

О.О. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО, В.В. ГАСИЧ, Д.О. ГРЕСЬКОВ

Вінницький національний технічний університет

В.А. ПРЯДКО

Поліський національний університет

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В наш час спостерігається збільшення встановленої потужності сонячної (переважно) і вітрової енергетики, яка вимагає залучення додаткових балансуючих резервів та потребує вдосконалення існуючих та розробки нових способів балансування. Якщо на кінець 2018 р. сумарна потужність СЕС і ВЕС становила 1.7 ГВт (без урахування окупованих територій), то на кінець 2020 року вона зросла до 8 ГВт (з урахуванням СЕС домогосподарств). Таким чином, позначилося одночасний вплив двох підсилюючих один одного факторів – зниження доступних обсягів регулювання на ТЕС і збільшення потреби маневреного генерування через підвищення нерівномірності добового графіка споживання і зростання обсягів стохастичного генерування з ВДЕ, а саме станцій негарантованої потужності – СЕС і ВЕС. У підсумку, це створило проблему дефіциту маневреного генерування і призвело до необхідності будівництва нових високоманеврових потужностей, наприклад з використанням водневих технологій. Тому у статті проаналізовано проблеми електроенергетики, які можна вирішити шляхом використання водневих технологій. Досліджено передумови виникнення цих проблем та запропоновано шляхи їх подолання. Багато розвинутих країн світу, таких США, Китай мають позитивний досвід використання водневих технологій як джерела електроенергії. В Україні прийнята Дорожня карта розвитку водневої енергетики на період до 2035 року щодо забезпечення використання водню у якості екологічно чистого енергоносія. Тому в статті детально розглянуто способи отримання водневого палива. Різноманітність способів отримання водню є одним з головних переваг водневої енергетики, так як підвищує енергетичну безпеку і знижує залежність від окремих видів сировини. До них відносяться парова конверсія метану і природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окислення, біотехнології. В статті запропоновано принципову схему комбінованої енергоустановки невеликої потужності, що містить батарею паливних елементів, вітрогенератор, електролізер, ресивер. Така установка може бути використана в якості автономного джерела енергопостачання.

Ключові слова: водневі технології, негарантовані джерела енергії, маневрене генерування.

OLENA RUBANENKO, IRYNA HUNKO,
VLADYSLAV HASYCH, DMYTRO HRESKOV
Vinnytsia National Technical University
VOLODYMYR PRIADKO
Polisky National University

ANALYSIS OF THE USE OF PROJECT MANAGEMENT TOOLS BY UKRAINIAN COMPANIES

Nowadays, there is an increase in the installed capacity of solar (mainly) and wind energy, which requires additional balancing reserves and requires the improvement of existing and development of new balancing methods. If at the end of 2018 the total capacity of PV and WPP was 1.7 GW (excluding the occupied territories), then at the end of 2020 it increased to 8 GW (including PV of households).

Thus, the simultaneous influence of two reinforcing factors affected - a decrease in available control volumes at TPPs and an increase in the need for shunting generation due to increasing uneven daily consumption schedule and increasing volumes of stochastic generation from RES, namely unsecured power stations - PV and WPP. As a result, this created a problem of shortage of shunting generation and led to the need to build new high-shunting capacity, such as using hydrogen technology. Therefore, the article analyzes the problems of electricity that can be solved through the use of hydrogen technologies. The preconditions of occurrence of these problems are investigated and the ways of their overcoming are offered. Many developed countries, such as the United States and China, have a positive experience of using hydrogen technology as a source of electricity.

Ukraine has adopted a Roadmap for the development of hydrogen energy for the period up to 2035 to ensure the use of hydrogen as an environmentally friendly energy source. Therefore, the article discusses in detail the methods of obtaining hydrogen fuel. The variety of methods for producing hydrogen is one of the main advantages of hydrogen energy, as it increases energy security and reduces dependence on certain types of raw materials. These include: steam conversion of methane and natural gas, coal gasification, water electrolysis, pyrolysis, partial oxidation, biotechnology. The article proposes a schematic diagram of a combined power plant of low power, containing a battery of fuel cells, wind turbine, cell, receiver. This installation can be used as an autonomous power source.

Keywords: hydrogen technologies; non-guaranteed energy sources, shunting generation.

Вступ

В [1] зазначено, що українська енергосистема проектувалася і будувалася як складова частина єдиної енергосистеми колишнього СРСР і була орієнтована на забезпечення надійного електропостачання переважно промисловості, яка споживала основну частину електроенергії [2]. Електропостачання забезпечувалося великими вузловими електростанціями (в основному ТЕС і АЕС) і повітряними ЛЕП високого класу напруги (до 750 кВ). З тих пір характеристики традиційного генерування, а також топологія мережі істотних змін не зазнали, однак значно змінилися потреби об'єднаної енергосистеми України. В [1] зазначено основні зміни до яких можна віднести зменшення обсягу споживання електроенергії (у порівнянні з 1990 р. – майже вдвічі, з 227 до 119 млрд кВт·год, а також. Як наслідок, значно знизилася частка напівпиковій теплової генерації (з 71% у 1990 році до 35% в 2020 р.), яка давала енергосистемі основну гнучкість. У той же час зросла частка атомної генерації, яка працює в базовому режимі (з 25% до 51%).

Змінилася структура споживання електроенергії. Зокрема, зменшилося споживання промисловістю, яка має стабільний графік навантаження: з 146 млрд кВт·год (64%) до 49 млрд кВт·год (42%). При цьому значно зріс попит на електроенергію населенням, профіль споживання якого характеризується значною добовою нерівномірністю і чутливістю до дії метеорологічних факторів: з 21 млрд кВт·год (9%) до 37 млрд кВт·год (31%). Стрімко збільшилася встановлена потужність сонячної (переважно) і вітрової енергетики [3–6], яка вимагає залучення додаткових балансуючих резервів. Якщо на кінець 2018 р сумарна потужність СЕС і ВЕС становила 1.7 ГВт (без урахування окупованих територій), то на кінець 2020 року вона зросла до 8 ГВт (з урахуванням СЕС домогосподарств).

Таким чином, позначилося одночасний вплив двох підсилюючих один одного факторів - зниження доступних обсягів регулювання на ТЕС і збільшення потреби в маневреній генерації через підвищення нерівномірності добового графіка споживання і зростання змінної генерації з ВДЕ, а саме станцій негарантованої потужності – СЕС і ВЕС [4, 7]. У підсумку, це створило проблему дефіциту маневреного генерування і призвело до необхідності будівництва нових високоманеврових потужностей. Тому метою роботи є дослідження можливості використання водневих технологій для компенсації нестабільності генерування негарантованими джерелами енергії.

1. Використання водневих технологій для компенсаційної нестабільності негарантованих електростанцій

Багато розвинутих країн світу, таких США, Китай почали активно використовувати водень як джерело електроенергії [8]. Водневі технології ефективно використовують не тільки в електроенергетиці, а й в транспорті та для теплоенергетики [9]. Багато досліджень присвячено розробкам установок та технологій отримання та зберігання водню [10–12] та особливостей їх інтегрування в ЕЕС з ВДЕ [4, 13, 14]. Зокрема в [15] зазначено, основні передумови використання водневих технологій, що в перспективі може допомогти розв'язати проблеми електроенергетичної галузі в цілому (рис. 1).

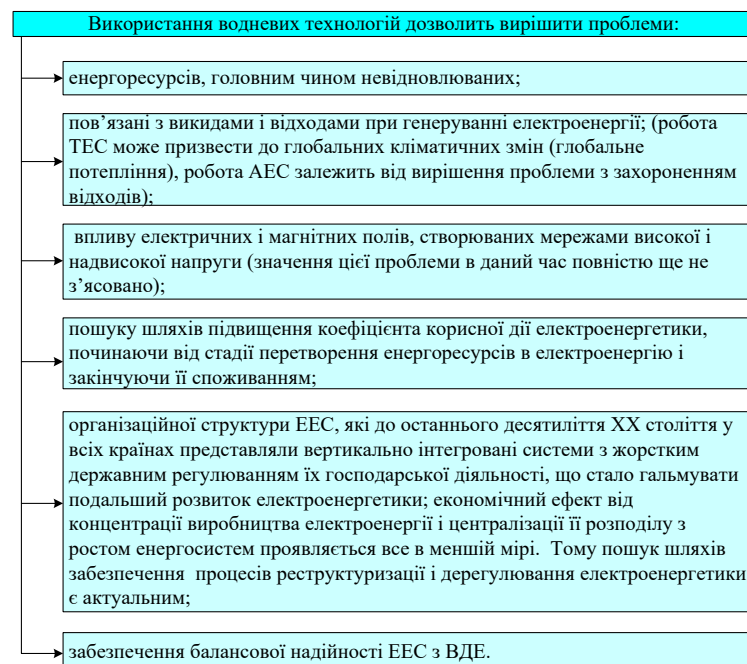


Рис. 1. Проблеми електроенергетики які можна вирішити шляхом використання водневих технологій [15]

До вирішення цих проблем є багато підходів. В першу чергу це розвиток ВДЕ, таких як вітро-, сонячна - і гідроенергетика, а також атомної енергетики. Однак оскільки ці джерела повинні бути прив'язані до конкретної місцевості і розосереджені на цих територіях, то вони не дозволяють вирішити завдання забезпечення електроенергією великі промислові підприємства і електротранспорт. Воднева енергетика також відповідає світовим тенденціям автономного і локального енергоспоживання. Використання водневих установок більш екологічне хоча б тому, що дозволяють генерувати стільки електроенергії, скільки необхідно споживачеві, і використовувати її з меншими втратами електроенергії, ніж при електропостачанні від центру живлення. Розподілені джерела енергії (РДЕ) є дуже зручні для віддалених регіонів, куди важко прокласти ЛЕП, і для дачних і віддалених селищ, що характерно для України. Зараз в такі райони завозять паливо або спалюють дерево для обігріву і використовують дизель-генератор для отримання електроенергії. І те, і інше є малоефективним. Так як використання водневих технологій дасть можливість вирішити ці проблеми, тому розглянемо способи отримання водню. В Україні прийнята Дорожня карта розвитку водневої енергетики на період до 2035 року щодо забезпечення використання водню у якості екологічно чистого енергоносія [16].

Також цікавим є підхід запропонований в працях [17–19], який полягає у використанні суміші

Брауна (Brown's gas (HNO gas)), яка є більш ефективною з точки зору теплоутворення.

Отримання водню

Водень не зустрічається в природі в чистій формі і повинен вилучатись з інших з'єднань за допомогою різних хімічних методів. Різноманітність способів отримання водню є одним з головних переваг водневої енергетики, так як підвищує енергетичну безпеку і знижує залежність від окремих видів сировини. До них відносяться: парова конверсія метану і природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окислення, біотехнології. Всі методи отримання водню можна розділити на лабораторні та промислові.

У лабораторних умовах в даний час застосовується:

- взаємодія активних металів з кислотами – неокислювачами:

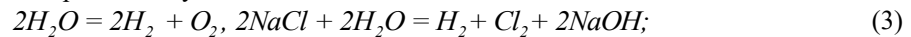


- взаємодія алюмінію (або цинку) з водними розчинами лугів:



У промисловості:

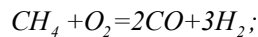
- електроліз води і водних розчинів лугів і солей:



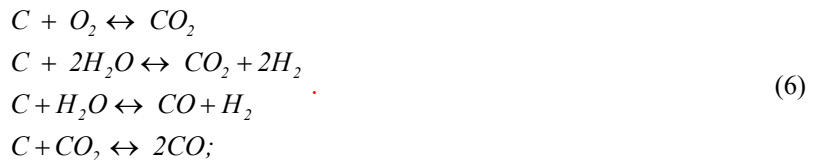
- пропускання парів води над розпеченим вугіллям при 1000 °C:



- парова і парокиснева конверсія метану:



- газифікація вугілля:



- використання ядерної енергетики;

- використання альтернативних джерел енергії.

З розвитком виробництва водню в великих масштабах зазнали зміни методи його отримання. Так, залізо-паровий процес, газифікація твердого палива і виділення водню з коксового газу поступилися місцем більш економічним новим способам, однак старі методи і в даний час продовжують ще застосовуватися в промисловості в невеликих масштабах. Сьогодні технології великомасштабного виробництва і переробки водню є добре освоєними (рис. 2).

Однак чисте широке використання водню стикається з такими складнощами:

1. Виробництво водню з використанням низьковуглецевої електроенергії на даний момент є дорогим. Дослідження, проведені International Energy Agency (IEA) виявили, що вартість виробництва водню з ВДЕ може знизитися на 30% до 2030 року в результаті зменшення витрат на ВДЕ та збільшення виробництва водню. Паливні елементи, обладнання для заправних станцій та електролізери (які виробляють водень з електрики та води) мають перспективу. Розвиток водневої інфраструктури відбувається повільно. Ціни на водень для споживачів сильно залежать від того, скільки є заправних станцій, як часто вони використовуються та скільки водню поставляється на день. Вирішити цю задачу можна за допомогою планування та координація, що об'єднає національні та місцеві органи влади, промисловість та інвесторів.

2. Водень майже повністю постачається із природного газу та вугілля. Водень вже використовується у промислових масштабах у всьому світі, але його виробництво пов'язане з викидами CO₂. Тому потрібно переорієнтувати виробництво водню за допомогою ВДЕ.

3. Нормативні акти обмежують розвиток чистої водневої енергетики. Уряд та промисловість повинні працювати разом, щоб діючі нормативні акти не були непотрібною перешкодою для інвестицій.

Шляхи збільшення обсягів виробництва водню:

1. Концентрація виробництва в районі великих портів, які й будуть основними центрами споживання і виробництва водню. Сьогодні більша частина виробництва нафтопереробних та хімічних речовин, що використовує водень на основі викопного палива, вже зосереджена в прибережних промислових зонах по всьому світу, таких як Північне море в Європі, узбережжя Перської затоки в Північній Америці та південний схід в Китаї. Політика заохочення цих заводів перейти на більш чисте виробництво водню призведе до зниження загальних витрат. Ці великі джерела постачання водню можуть також заправляти судна та вантажівки, що обслуговують порти, та жити інші сусідні промислові об'єкти, такі як металургійні заводи. Застосування чистого водню для заміщення лише 5% від обсягу поставок природного газу суттєво збільшить попит на водень. Це можна реалізувати шляхом розбудови на базі

існуючої газової інфраструктури, яка складає вже має мільйони кілометрів газопроводів.

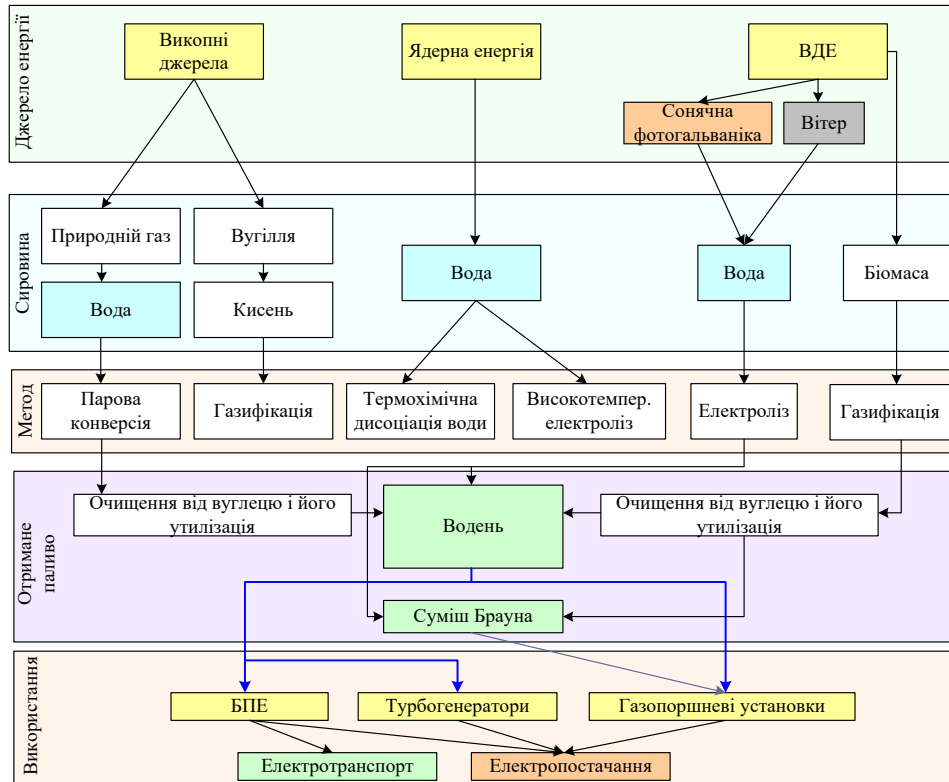


Рис. 2. Методи отримання водню та суміші Брауна та галузі їх застосування [20]

2. Використання водню у транспорті. Потужність автомобілів, вантажівок та автобусів для перевезення пасажирів та вантажів може зробити транспортні засоби на паливних елементах більш конкурентоспроможними.

3. Міжнародна торгівля воднем. Якщо уряди працюють над координуваним збільшенням масштабу водню, це може сприяти стимулюванню інвестицій у заводи та інфраструктуру, що зменшить витрати та дасть змогу обмінюватися знаннями та найкращими практиками.

Водень в залежності від технології отримання класифікують на «зелений водень» виробляється за допомогою електроенергії з ВДЕ, що мають нестабільний характер генерування; «Сірий водень», це водень отриманий з метану з відповідними викидами CO_2 ; «Блакитний водень» це сірий водень, але з використанням вугілля (зазвичай ефективність 50–70%). «Жовтий водень» використовує ядерну електроенергію для електролізу. «Бірюзовий водень» отримують з метану піролізом розплавленого металу з побічним продуктом у вигляді вуглецю. Укрупнена схема використання водню для генерування тепла та електроенергії та компенсації впливу нестабільності генерування ВДЕ представлена на рис. 3.

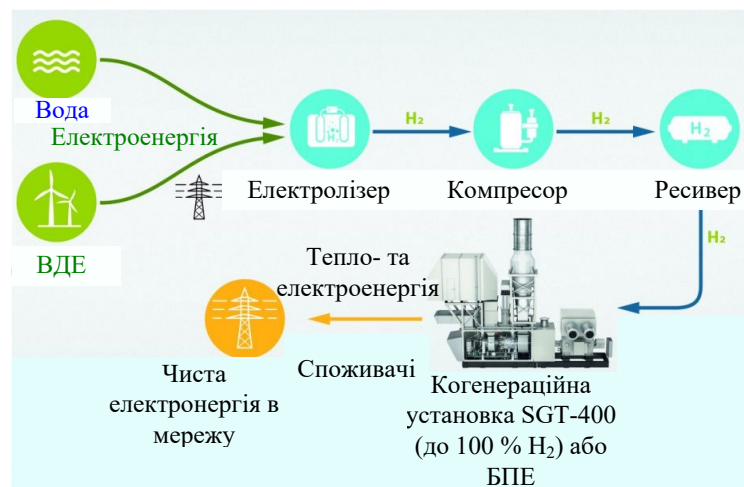


Рис. 3. Блок-схема використання водню для тепло- та електропостачання (БПЕ – батарея паливних елементів)

Принципова схема комбінованої енергоустановки невеликої потужності, може містити батарею паливних елементів (БПЕ) або турбогенератор, вітрогенератор, електролізер, ресивер. Така установка могла

б, наприклад, використовувати в якості автономного джерела енергопостачання так і комбіновано з центром живлення.

Висновки

Використання водневих технологій є перспективним напрямком компенсації нестабільності негарантованих джерел енергії в електроенергетичних системах. Стримуючим фактором до системного їх інтегрування є досить висока вартість, потреба значних капітальних вкладень, що робить їх менш доступними в порівнянні з хімічними накопичувачами. Прогнозуються світові тенденції зменшення вартості водню, як палива, що пришвидшить здешевлення згенерованої за допомогою водневих установок електроенергії, тому даний напрямок потребує більш детальних досліджень.

Література

1. О. БУСЛАВЕЦ, "Синхронизация с ENTSO-E не решит проблемы дефицита маневренной мощности," *"Энергобизнес"* vol. 15, no. 1208, p. 5, 2021.
2. P. Lezhniuk, "Selfoptimization local electric systems modes with renewable energy sources," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 1, pp. 29-33, 06/05 2019.
3. Рубаненко О. О., Янович В. П., and Г. І. О., "Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності.," *Вісник Хмельницького національного університету.*, vol. 5, pp. 176-179, 2019.
4. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylchenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020, pp. 472-477.
5. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchansky, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 190-194.
6. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko, and A. Rassõlkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," in *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2019, pp. 1-5.
7. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 2020, pp. 128-133.
8. J. Ren, S. Gao, H. Liang, S. Tan, and L. Dong, "Chapter 1 - The Role of Hydrogen Energy: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats," in *Hydrogen Economy*, A. Scipioni, A. Manzardo, and J. Ren, Eds.: Academic Press, 2017, pp. 1-33.
9. K. Volkart, M. Densing, R. De Miglio, T. Priem, S. Pye, and B. Cox, "Chapter 23 - The Role of Fuel Cells and Hydrogen in Stationary Applications," in *Europe's Energy Transition*, M. Welsch et al., Eds.: Academic Press, 2017, pp. 189-205.
10. C. Mittelsteadt, T. Norman, M. Rich, and J. Willey, "Chapter 11 - PEM Electrolyzers and PEM Regenerative Fuel Cells Industrial View," in *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*, P. T. Moseley and J. Garche, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 159-181.
11. J. O. Abe, A. P. I. Popoola, E. Ajenifuja, and O. M. Popoola, "Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 29, pp. 15072-15086, 2019/06/07/ 2019.
12. E. Varkaraki, N. Lymberopoulos, E. Zoulias, D. Guichardot, and G. Poli, "Hydrogen-based uninterruptible power supply," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, pp. 1589-1596, 07/01 2007.
13. A. Ursúa, P. Sanchis, and L. Marroyo, "Chapter 14 - Electric Conditioning and Efficiency of Hydrogen Production Systems and Their Integration with Renewable Energies," in *Renewable Hydrogen Technologies*, L. M. Gandía, G. Arzamendi, and P. M. Diéguez, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 333-360.
14. C. D. Demirhan, W. W. Tso, J. B. Powell, C. F. Heuberger, and E. N. Pistikopoulos, "A Multiscale Energy Systems Engineering Approach for Renewable Power Generation and Storage Optimization," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 16, pp. 7706-7721, 2020/04/22 2020.
15. P. В. Радченко, А. С. Мокрушин, and В. В. Тюльпа, *Водород в энергетике*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014, p. 229.
16. S. Kudria, O. Riepin, L. Yatsenko, L. Shynkarenko, and M. Tkalenko, "КОНЦЕПЦІЯ ДОРОЖНЬОЇ КАРТИ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 РОКУ," *Vidnovlyvana energetika*, pp. 22-28, 12/26 2019.
17. M. Ozcanli, M. A. Akar, A. Calik, and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 36, pp. 23366-23372, 2017/09/07/ 2017.
18. S. e. A. Musmar and A. A. Al-Rousan, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines," *Fuel*, vol. 90, no. 10, pp. 3066-3070, 2011/10/01/ 2011.
19. V. Mamilla, K. Murthy, M. Krishna, T. S. S. S. ManikanthaSwamy, A. Ramesh, and M. Krishna, "Production of Brown's Gas using Hydroxy Generator," *International Journal of Engineering and*

Technology(UAE), vol. 7, pp. 428-457, 09/22 2018.

20. (2021). *Водородная энергетика: методы получения водорода и экономические оценки*. Available: <https://goldvoice.club/@boltyn/vodorodnaya-energetika-metody-polucheniya-i-ekonomicheskie-ocenki/>

References

1. O. BUSLAVETS, "Synkhronyzatsiya s ENTSO-E ne reshyt problemy defytsyta manevrennoi moshchnosti," "Enerhobiznes" vol. 15, no. 1208, p. 5, 2021.
2. P. Lezhniuk, "Selfoptimization local electric systems modes with renewable energy sources," PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, vol. 1, pp. 29-33, 06/05 2019.
3. Rubanenko O. O., Yanovych V. P., and H. I. O., "Analiz roboty VDE v rozpodilnykh mrezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti" Herald of Khmelnytskyi National University, vol. 5, pp. 176-179, 2019.
4. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylchenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2020, pp. 472-477.
5. S. L. Gundebommu, I. Hunko, O. Rubanenko, and V. Kuchansky, "Assessment of the Power Quality in Electric Networks with Wind Power Plants," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 190-194.
6. O. Rubanenko, I. Hunko, O. Rubanenko, and A. Rassolkin, "Influence of Solar Power Plants on 0.4 kV Consumers," in 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2019, pp. 1-5.
7. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128-133.
8. J. Ren, S. Gao, H. Liang, S. Tan, and L. Dong, "Chapter 1 - The Role of Hydrogen Energy: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats," in Hydrogen Economy, A. Scipioni, A. Manzardo, and J. Ren, Eds.: Academic Press, 2017, pp. 1-33.
9. K. Volkart, M. Densing, R. De Miglio, T. Priem, S. Pye, and B. Cox, "Chapter 23 - The Role of Fuel Cells and Hydrogen in Stationary Applications," in Europe's Energy Transition, M. Welsch et al., Eds.: Academic Press, 2017, pp. 189-205.
10. C. Mittelsteadt, T. Norman, M. Rich, and J. Willey, "Chapter 11 - PEM Electrolyzers and PEM Regenerative Fuel Cells Industrial View," in Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, P. T. Moseley and J. Garche, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 159-181.
11. J. O. Abe, A. P. I. Popoola, E. Ajenifuja, and O. M. Popoola, "Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 44, no. 29, pp. 15072-15086, 2019/06/07/ 2019.
12. E. Varkarakis, N. Lymberopoulos, E. Zoulias, D. Guichardot, and G. Poli, "Hydrogen-based uninterruptible power supply," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 32, pp. 1589-1596, 07/01 2007.
13. A. Ursua, P. Sanchis, and L. Marroyo, "Chapter 14 - Electric Conditioning and Efficiency of Hydrogen Production Systems and Their Integration with Renewable Energies," in Renewable Hydrogen Technologies, L. M. Gandía, G. Arzamendi, and P. M. Diéguez, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 333-360.
14. C. D. Demirhan, W. W. Tso, J. B. Powell, C. F. Heuberger, and E. N. Pistikopoulos, "A Multiscale Energy Systems Engineering Approach for Renewable Power Generation and Storage Optimization," Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 59, no. 16, pp. 7706-7721, 2020/04/22 2020.
15. R. V. Radchenko, A. S. Mokrushyn, and V. V. Tiulpa, *Vodorod v enerhetyke*. Ekaterynburh: Yzd-vo Ural. un-ta, 2014, p. 229.
16. S. Kudria, O. Riepin, L. Yatsenko, L. Shynkarenko, and M. Tkalenko, "KONTSEPTsIA DOROZHNOI KARTY ROZVYTKU VODNEVOI ENERHETYKY UKRAINY NA PERIOD DO 2035 ROKU," Vidnovluvana energetika, pp. 22-28, 12/26 2019.
17. M. Ozcanli, M. A. Akar, A. Calik, and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 42, no. 36, pp. 23366-23372, 2017/09/07/ 2017.
18. S. e. A. Musmar and A. A. Al-Rousan, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines," Fuel, vol. 90, no. 10, pp. 3066-3070, 2011/10/01/ 2011.
19. V. Mamilla, K. Murthy, M. Krishna, T. S. S. S. ManikantaSwamy, A. Ramesh, and M. Krishna, "Production of Browns Gas using Hydroxy Generator," International Journal of Engineering and Technology(UAE), vol. 7, pp. 428-457, 09/22 2018.
20. (2021). *Vodorodnaia enerhetyka: metody polucheniya vodoroda y ekonomicheskiye otsenky*. Available: <https://goldvoice.club/@boltyn/vodorodnaya-energetika-metody-polucheniya-i-ekonomicheskie-ocenki/>

РУБАНЕНКО О.О.
ГУНЬКО І.О.
ПРЯДКО В.А.
ГАСИЧ В.В.
ГРЕСЬКОВ Д.О.

ORCID ID¹: 0000-0002-2660-182X iryna_hunko@ukr.net

Надійшла/Paper received : 23.03.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.