

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ СТРАТЕГІЇ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено розвиток водневих технологій в Україні та їх потенціал у сучасній енергетиці. Запропоновано модель інтегрованої воднево-електричної енергетичної системи для балансування енергопостачання. Представлена математична модель для оптимальної економічної роботи акумуляторів, розглянуті переваги та недоліки накопичувачів енергії. Результати підкреслюють необхідність спільних зусиль уряду, наукових установ, бізнесу та громадськості для розвитку водневої індустрії в Україні.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, водневі технології, електролізер, зелений водень.

Abstract

This paper examines the development of hydrogen technologies in Ukraine and their potential in modern energy. A model of an integrated hydrogen-electric energy system for balancing energy supply is proposed. A mathematical model for the optimal economic operation of batteries is presented, the advantages and disadvantages of energy storage are considered. The results emphasize the need for joint efforts of the government, scientific institutions, business and the public for the development of the hydrogen industry in Ukraine.

Key words: renewable energy sources, hydrogen technologies, electrolyzer, green hydrogen.

Вступ

Ключове місце водню у подальшому розвитку та у енергетичному переході обумовлене наступними факторами[1]:

– Водень є універсальним джерелом енергії, яке може бути використане для отримання електричної та теплової енергії в різних галузях економіки, а також прямо в транспортних засобах та як базис для виробництва добрив і синтетичного палива.

– Водень може бути застосований в системах зберігання енергії, що дозволяє забезпечити гнучкість енергосистеми та балансування попиту та пропозиції, особливо при значному розповсюдженні відновлюваних джерел енергії. Це стає важливою складовою енергетичного переходу.

– Водень є важливим засобом передачі енергії з регіонів з доступними джерелами відновлюваної енергії до центрів споживання. Його можна транспортувати трубопроводами, що дозволяє обходитися дешевше, ніж передача еквівалентного обсягу електроенергії електричними мережами.

– Водень вже використовується як сировина в різних хімічних та промислових процесах, наприклад, для виробництва аміаку, або як замітник вугільного коксу при виробництві сталі. Це один із шляхів декарбонізації виробничих процесів в промисловості.

– Виробництво водню може використовувати внутрішні ресурси, що сприяє енергетичній незалежності.

– Ці аспекти водню демонструють його великий потенціал як екологічно чистого та універсального джерела енергії.

– Однак, широке використання водню для глобальної трансформації енергетики зіткнулося з кількома серйозними викликами.

– На даний момент, водень майже повністю отримується з природного газу та вугілля, що призводить до додаткових викидів вуглекислого газу. Для забезпечення сталого розвитку необхідно збільшити частку виробництва водню з використанням зеленої електроенергії.

– Виробництво водню з джерел з низьким вмістом вуглецю наразі є дорогим процесом. Проте, згідно з аналізом міжнародних експертів, передбачається, що вартість виробництва водню з використанням відновлюваної електроенергії (чистого або зеленого водню) може значно знизитися до 2030 року. Це станеться внаслідок зменшення витрат на відновлювані джерела енергії та масового виробництва водню.

Мета роботи є дослідження розвитку водневих технологій в Україні.

Результати досліджень

Для вирішення проблем балансування, запропонована модель інтегрованої воднево-електричної енергетичної системи з урахуванням розподілу енергії між різними агрегаторами.

Звичайна модель накопичення електроенергії наведена в літературі [2]. Цільова функція – максимізувати загальний прибуток використання накопичувачів за допомогою надання послуг по балансуванню потужності.

Представлена математична модель, що може визначити оптимальну економічну роботу акумулятора з урахуванням фізичних обмежень:

$$\sum_t \sum_i (P_{i,t}^{BAT,dis} \cdot \lambda^{gs} \cdot \Delta t - P_{i,t}^{BAT,cha} \cdot \lambda^{gb} \cdot \Delta t) - \sum_t \sum_i C_{i,t}^{BAT,aging} (P_{i,t}^{BAT,cha}, P_{i,t}^{BAT,dis}) \quad (1)$$

де $P_{i,t}^{BAT,cha}$ – зарядна потужність батареї; λ^{gb} – закупівельна ціна електроенергії; Δt – досліджуваний проміжок часу; $P_{i,t}^{BAT,dis}$ – розрядна потужність батареї; λ^{gs} – ціна продажу електроенергії; $C_{i,t}^{BAT,aging}$ – функція витрат пов'язаних з врахуванням старіння батареї;

$$\mathbf{A}^T \mathbf{S} - \mathbf{P}^C + \mathbf{P}^D + \mathbf{r} - \mathbf{d} = 0, \quad (2)$$

де \mathbf{A}^T – перша матриця інцидентії вузлів та віток; \mathbf{S} – вектор потужностей; \mathbf{P}^C – потужність зарядки батареї; \mathbf{P}^D – потужність розрядки батареї, \mathbf{r} – потужність яку генерують ВДЕ; \mathbf{d} – потужність навантаження (споживачі);

$$S_{ij} - \gamma_{ij} (\theta_i - \theta_j) = 0, \quad (3)$$

де γ_{ij} – провідність віток; θ_i та θ_j – кути напруг в i -тому та j -тому вузлах; надалі P – електроенергія на інтервалі часу 1 год.

$$E_{i,r+1}^{BAT} = E_{i,t}^{BAT} + \Delta t \cdot P_{i,t}^{BAT,cha} \cdot \eta^C - \Delta t \cdot P_{i,t}^{BAT,dis} / \eta^D, \quad (4)$$

де $E_{i,t}^{BAT}$ – обсяг накопиченої електроенергії;

$$E_i^{BAT,MAX} \cdot \underline{SOC} \leq E_{i,t}^{BAT} \leq E_i^{BAT,MAX} \cdot \overline{SOC}, \quad (5)$$

де $E_{i,t}^{BAT,MAX}$ – потужність батареї; обсяг накопиченої електроенергії; SOC (state of the charge) – стан заряду батареї; $\overline{(\bullet)}$ та $\underline{(\bullet)}$ – верхня та нижня межа;

$$-\bar{\mathbf{S}} \leq \mathbf{S} \leq \bar{\mathbf{S}}, \quad (6)$$

$$0 \leq \mathbf{P}^D \leq \overline{\mathbf{P}^D}, \quad (7)$$

$$0 \leq \mathbf{P}^C \leq \overline{\mathbf{P}^C}. \quad (8)$$

Запропонована математична модель, яка характеризує роботу накопичувача в мережі, описує задачу пошуку максимуму прибутку для власника накопичувача, для цього він може продавати електроенергію, коли ринкова ціна є найвищою і купувати електроенергію, коли ринкова ціна низька. Однак, існує проблема нерівномірності генерування ВДЕ, та складності в компенсуванні небалансів викликаних місцевими коливаннями потужності і напруги. Отже, необхідно зменшити ризик виникнення перерв в електропостачанні [3]. У світовій практиці для класичної диспетчерської моделі керування накопиченням енергії прибуток системи накопичення електроенергії в значній мірі залежить від ціни, і торгівля відбувається лише між накопичувачем енергії та мережею, наприклад, комунальних послуг. Відомим є підхід при якому застосовується енергоспоживання, що означає спільне використання енергоресурсів споживачами. Таким чином, джерела доходу власників систем накопичування диверсифіковані.

Висновки

Водень має великий потенціал у розвитку сучасної енергетики як екологічно чисте та відновлювальне джерело енергії. Використання водню допомагає знизити використання вуглеводнів, викиди вуглекислого газу та поліпшує якість довкілля. Застосування водню в паливних елементах та транспорті може забезпечити енергетичну незалежність та створити нові можливості для розвитку стійкої енергетичної системи. Україна активно працює над розвитком водневих технологій та створенням необхідної інфраструктури для використання водню як екологічно чистого джерела енергії. Розвиток водневої індустрії вимагатиме інтегрованого підходу та спільних зусиль уряду, наукових установ, бізнесу та громадськості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воднева стратегія України: проєкт / інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2021.-91с
2. Yıldız, B., & Karaosmanoğlu, F. (2016). Hydrogen production technologies: Current state and future developments. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(46), 21287-21311. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.08.115
3. Lee, K. W., & Yoon, Y. S. (2016). Current status and future perspectives of hydrogen production technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(35), 15185-15201. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.06.152

Рубаненко Олександр Євгенійович — канд. техн. наук, професор кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rubanenkoa@ukr.net

Гунько Ірина Олександрівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, email : iryna_hunko@ukr.net

Горбань Вадим Сергійович — студент гр. 1EE-19 б Факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, horban.vadym1ee19b@gmail.com

Мельник Олександр Леонідович — студент гр. 1EE-19 б Факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, sasha.m20020914@gmail.com

Rubanenko Oleksandr Yevheniiovich - Candidate of Philology tech. Sciences, Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: rubanenkoa@ukr.net

Gunko Iryna Oleksandrivna - Candidate of Philology tech. Sciences, Senior Lecturer, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, email: iryna_hunko@ukr.net

Horban Vadym Serhiyovych - student of gr. 1 EE 19 b Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, horban.vadym1ee19b@gmail.com

Melnyk Oleksandr Leonidovych- student of gr. 1 EE 19 b Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, sasha.m20020914@gmail.com