., Zhaivoron, O.S., & Solomentseva, Y.V. (2021). *Modelling the efficiency of power system with reserve capacity from variable renewable sources of energy*. *Вісник сучасних інформаційних технологій*, 4(4), 318-328. URL: <https://doi.org/10.15276/hait.04.2021.3.>,
2. Denisov V.A. Determination of optimal operating modes of the Ukrainian power system when covering the daily schedule of electrical loads, ensuring the necessary volumes of redundancy and using storage capacities. *The Problems of General Energy*. 2020. Vol. 2020, no. 4. P. 33–44. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2020.04.033>
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. Кармазін О.О. «Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики» дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук.
5. Mukelabai M. D., Barbour E. R., Blanchard R. E. Modeling and optimization of renewable hydrogen systems: A systematic methodological review and machine learning integration. *Energy and AI*. 2024. P. 100455. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100455>