DOI 10.31891/2307-5732-2022-315-6-282-286
УДК 621.311.4.031

БОЙКО Сергій
Національний університет Запоріжська політехніка
e-mail: boiko_s_n@ukr.net
КОТОВ Олексій
Національний університет Запоріжська політехніка
https://orcid.org/0000-0003-2856-1072
e-mail: kab2611@ukr.net
ВИШНЕВСЬКИЙ Святослав
Вінницький національний технічний університет
e-mail: svyato.vish.ua@gmail.com
МЕЛЬНИК Ольга
e-mail: bsn1987@i.ua
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського
ПОДГОРНИХ Надія
Кременчуцький льотний коледж Харківського університету внутрішніх справ

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕНННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ПІДПРИЄМСТВ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ

Технології водневої енергетики, такі як водневе акумулювання енергії поновлюваних джерел електричної енергії, шляхом накопичення водню як акумулятора для автономної і розподіленої генерації та заправок для водневого транспорту, активно впроваджуються в транспортну галузь розвинутих країн. Транспортна галузь України нерозривно поєднана з енергетикою та має свої особливості. Світовий досвід показує, що впровадження новітніх технологій у транспортній галузі безумовно дає ряд однозначних бонусів для подальшого стабільного розвитку. Між тим, об'єкти транспортної галузі України мають значні території, що технологічно не задіяні у сільськогосподарській галузі та не можуть бути використані для розвитку культурної та соціальної сфери. У свою чергу об'єкти транспортної галузі України складають її транспортну інфраструктуру та розташовані на всій території України. На сьогоднішній день, воднева енергетика включає сукупність технологій виробництва, транспортування, акумулювання і використання універсального вторинного енергоносія - водню. Так, у концепції водневої енергетики водень доповнює собою найважливіший вторинний енергоносій - електроенергію, енергетичне використання водню визначається можливістю екологічно чистого отримання електроенергії і тривалого зберігання з мінімізацією втрат, в тому числі у великих об'ємах. Розвиток відновлюваної енергетики, що отримує енергію від змінних природних ресурсів сонячної та вітрової енергії, а також активне впровадження технологій розподіленої генерації та «розумних» мереж стимулюють актуальність вирішення проблеми довготривалого зберігання енергії. Підхід розрахований на урегулювання також питання застосування ВЕС та СЕС у системах електропостачання шляхом стабілізації віддачі згенерованої ними електричної енергії до мережі. Безумовно, ВЕС та СЕС за необхідності, можуть бути під'єднані до мережі, між тим, з використанням запропонованого підходу є можливість зменшити втрати енергії, що отримується від природних джерел та раціонально і ефективно її використати. В умовах підприємств авіаційної галузі є актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення на базі відновлюваних джерел енергії. Запропонований підхід щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі дозволяє ефективно використовувати джерела електричної енергії на базі відновлюваних джерел енергії як в автономних в системах електропостачання так інтегрувати їх до діючих систем електропосчання

Ключові слова: воднева енергетика, відновлювані джерела енергії, підприємства авіаційної галузі, енергетичний баланс підприємств, власна генерація електроенергії.

BOYKO Serhiy, KOTOV Oleksiy
Zaporizhia Polytechnic National University
VYSHNEVSKY Svyatoslav
Vinnytsia National Technical University
MELNYK Olga
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovskyi
PODHORNYH Nadia
Kremenchug Flight College of Kharkiv University of Internal Affairs

ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF HYDROGEN ENERGY IN THE ENERGY BALANCE OF COMPANIES IN THE AVIATION INDUSTRY

Hydrogen energy technologies, such as hydrogen storage of energy from renewable sources of electricity, by storing hydrogen as a battery for autonomous and distributed generation and refueling for hydrogen transport, are actively being introduced into the transport industry of developed countries. The transport industry of Ukraine is inextricably linked with the energy industry and has its own characteristics. World experience shows that the introduction of the latest technologies in the transport sector definitely gives a number of unambiguous bonuses for further stable development. Meanwhile, the objects of the transport industry of Ukraine have significant territories that are technologically not involved in the agricultural industry and cannot be used for the development of the cultural and social sphere. In turn, the objects of the transport industry of Ukraine make up its transport infrastructure and are located throughout the territory of Ukraine. Today, hydrogen energy includes a set of technologies for production, transportation, accumulation and use of the universal secondary energy carrier - hydrogen. Thus, in the concept of hydrogen energy, hydrogen complements the most important secondary energy

carrier - electricity, the energy use of hydrogen is determined by the possibility of environmentally clean production of electricity and long-term storage with the minimization of losses, including in large volumes. The development of renewable energy, which receives energy from variable natural resources of solar and wind energy, as well as the active implementation of technologies of distributed generation and "smart" networks stimulate the urgency of solving the problem of long-term energy storage. The approach is also designed to settle the issue of the use of wind turbines and SPPs in power supply systems by stabilizing the return of the electric energy generated by them to the network. Undoubtedly, WPPs and SPPs can be connected to the network if necessary, meanwhile, using the proposed approach there is an opportunity to reduce the loss of energy obtained from natural sources and to use it rationally and efficiently. In the conditions of aviation industry enterprises, it is relevant and possible to introduce into the general structure of power supply systems based on renewable energy sources. The proposed approach to the introduction of hydrogen energy in the conditions of aviation industry enterprises allows to effectively use sources of electrical energy based on renewable energy sources both in autonomous power supply systems and to integrate them into existing power supply systems

Key words: *hydrogen energy, renewable energy sources, aviation industry enterprises, energy balance of enterprises, own electricity generation.*

Постановка проблеми. Проект національної енергетичної стратегії до 2035 р вказує на розвиток сучасних технології, поширення яких раніше або пізніше призведе до втрати вуглецевої енергетикою домінуючого положення, в тому числі поновлювані джерела енергії і накопичувачі енергії, гібридні та електромобілі, включаючи автомобілі на водневому паливі, в результаті буде потрібно прискорене освоєння сукупності перспективних груп технологій, в тому числі відновлюваних джерел енергії, водневої енергетики, накопичувачів енергії та інтелектуальних мереж [1].

Технології водневої енергетики, такі як водневе акумулювання енергії поновлюваних джерел електричної енергії, шляхом накопичення водню як акумулятора для автономної і розподіленої генерації та заправок для водневого транспорту, активно впроваджуються в транспортну галузь розвинутих країн [2].

На сьогоднішній день, воднева енергетика включає сукупність технологій виробництва, транспортування, акумулювання і використання універсального вторинного енергоносія - водню. Так, у концепції водневої енергетики водень доповнює собою найважливіший вторинний енергоносій - електроенергію, енергетичне використання водню визначається можливістю екологічно чистого отримання електроенергії і тривалого зберігання з мінімізацією втрат, в тому числі у великих об'ємах [3].

Розвиток відновлюваної енергетики, що отримує енергію від змінних природних ресурсів сонячної та вітрової енергії, а також активне впровадження технологій розподіленої генерації та «розумних» мереж стимулюють актуальність вирішення проблеми довготривалого зберігання енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць за останні роки показав, що на початку 2000-х років відбувля активний розвиток наукової активності в області технологій отримання водню. При цьому після початку світової фінансової кризи на рубежі 2010 відзначений різкий перехід до стабілізації кількості публікацій за винятком різкого зростання інтересу до технологій отримання водню електролізом води [4].

За результатами аналізу наукових доробок у галузі водневої енергетики, було виявлено, що в даний час світова енергетика переживає період важливих структурних змін, пов'язаних зі збільшенням частки відновлюваних джерел енергії і розподіленої генерації в загальному енергетичному балансі [5]. Між тим,технології та підходи щодо підвищення стійкості мережі та створення сонячних і вітрових електростанцій з постійно нормованими енергетичними характеристиками, модернізація існуючих та проектування нових маневрових електростанцій, ефективні тільки до моменту досягнення відновлювальними джерелами енергії чверті частки в генерації. Тому забезпечення якості електропостачання, що на сьогоднішній день є важливим питанням у тому числі транспортної галузі, при широкому поширенні енергетичних установок на базі відновлювальних джерел енергії має бути забезпечене розвитком систем зберігання енергії [6-11].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз можливостей та сучасних підходів щодо впровадження водневої енергетики до систем енергозабезпечення підприємств авіаційної галузі .

Виклад основного матеріалу. Поєднуючи екологічний підхід та економічні механізми розвитку транспортної галузі, можна збалансувати енергетичну складову галузі та забезпечити низьковуглецевий сценарій розвитку економіки країни вцілому. Однак в енергетиці України карбонові генератори займають значну частку виробленої енергії [2].

Транспортна галузь України нерозривно поєднана з енергетикою та має свої особливості. Світовий досвід показує, що впровадження новітніх технологій у транспортній галузі безумовно дає ряд однозначних бонусів для подальшого стабільного розвитку. Між тим, об’єкти транспортної галузі України мають значні території, що технологічно не задіяні у сільськогосподарській галузі та не можуть бути використані для розвитку культурної та соціальної сфери. У свою чергу об’єкти транспортної галузі України складають її транспортну інфраструктуру та розташовані на всій території України.

Слід зазначити той факт, що територія України придатна для впровадження та промислового використання електрогенеруючих установок на базі сонячної та вітрової енергії [3].

Тому, враховуючи необхідність екологізації транспортної галузі України та необхідності подальшого її розвитку шляхом покращення її інфраструктури, у тому числі підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів галузі слід розглядати можливість впровадження відновлюваних джерел електричної енергії в умовах об’єктів транспортної галузі України.

Між тим, слід зазначити, що потужності відновлювальної енергетики зростають та збільшують свій сегмент на енергетичному ринку країни та світу. Аналізуючи дані та розглядаючи всі можливі варіанти,

фахівці мають змогу розробляти гіпотетично можливі сценарії розвитку цієї галузі, змінюючи одну чи кілька складових та моделюючи наслідки, що можуть настати залежно від внесених змін. Таким чином розвиток енергетичного сектора нашої країни не є винятком та має три сценарії, відправною точкою яких є дотримання цілей Паризької угоди щодо «вуглецевого» та «низьковуглецевого» енергетичних шляхів [4].

Результати аналізу споживання ресурсів для енергогенерації [3] дає змогу простежити чітку тенденцію в економічних витратах. Тому до 2030 року витрати на ресурсне й технологіне забезпечення енергогенерації за «революцій ним» сценарієм будуть перевищувати витрати за «базовим». При цьому за «революційним» сценарієм будуть зростати капітальні інвестиції у розвиток та розбудову сектора відновлюваних джерел енергії. Між тим, всі сценарії прогнозів подальшого розвитку енергетики є гіпотетичними, а їх реалізація можлива лише за ідеальних умов при виконанні всіх запрограмованих та зазначених критеріїв.

Один з найбільш перспективних шляхів подальшого розвитку водневої енергетики грунтується на використанні водню, виробленого електролізом, як акумулятор енергії, при цьому все більшої популярності набуває технологія Power-to-Gas (P2G) [4]

Для перетворення хімічної енергії водню в електрику найбільш ефективним вважається використання паливних елементів, що володіють коефіцієнтом корисної дії близько 50%. В результаті роботи водневих паливних елементів крім електроенергії виробляється тільки тепло і вода, а також вони абсолютно безшумні.

Областю застосування паливних елементів може стати децентралізоване енергопостачання та траспортні технології.

З поміж іншого, залишається відкритим питання забезпечення споживачів воднем, а саме створеггя водневої інфраструктури (мереж водневих заправних станцій для траспортної галузі та трубопроводів для постачання водню до енергетичних об'єктів) [5].

На сьогоднішній день, характеристики первинних джерел енергії та графіків її споживання істотно впливають на основні технічні та економічні характеристики як окремих енергоспоживачів, так і системи акумулювання енергії. З поміж інших технологій зберігання енергії, водневе акумулювання відрізняється відносно низьким коефіцієнтом корисної дії, однак цей недолік компенсується перевагами водневих систем. Серед переваг водневої енергетики можна зазначити можливість тривалого зберігання енергії без суттєвих втрат, що на сьогоднішній день, поки що не досягнуто хімічними джерелами струму, висока щільність зберігання енергії і малі капітальні витрати в порівнянні з існуючими аналогами діючих в сучасних енергетичних системах [6].

Між тим, слід зазначити той факт, що водень є найпоширенішим елементом не тільки на планеті, а й у космосі, а також він входить до складу води, яка займає майже дві третини поверхні Землі. При цьому водень має значно вищу енергоємність, ніж сучасні енергоресурси, такі як природний газ, нафта чи вугілля, а продуктом згоряння водню є лише вода, що абсолютно безпечно для навколишнього середовища. Усі зазначені переваги водню роблять водневу енергетику одним із перспектих напрямків розвитку сучасної енергетики у тому числі у траспортній галузі.

З поміж іншого, водневі технології у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії у перспективі можуть стати економічно вигіднішими, ніж викопні ресурси, особливо для країн з обмеженими запасами корисних копалин та зручним географічним розташуванням.

До основних напрямків розвитку водневої енергетики для побудови нової економічної моделі України такі [2]:

- розробка та впровадження ефективних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії та забезпечених системами акумулювання, зберігання, транспортування та використання водню різного виду та потужності, тобто так званого зеленого водню.

- розробка та впровадження систем акумулювання, зберігання, транспортування та використання водню різного виду та потужності у традиційній енергетиці для накопичення пікової електроенергії, тобто иак званий промисловий водень.

- розробка та впровадження систем акумулювання та використання водню різного виду та потужності у транспортній галузі, тобто для потреб автомобільного, залізничного та авіаційного транспорту.

Тож, завдяки високому коефіцієнту корисної дії енергоустановок на базі паливних комірок, вони розглядаються в якості перспективних джерел енергії в кіловатний класі потужності. Ці енергоустановки вимагають використання водню чистотою вище 99.9%. Тому при використанні в автономних системах низькотемпературних паливних елементів може виявитися необхідної доочищення водню. В даний час створені ефективні електролізери на підвищений тиск з коефіцієнтом корисної дії більше 70% і енерговитратами (4.2-4.4) кВт·год / м^3 і низькотемпературні паливні комірки (з твердополімерним і лужним електролітом) з коефіцієнтом корисної дії більше 50% [4]. Для комбінації «електролізер - паливна комірка» коефіцієнт рекуперації електроенергії може становити більше 40%, що цілком прийнятно для енергогенеруючих установок на базі відновлюваних джерел енергії. При розробці таких систем акумулювання електроенергії основні науково-технічні питання пов'язані зі створенням енергоефективних систем очищення і зберігання водню, інтегрованих з паливними елементами [6].

Між тим, найбільш широко використовувана технологія електролізу заснована на застосуванні

лужних електролітів. Сучасні вдосконалені лужні електролізери можуть бути використані для великомасштабного виробництва водню з води з відносно високою сумарною ефективністю перетворення первинної енергії, рівній 28-36% з урахуванням ККД електростанції на рівні 35-40% [9].

Перспективи впровадження електролізу пов'язані із застосуванням твердо-полімерних електролізерів (ТПЕ) з платиновими каталізаторами, які забезпечують більш високий вихід водню. Останнім часом ведуться розробки електролізерів з ТПЕ, що не містять дорогоцінних металів, хоча, незважаючи на деякі успіхи в рішенні цієї задачі для спеціальних електролізерів з малим ресурсом роботи, прийнятного рішення для промислових електролізерів поки не знайдено. ТПЕ електролізери характеризуються значно більшими питомими капітальними витратами, ніж лужні, але ці витрати зменшаться при переході до великих обсягів виробництва [5].

Таким чином, як джерело електроенергії для електролізу доцільно розглядати енергопостачання від вироблення електроенергії на місці на базі поновлюваних джерел енергії.

Між тим, водень може вироблятись електролізом за високого тиску або електролізом води за низького тиску. А у сучасних ринкових умовах 50 кВт / год електроенергії, витраченої на виробництво одного кілограма стисненого водню, коштують приблизно стільки ж, скільки водень, вироблений за 8 центів/kWh. Між тим, ціновий еквівалент пояснюється тим, що більшість водню виробляється з викопних видів палива, які ефективніше використовувати для виробництва хімічного продукту безпосередньо, ніж для виробництва електроенергії і подальшого електролізу. Так чи інакше, головним завданням водневої енергетики є отримання водню з інших джерел, тож в майбутньому планується не використовувати викопне паливо як сировину [7].

Найчистішим способом отримання водню вважається той що базується на використанні електроенергії, виробленої фотоелектричними системами. Вода розкладається на водень і кисень шляхом електролізу – фотоелектрохімічного процесу, який також називають штучним фотосинтезом. Між тим, у фотоелектричній промисловості ведуться наукові дослідження, спрямовані на розвиток високоефективної технології мультиперехідних елементів [8].

Тому, на рисунку 1 представлено структуру схеми реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі.

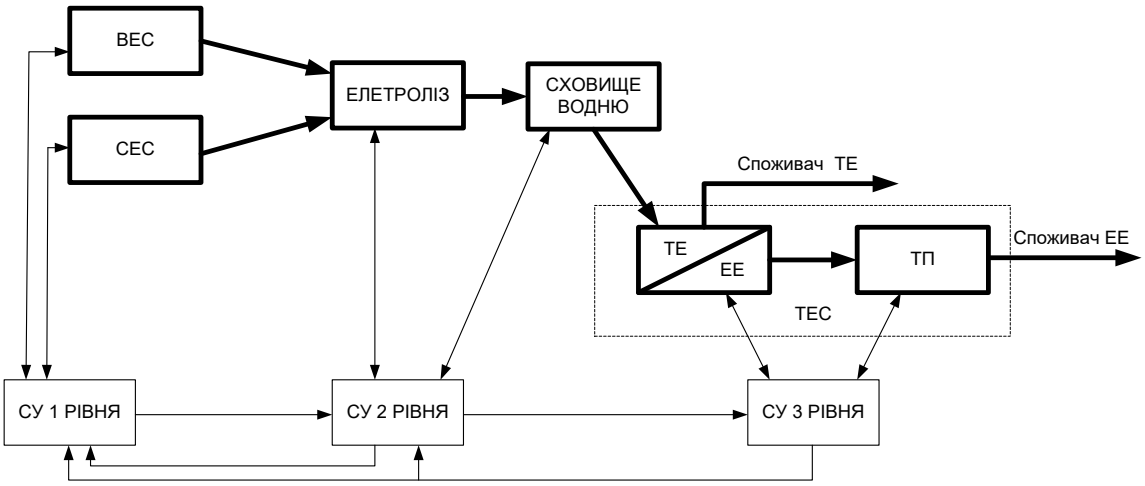

Рис. 1. Схема реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі

Відповідно до рисунку, схема реалізації підходу щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі пояснюється наступним чином. Джерела електричної енергії на базі вітроенергетичних (ВЕС) та сонячних електростанцій (СЕС) генерують електричну енергію для реалізації вироблення водню шляхом електролізу. Водень із сховища надходить до теплової електростанції (ТЕС), система якої модернізована та адаптована для застосування водню.

Таким чином, ТЕС генерує електричну енергію (ЕЕ) та як додатковий вид енергії є можливість отримати теплову енергію (ТЕ).

Слід зазначити, що система курування складається з трьох рівнів чкі пов’язані між собою. Третій рівень системи керування є найвищим, та забезпечує функціонування всього комплексу вцілому. Другий рівень системи керування забезпечую управління отримання водню в залежності від генерації відновлювальних джерел енергії. Перший рівень керування виконує управління функціонуванням та взаємодією відновлювальних джерел енергії що під’єднані до комплексу.

Підхід розрахований на урегулювання також питання застосування ВЕС та СЕС у системах електропостачання шляхом стабілізації віддачі згенерованої ними електричної енергії до мережі.

Безумовно, ВЕС та СЕС за необхідності, можуть бути під’єднані до мережі, між тим, з використанням запропонованого підходу є можливість зменшити втрати енергії, що отримується від природних джерел та раціонально і ефективно її використати.

Висновки і пропозиції. 1. В умовах підприємств авіаційної галузі є актуальним та можливим є

впровадження в загальну структуру систем електроживлення на базі відновлюваних джерел енергії.

2. Запропонований підхід щодо впровадження водневої енергетики в умовах підприємств авіаційної галузі дозволяє ефективно використовувати джерела електричної енергії на базі відновлюваних джерел енергії як в автономних в системах електропостачання так інтегрувати їх до діючих систем електропосчання.

Література

1. Modern acpects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Monograph / T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadska, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2021. 162 p.

2. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. / С. М. Бойко // Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263с.

3. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.

4. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. Т. 38. № 5. — С. 2039-2061.

5. Emonts B., Schiebahn S., Görner K., Lindenberger D., Markewitz P., Merten F., Stolten D. Reenergizing energy supply: Electrolytically-produced hydrogen as a flexible energy storage medium and fuel for road transport // Journal of Power Sources. 2017. Т. 342. — С. 320-326.

6. Zoulias E.I., Lymberopoulos N. Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems. : Springer, 2008.

7. Hydrogen and Fuel Cells: Fundamentals, Technologies and Applications.Ed. Stolten D. —Weinheim, Germany : WILEY-VCH Verlag GmbH, 2010. — 877.

8. Gupta R.B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. : CRC Press, 2008.

9. International Energy Agency. Technology Roadmap: Hydrogen and Fuell Cells - 2014 edition. — Paris : OECD/IEA, 2014.

10. Lototskyy M.V., Tolj I., Pickering L., Sita C., Barbir F., Yartys V. The use of metal hydrides in fue cell applications // Progress in Natural Science: Materials International. 2017. Т. 27. № 1. — С. 3-20.

11. U. S. Department of Energy, http://www.energy.gov/

References

1. Modern acpects of application and development of Unmanned Aerial Vehicles. Monograph / T. Shmelova, S. Boiko, O. Kotov, O. Burlaka, M. Nozhnova, Yu. Bershadska, L. Chyzhova, D. Hinosian, V. Zhurid, V. Yemets, Yu. Oliinyk, B. Moskaluk Warsaw: iScience Sp. z.o.o. 2021. 162 p.

2. Boyko S.M. Teoretychni zasady formuvannya elektroenerhetychnykh system z dzherelamy rozoseredzhenoyi heneratsiyi hirnychorudnykh pidpryyemstv. / S. M. Boyko // Monohrafiya, pid redaktsiyeyu doktora tekhn. nauk, profesora O.M. Sinchuka. – Kremenchuk, 2020. – 263s.

3. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.

4. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. Т. 38. № 5. — С. 2039-2061.

5. Emonts B., Schiebahn S., Görner K., Lindenberger D., Markewitz P., Merten F., Stolten D. Reenergizing energy supply: Electrolytically-produced hydrogen as a flexible energy storage medium and fuel for road transport // Journal of Power Sources. 2017. Т. 342. — С. 320-326.

6. Zoulias E.I., Lymberopoulos N. Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems. : Springer, 2008.

7. Hydrogen and Fuel Cells: Fundamentals, Technologies and Applications.Ed. Stolten D. —Weinheim, Germany : WILEY-VCH Verlag GmbH, 2010. — 877.

8. Gupta R.B. Hydrogen fuel: production, transport, and storage. : CRC Press, 2008.

9. International Energy Agency. Technology Roadmap: Hydrogen and Fuell Cells - 2014 edition. — Paris : OECD/IEA, 2014.

10. Lototskyy M.V., Tolj I., Pickering L., Sita C., Barbir F., Yartys V. The use of metal hydrides in fue cell applications // Progress in Natural Science: Materials International. 2017. Т. 27. № 1. — С. 3-20.

11. U. S. Department of Energy, http://www.energy.gov/