

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ СОНЯЧНО-ВОДНЕВОЇ АВТОНОМНОЇ ЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Отримано 04 вер. 2024 р.; рекомендовано до публікації 16 вер. 2024 р.  
Доступно онлайн 01 жов. 2024 р.

**Будько В. І.<sup>1</sup>, Карпчук Г. Л.<sup>2</sup>, Козачук О. В.<sup>3</sup>,  
Будько М. О.<sup>4</sup>, Коханевич В. В.<sup>5</sup>**

Автор для кореспонденції: Будько Василь,  
e-mail: solar\_budko@ukr.net

*У цій роботі досліджується можливість розширення використання потенціалу енергії сонячного випромінювання для виробництва зеленого водню в Україні з використанням фотоелектричних станцій як первинного джерела енергії. Зростання популярності електричних транспортних засобів, як-от класичні електромобілі, гібридні та електромобілі на водневих паливних елементах, створює потребу в упровадженні ефективних систем їх заправки зеленим воднем. Автори аналізують різні варіанти реалізації автономних фотоелектричних систем виробництва водню, включно зі схемами з одним та двома буферними акумуляторами для гарантованого забезпечення потреби транспортних засобів на паливних елементах. Висвітлюється важливість використання відновлюваних джерел енергії для компенсації нерегулярного виробництва водню та забезпечення безперервності його постачання для електромобілів. Результати розрахунків показують, що реалізація таких систем є доцільною та перспективною для розвитку екологічно чистого транспорту в Україні. Дослідження містить обґрунтування необхідної потужності зарядної станції та обсягу водневих акумуляторів для оптимізації виробництва й споживання водню в умовах змінної енергетичної ситуації.*

**Ключові слова.** Відновлювані джерела енергії, воднева автозаправна станція, фотоелектричний модуль, воднева енергетика, сонячна енергетика.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, доцент.  
<https://orcid.org/0000-0002-6219-4221>

<sup>2</sup> аспірант  
<https://orcid.org/0000-0001-7062-2727>

<sup>3</sup> асистент  
<https://orcid.org/0000-0003-1968-8178>

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент  
<https://orcid.org/0000-0003-0928-1657>

<sup>5</sup> аспірант  
<http://orcid.org/0009-0009-0461-4388>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;

<sup>1, 3, 5</sup> Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м. Київ, Україна.

## FEATURES OF THE IMPLEMENTATION OF A SOLAR-HYDROGEN AUTONOMOUS GAS STATION FOR ELECTRIC VEHICLES

Received Sep. 04, 2024; accepted Sep. 16, 2024  
Available online Oct. 01, 2024

**Budko V.<sup>1</sup>, Karpchuk H.<sup>2</sup>, Kozachuk O.<sup>3</sup>,  
Budko M.<sup>4</sup>, Kochanievich V.V.<sup>5</sup>**

Author for correspondence: Budko Vasyli,  
e-mail: solar\_budko@ukr.net

*This work explores the possibility of expanding the use of solar energy potential for green hydrogen production in Ukraine using photovoltaic stations as the primary energy source. The increasing popularity of electric vehicles, such as traditional battery electric vehicles, hybrid and fuel cell electric vehicles, creates a demand for efficient green hydrogen refueling systems. The authors*

<sup>1</sup> Dr. of Tech. Science, Assoc. Prof.  
<https://orcid.org/0000-0002-6219-4221>

<sup>2</sup> Postgraduate student  
<https://orcid.org/0000-0001-7062-2727>

<sup>3</sup> Assistant  
<https://orcid.org/0000-0003-1968-8178>

<sup>4</sup> PhD, Assoc. Prof.  
<https://orcid.org/0000-0003-0928-1657>

<sup>5</sup> Postgraduate student  
<https://orcid.org/0009-0009-0461-4388>

*analyze various implementation options of autonomous photovoltaic hydrogen production systems, including schemes with one or two buffer batteries to guarantee the needs of fuel cell vehicles. The importance of using renewable energy sources to compensate for irregular hydrogen production and ensure continuous supply for electric vehicles is highlighted. The results of the calculations show that the implementation of such systems is reasonable and promising for the development of eco-friendly transport in Ukraine. The study provides justification for the necessary capacity of charging station and the volume of hydrogen storage to optimize hydrogen production and consumption in variable energy situations.*

**Key words:** Renewable energy sources, hydrogen gas station, photovoltaic module, hydrogen energy, solar energy.

#### Перелік використаних скорочень та позначень:

BEV – класичний електромобіль

PHEV – гібридний підзаряджуваний електромобіль

FCEV – електричні транспортні засоби на водневих паливних елементах

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

АФСБВ – автономна фотоелектрична система виробництва водню

ЗС – заправна станція

ФЕС – фотоелектрична станція

РЕМ – протонообмінний електролізер

**Вступ.** Значний потенціал зеленого водню, який можна освоїти на території України, застосовуючи ФЕС [1, 2] як первинне джерело енергії, спонукає до пошуку ефективних варіантів реалізації таких систем. Відомо [3], що продажі електричних транспортних засобів постійно зростають, забезпечуючи заміщення класичних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння. Для транспортних засобів, що урухомлюються за допомогою електропривода та бортового джерела енергії, застосовується така класифікація:

1. Класичні електромобілі – приводяться в рух за допомогою електропривода, який живиться від бортового акумулятора й заряджається від стабілізованого джерела електричної енергії.
2. Гібридні електромобілі – приводяться в рух за допомогою двигуна внутрішнього згоряння та електропривода, який живиться від бортового акумулятора.
3. Гібридні підзаряджувані електромобілі – приводяться в рух за допомогою двигуна внутрішнього згоряння та електропривода, який живиться від бортового акумулятора з можливістю підзарядки від стабілізованого джерела електричної енергії.
4. Електромобілі на водневих паливних елементах – приводяться в рух за допомогою електропривода, який живиться від бортової батареї воднево-кисневих паливних елементів.

У роботах [4, 5] відзначена доцільність залучення потенціалу ВДЕ для розбудови автономних систем зарядження електромобілів різних типів, зокрема BEV та PHEV. Аналіз принципів роботи електричних легкових транспортних засобів показує, що крім двох попередніх (BEV та PHEV) потенційним споживачем ВДЕ в Україні можуть бути й FCEV. Однак у цьому разі слід розуміти,

що електрична енергія, отримана від ВДЕ, використовується для отримання зеленого водню, який в подальшому застосовується для заправки FCEV. З огляду на різні варіанти реалізації сонячно-водневих систем (автономні, мережеві, комбіновані) змінюватимуться вимоги до буферних накопичувачів виробленого водню.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є обґрунтування варіантів реалізації автономної фотоелектричної водневої заправної станції для визначення потенціалу залучення енергії сонячного випромінювання на виробництво водню, що потенційно може використовуватися в секторі автомобільного транспорту.

Методи дослідження: порівняльний аналіз існуючих варіантів реалізації автономної фотоелектричної системи виробництва водню; моделювання роботи таких систем з використанням спеціального програмного забезпечення; синтез отриманих результатів.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто варіант реалізації АФСБВ для подальшого використання водню ЗС FCEV. Під час реалізації систем цього типу потрібно враховувати часовий фактор зберігання водню ( $\tau_{зб}$ , год), який залежно від специфіки споживача може становити добу, тиждень, місяць або рік, і втрати через його витікання, обумовлені терміном зберігання. На прикладі АФСБВ для ЗС FCEV розглядаються різні варіанти реалізації такої системи. Згідно з першим варіантом (рис. 1) електрична енергія від ФЕС через стабілізатор напруги подається на РЕМ. В результаті на виході виробляється чистий водень з тиском 3 МПа, що потрапляє в бак для зберігання. Коли є потреба заправки FCEV, водень з акумулятора за допомогою підвищувального компресора тиску та водневої заправної станції

подається в бортові баки-акумулятори транспортного засобу. Запропоновану схему раціонально застосовувати для систем з добовим циклом виробництва,

зберігання та використання водню, але такий підхід вимагає використання гарантованого джерела енергії, яким не є ФЕС.

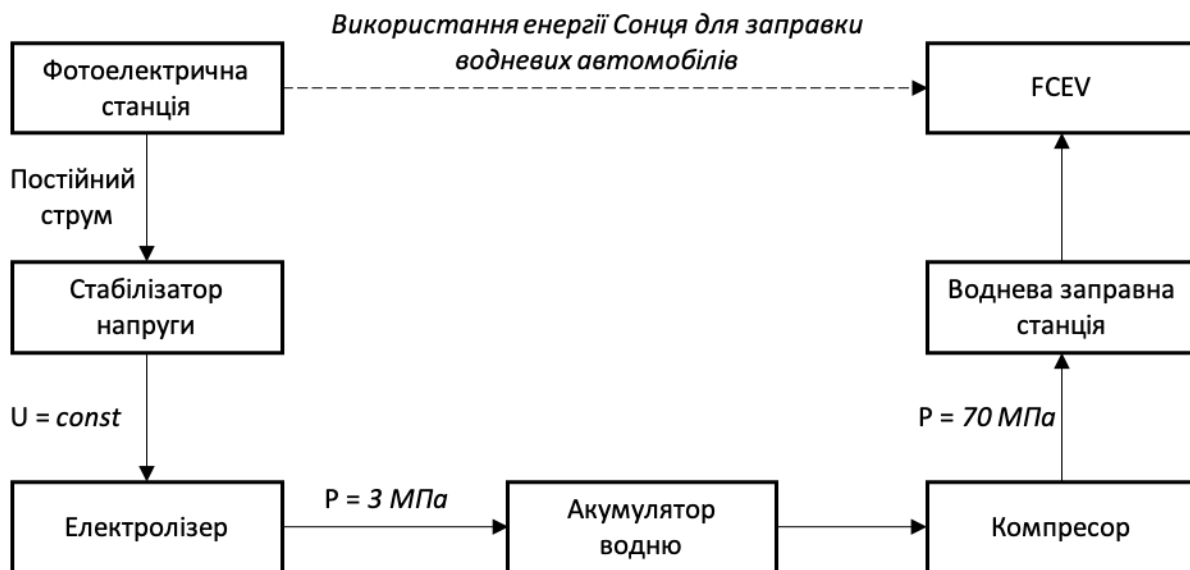


Рис. 1. Функціональна схема реалізації АФСВВ для ЗС FCEV з одним буферним акумулятором водню

Fig. 1. Functional diagram of the implementation of an autonomous photovoltaic hydrogen production system for an FCEV filling station with one hydrogen buffer battery

Якщо цикли виробництва, зберігання та використання водню триваліші (тижневі, місячні або річні), слід застосовувати інший варіант (рис. 2), який на відміну від попереднього передбачає використання двох буферних акумуляторів водню, що розділені підвищувальним компресором: низького тиску (3 МПа) – одразу після електролізера – та високого тиску (70 МПа) – після компресора. Такий підхід дозволяє балансувати виробіток та споживання водню нестабільним джерелом електричної енергії.

Аналіз серійних легкових FCEV класу седан показав, що потреба повної заправки воднем становить від 141 до 142 м<sup>3</sup> [6, 7]. Для спрощення подальших розрахунків прийнято потребу в заправці на рівні 140 м<sup>3</sup>. У такому разі при виробництві водню РЕМ з середньою витратою 4,5 кВт·год/Нм<sup>3</sup>(Н<sub>2</sub>) [8–10] потреба в електроенергії для заправки одного FCEV становить 282,24 кВт·год.

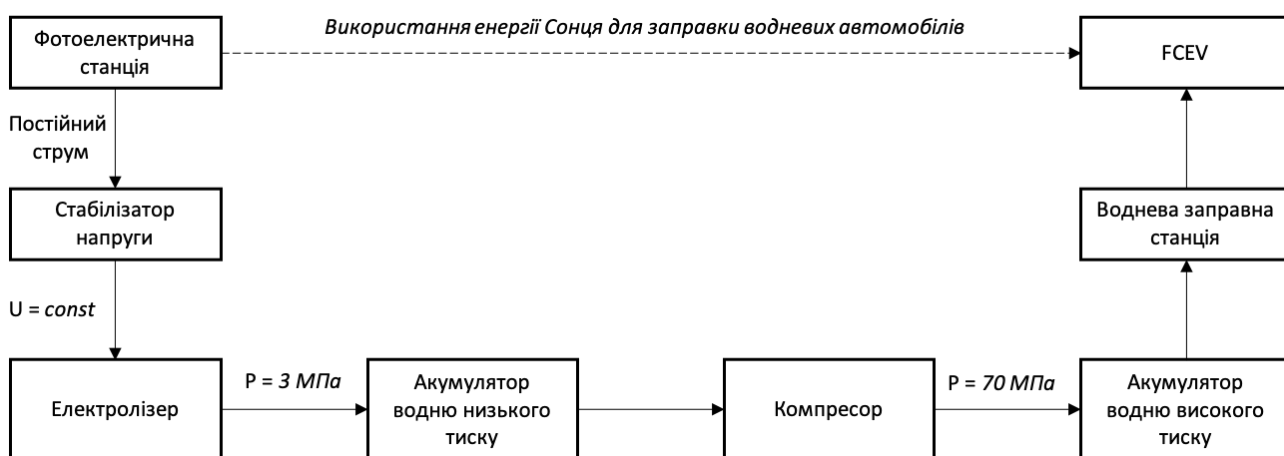


Рис. 2. Функціональна схема реалізації АФСВВ для ЗС FCEV з двома буферними акумуляторами водню

Fig. 2. Functional diagram of the implementation of an autonomous photovoltaic hydrogen production system for an FCEV filling station with two hydrogen buffer batteries

За умови середньодобового пробігу FCEV 55 км, або 20 075 км/рік визначена необхідна встановлена потужність ФЕС, для умов міста Києва з використанням даних метеопоста Жуляни [11]. При проведенні розрахунків для забезпечення річної потреби в заправці воднем одного FCEV з указаними параметрами прийнято такі критерії:

- 1) середньомісячна потреба електроенергії від ФЕС на виробіток водню для заправки одного FCEV становить 729,12 кВт·год;
- 2) фіксований тип встановлення ФЕС з оптимальним кутом нахилу 35° для вибраної місцевості без системи слідування за Сонцем;
- 3) системні втрати електричної енергії при передачі від джерела енергії до споживача – на рівні 14 %;
- 4) системний об'ємний запас баків акумуляторів водню – на рівні 20 %.

Внаслідок розрахунків у межах року встановлено (рис. 3), що за умови рівномірного розподілу потреби в

електричній енергії виробіток ФЕС має типовий характер надлишкового виробітку в період з найбільшим надходженням сонячного випромінювання (з березня по вересень) і, відповідно, недостатній виробіток – в холодний період з малою тривалістю світлої пори доби (з жовтня по лютий), що необхідно враховувати при визначенні необхідних ємностей для акумулювання водню з метою гарантованого забезпечення потреби одного FCEV. Також з'ясовано, що для прийнятих вихідних умов встановлена потужність ФЕС з урахуванням сучасного рівня розвитку комерційних фотоелектричних модулів [12] становить 8,12 кВт, а прогнозований виробіток електричної енергії перевищує прийняту потребу менше ніж на 5 %, що можна віднести до додаткових втрат в системі спричинених, наприклад, витіканням водню під час зберігання.

Важливим елементом систем АФСВВ для ЗС FCEV є буферні акумулятори зеленого водню, що дозволятимуть балансувати об'єми виробленого водню відповідно до потреби з подальшою видачою споживачу [13–15].

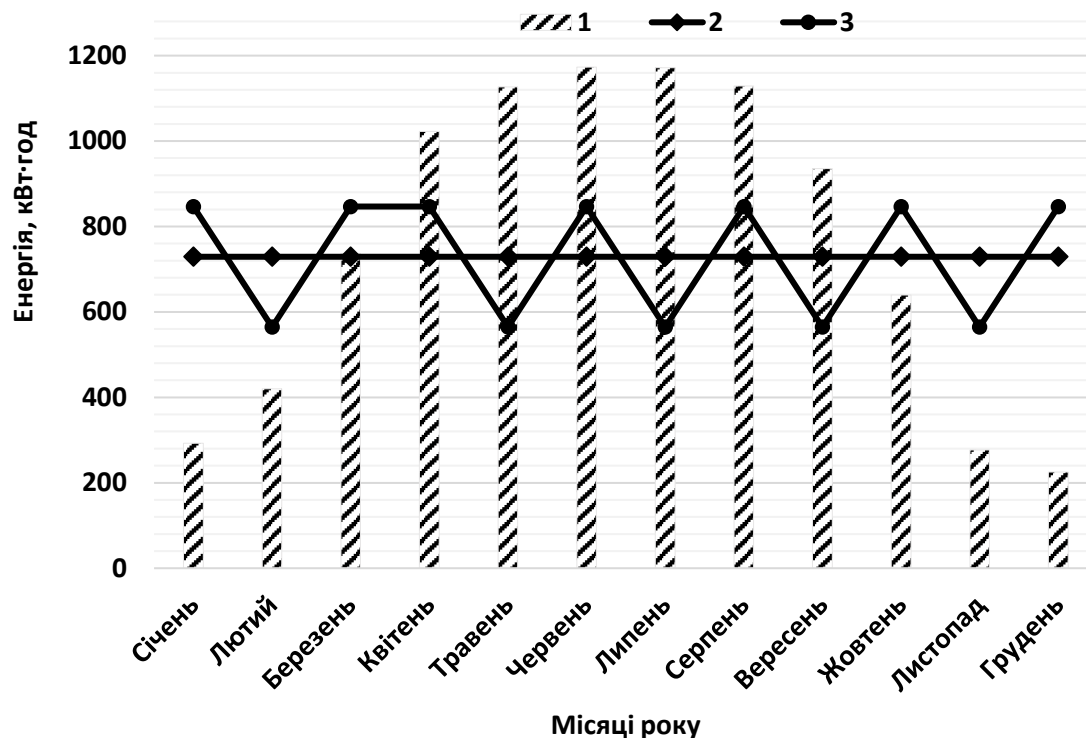


Рис. 3. Діаграма річного виробітку електричної енергії автономною ФЕС для умов міста Київ (за даними метеопоста Жуляни): 1 – виробіток електричної енергії ФЕС, кВт·год; 2 – середня потреба для заправки FCEV, кВт·год; 3 – прийнята потреба з кроком заправки FCEV 12 днів, кВт·год.

Fig. 3. Diagram of the annual production of electric energy by an autonomous PV plant for the conditions of the city of Kyiv (according to the data of Zhulyany weather station): 1 – production of electric energy by the PV plant, kWh; 2 – average demand for FCEV refueling, kWh; 3 – assumed demand with FCEV refueling step for 12 days, kWh.

Враховуючи, що для систем тривалого балансування виробітку та споживання водню прийнята двоступінчаста схема (рис. 3) з проміжним зберіганням в першому акумуляторі (при 3 МПа) та тривалим зберіганням в другому (при 70 МПа) в умовах адіабатного процесу,

відповідно до рівняння Пуассона можна визначити необхідні об'єми акумуляторів для заданих значень тисків:

$$P_3 \cdot V_3^k = P_{70} \cdot V_{70}^k, \quad (1)$$

де  $P_3$ ,  $P_{70}$  – тиск газу при, відповідно, 3 та 70 МПа;  $V_3$ ,  $V_{70}$ , – об'єми газу при, відповідно, 3 та 70 МПа;  $k$  – показник адіабати, що визначається як:

$$k = \frac{C_P}{C_V}, \quad (2)$$

де  $C_P$  та  $C_V$  – теплоємності при, відповідно, постійному тиску ( $C_P = C_V + R$ ) та постійному об'ємі ( $C_V = \frac{i_{H_2}}{2} \times R$ ). Враховуючи, що кількість ступенів свободи двоатомних газів становить 5, то  $i_{H_2} = 5$ , відповідно,  $k_{H_2} = 1,4$ .

Згідно з (1) значення об'ємів водню для однієї заправки

FCEV з прийнятою потребою становлять відповідно:

$$1,328 \text{ м}^3 (3 \text{ МПа}) \xrightarrow{\text{компресор}} 0,14 \text{ м}^3 (70 \text{ МПа}).$$

Враховуючи нерівномірний виробіток ФЕС в межах року проведено оцінку балансу між виробітком та споживанням водню (рис. 4). При розрахунках використано два варіанти прогнозування споживання водню: рівномірне (крива 1 на рис. 4), при якому прийняте однакове споживання водню по місяцях в межах 729,12 кВт·год, або 162,03 м<sup>3</sup>, та за потребою (крива 2 на рис. 4), що передбачає заправку FCEV на 12-ту добу з вихідної умови, що добовий пробіг становитиме 55 км (при сумарному річному пробігу 20 075 км/рік).

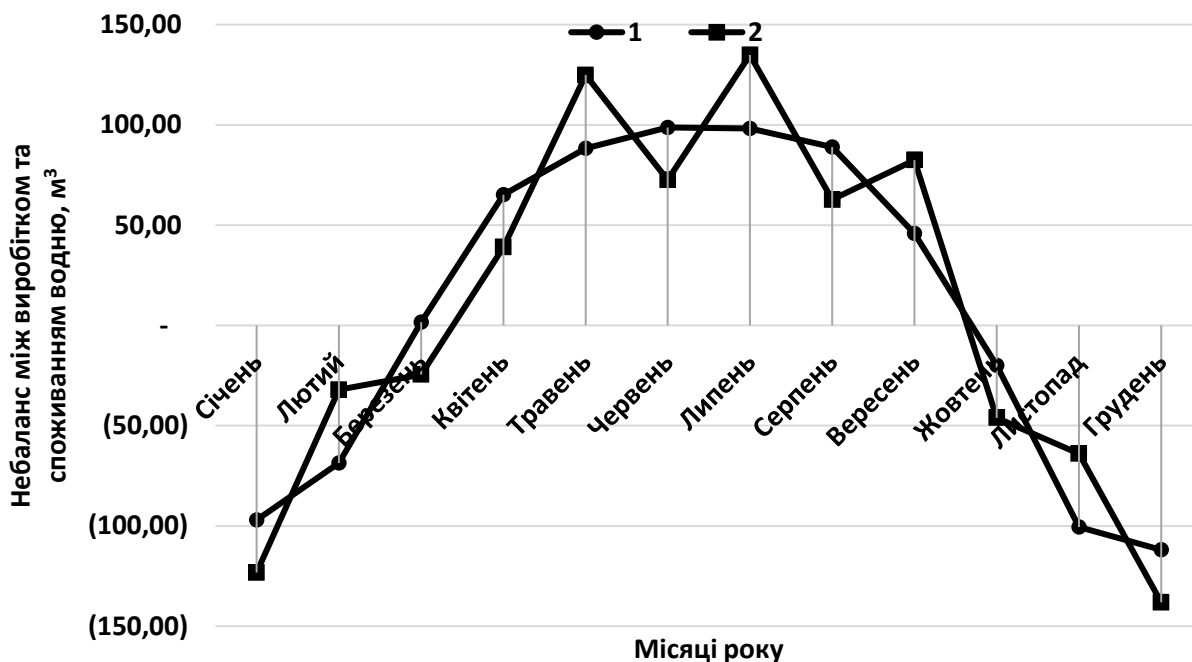


Рис. 4. Залежність небалансу виробітку та споживання водню в системі АЗС FCEV на основі ФЕС для умов міста Києв (за даними метеопоста Жуляни): 1 – небаланс при усередненій місячній потребі, м<sup>3</sup>; 2 – небаланс при моделі заправки FCEV 31 раз на рік з кроком 12 днів, м<sup>3</sup>

Fig. 4. Dependence of the imbalance of production and consumption of hydrogen in the FCEV gas station system based on the PV plant for the conditions of the city of Kyiv (according to the data of Zhulyany weather station): 1 – imbalance at the average monthly demand, m<sup>3</sup>; 2 imbalance with the FCEV refueling model 31 times a year with a step of 12 days, m<sup>3</sup>

Під час визначення об'ємів водневих баків акумуляторів як низького, так і високого тиску ( $V_{BA}$ , м<sup>3</sup>) слід враховувати додатковий виробіток ( $V_{дод}$ , м<sup>3</sup>), який спостерігається з березня по вересень, вище місячної потреби, а також системний об'ємний запас баків акумуляторів ( $V_c = 0,2 \cdot V_{дод}$ ), що гарантуватиме заправку FCEV незалежно від відхилень по виробітку в межах року:

$$V_{BA} = V_{дод} + 0,2 \cdot V_{дод}, \quad (3)$$

Внаслідок моделювання та аналізу виробітку електричної енергії ФЕС для умов Києва у перерахунку на вироблення водню встановлено, що для усередненого варіанта споживання водню для заправки FCEV протягом року об'єм бака акумулятора високого тиску  $V_{BA}$  має становити 1,07 м<sup>3</sup>, тоді як для другого варіанта із заправкою електроавтомобіля на паливних елементах воднем кожну 12-ту добу  $V_{BA}$  становить 1,16 м<sup>3</sup>.

За даними [16] в Україні на 1000 чоловік припадає 192 легкових автомобілі, тобто всього 6,37 млн автомобілів [17], з яких 1,5 % припадає на електроавтомобілі, а саме 92 082 [18]. Припустимо, що впродовж наступних 20 років кількість FCEV в Україні сягне 100 000. Згідно з [19], приймаємо, що потужність однієї водневої ЗС становитиме 25 автомобілів/добу або максимум 10 автомобілів/год, тоді відповідно до вищевказаних критеріїв:

- середньомісячна потреба електроенергії від ФЕС на виробіток водню для заправки одного FCEV становить 18 228 кВт·год;
- встановлена потужність ФЕС – 200,1 кВт;
- прогнозований виробіток електричної енергії перевищує прийняту потребу менше ніж на 1,5 %;
- пропускна здатність однієї ЗС – 775 автомобілів на рік з заправкою воднем до повного бака;

- для усередненого варіанта споживання водню для заправки FCEV протягом року об'єм бака акумулятора високого тиску  $V_{BA}$  має становити 29,58 м<sup>3</sup>;
  - для варіанта з заправкою електромобіля на паливних елементах воднем кожен 12-ту добу об'єм бака акумулятора високого тиску  $V_{BA}$  становить 31,68 м<sup>3</sup>.
- За даними [20] загальна довжина доріг України міжнародного значення становить 9 106,5 км, що дозволяє встановити 130 водневих заправних станцій через кожні 70 км. У таблиці наведено розподіл водневих заправних станцій на міжнародних дорогах України.

**Таблиця. Розподіл водневих автозаправних станцій на міжнародних дорогах України****Table. Distribution of hydrogen filling stations on international roads of Ukraine**

| Індекс | Найменування автомобільної дороги                          | Протяжність, км | Кількість водневих АЗС на ділянці |
|--------|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| M01    | Київ – Чернігів – Нові Яриловичі                           | 242,90          | 4                                 |
| M02    | Кіпті – Глухів – Бачівськ                                  | 260,20          | 4                                 |
| M03    | Київ – Харків – Довжанський                                | 932,70          | 13                                |
| M05    | Київ – Одеса                                               | 560,80          | 8                                 |
| M06    | Київ – Чоп                                                 | 902,20          | 13                                |
| M07    | Київ – Ковель – Ягодин                                     | 499,70          | 7                                 |
| M08    | Об'їзд м. Ужгорода – контрольно-пропускний пункт «Ужгород» | 17,10           | 0                                 |
| M09    | Тернопіль – Львів – Рава-Руська                            | 175,00          | 3                                 |
| M10    | Львів – Краковець                                          | 70,20           | 1                                 |
| M11    | Львів – Шегині                                             | 71,60           | 1                                 |
| M13    | Кропивницький – Платонове                                  | 258,60          | 4                                 |
| M14    | Одеса – Мелітополь – Новоазовськ                           | 691,30          | 10                                |
| M15    | Одеса – Рені                                               | 297,70          | 5                                 |
| M16    | Одеса – Кучурган                                           | 58,90           | 1                                 |
| M17    | Херсон – Джанкой – Феодосія – Керч                         | 403,50          | 6                                 |
| M18    | Харків – Сімферополь – Алушта – Ялта                       | 703,80          | 10                                |
| M19    | Доманове – Ковель – Чернівці – Тереблече                   | 534,10          | 8                                 |
| M20    | Харків – Щербаківка                                        | 28,40           | 0                                 |
| M21    | Виступовичі – Житомир – Могилів-Подільський                | 410,70          | 6                                 |
| M22    | Полтава – Олександрія                                      | 148,20          | 2                                 |
| M23    | Берегове – Виноградів – Велика Копаня                      | 50,00           | 0                                 |
| M24    | Велика Добронь – Мукачево – Берегове                       | 60,50           | 0                                 |
| M25    | Соломоново – Велика Добронь – Яноші                        | 55,10           | 0                                 |
| M26    | Вилок – Неветленфолу                                       | 20,60           | 0                                 |
| M27    | Одеса – Чорноморськ                                        | 14,10           | 0                                 |
| M28    | Одеса – Южне                                               | 37,20           | 0                                 |
| M29    | Харків – Красноград – Перещепине – Дніпро                  | 198,90          | 3                                 |
| M30    | Стрий – Умань – Дніпро – Ізварине                          | 1402,50         | 20                                |
|        | <b>Всього</b>                                              | <b>9106,5</b>   | <b>130</b>                        |

**Висновки.** Розширення використання потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні можливе за рахунок впровадження електричних транспортних засобів на водневих паливних елементах, що як паливо використо-

вуватимуть отриманий від ВДЕ зелений водень. Отримані результати можуть бути використані для розвитку наукового напрямку зеленого водню як наукове обґрунтування реалізації водневих заправних станцій електро-

мобілів на паливних елементах. У разі використання енергії сонячного випромінювання для виробництва водню найраціональнішим варіантом є схема автономної заправної станції з двома баками водневого акумулювання (низького та високого тисків – 3 та 70 МПа відповідно); це дає змогу збалансувати виробіток електричної енергії та споживання водню в межах року з мінімальними значеннями об'ємів акумуляторів, що важливо для умов модульного збільшення потужності таких систем для більшої кількості споживачів. При нарощуванні фотоелектричної потужності водневих заправних станцій немає потреби збільшувати проміжний бак з тиском 3 МПа, оскільки основний об'єм водню накопичуватиметься в баку високого тиску. За умови реалізації прийнятого варіанта зростання ринку FCEV в Україні можливо збільшити використання енергії сонячного випромінювання для цього напряму на 2,37 ГВт\*год з використанням 26 МВт ФЕС.

#### Фінансування

Це дослідження виконано за підтримки проєктів 23-ПКВВ-011 та MSCA4Ukraine ID номер 1233365.

#### ПОСИЛАННЯ

- Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>
- Belik M. Optimisation of energy accumulation for renewable energy sources. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2021. 19. P. 205–210, 258, DOI: <https://doi.org/10.24084/repqj19.258>
- IEA. “Electric Car Sales, 2016-2023 – Charts – Data & Statistics.” IEA, [www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023](http://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023)
- Будько В. І. Доцільність впровадження в Україні зарядних станцій для електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 4(47). С. 32–41. <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/104>
- Alanazi F. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Applied Sciences*. 2023; 13(10):6016. <https://doi.org/10.3390/app13106016>
- “Honda Begins Sales of All-New Clarity Fuel Cell - Clarity Fuel Cell Realizes the World's Top-Class Cruising Range among Zero Emission Vehicles of Approximately 750 Km: Honda Global Corporate Website.” Honda Global, [global.honda/en/newsroom/news/2016/4160310eng.html](http://global.honda/en/newsroom/news/2016/4160310eng.html)
- 2024 Mirai Specifications. [www.toyota.com/mirai/features/mpg\\_other\\_price/3002/3003/](http://www.toyota.com/mirai/features/mpg_other_price/3002/3003/)
- Bosch-Hydrogen-Energy, [www.bosch-hydrogen-energy.com/media/electrolyser\\_technology/electrolysis-two-pager-en.pdf](http://www.bosch-hydrogen-energy.com/media/electrolyser_technology/electrolysis-two-pager-en.pdf)
- “PEM Electrolyser - MC Series.” Nel Hydrogen, 27 Aug. 2024, [nelhydrogen.com/product/mc-series-electrolyser/](http://nelhydrogen.com/product/mc-series-electrolyser/).
- “TEC PEM Electrolyzer Modular Hydrogen Platform.” H, [www.h-tec.com/en/products/detail/mhp-series/mhp-electrolyser/](http://www.h-tec.com/en/products/detail/mhp-series/mhp-electrolyser/).
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, 11 Jan. 2016, [re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).
- T-PMD-059-F132 LR5-72hth 560-580M (35-35&15, [sun-energy.com.ua/image/pdf/\\_LR5\\_72HTH\\_560\\_580M%EF%BC%8835\\_35&15Frame\\_Explorer%EF%BC%89\\_DG\\_V17.pdf](http://sun-energy.com.ua/image/pdf/_LR5_72HTH_560_580M%EF%BC%8835_35&15Frame_Explorer%EF%BC%89_DG_V17.pdf).
- Flekiewicz M., Kubica G. ‘Hydrogen Onboard Storage Technologies for Vehicles’, *Diesel Engines - Current Challenges and Future Perspectives*. IntechOpen, Oct. 31, 2023. doi: 10.5772/intechopen.1003040.
- Rivard E., Trudeau M., Zaghbi K. Hydrogen Storage for Mobility: A Review. *Materials*. 2019; 12(12):1973. <https://doi.org/10.3390/ma12121973>
- A Meta-Study of Purchase Costs for Zero-Emission Trucks, [theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/purchase-cost-ze-trucks-feb22-1.pdf](http://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/purchase-cost-ze-trucks-feb22-1.pdf).
- Neufeld, Dorothy. “Who Owns the Most Vehicles per Capita, by Country?” *Visual Capitalist*, 21 Feb. 2024, [www.visualcapitalist.com/vehicles-per-capita-by-country/](http://www.visualcapitalist.com/vehicles-per-capita-by-country/).
- МВФ оцінив кількість населення України та дав прогноз на найближчі роки. РБК-Україна, [www.rbc.ua/rus/news/mvf-otsniv-kilkist-naselennya-ukrayini-ta-1713333704.html](http://www.rbc.ua/rus/news/mvf-otsniv-kilkist-naselennya-ukrayini-ta-1713333704.html).
- За два місяці 2024 українці ввезли понад 8 тис. електромобілів. ITC.Ua, 6 Mar. 2024, [itc.ua/ua/novini/za-dva-misyatsi-2024-roku-ukrayintsi-vvezly-ponad-8-tys-elektromobiliv-uvosmero-bilshe-dovoyennogo-rivnya/](http://itc.ua/ua/novini/za-dva-misyatsi-2024-roku-ukrayintsi-vvezly-ponad-8-tys-elektromobiliv-uvosmero-bilshe-dovoyennogo-rivnya/).
- Автозаправні станції. Основи проектування та будівництва (32612). ДБН В.1.1-7. ДНАОП - Законодавча База, [dnaop.com/html/32612/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D\\_%D0%92.1.1-7](http://dnaop.com/html/32612/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.1.1-7).
- Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення. Постанова від 15 грудня 2023 р. № 1318. Кабінет Міністрів України. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverd-zhennia-pereliku-avtomobilnykh-dorih-zahalnoho-s1318-151223>

## REFERENCES

1. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii Ukrainy [Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine] / za zah. red. S. O. Kudri. Kyiv: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. 2020. 82 s. [in Ukrainian]. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>
2. IEA. "Electric Car Sales, 2016-2023 – Charts – Data & Statistics." IEA, [www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023](http://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-sales-2016-2023).
3. Belik, M. Optimisation of energy accumulation for renewable energy sources. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2021. 19. P. 205–210, 258. DOI: <https://doi.org/10.24084/repqj19.258>
4. Budko V. Analiz dotsilnosti vprovadzhennia zariadnykh stantsij elektromobiliv na osnovi vidnovliuvanykh dzherel enerhii v Ukraini [Analysis of the feasibility of introducing charging stations for electric vehicles based on renewable energy sources in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka*. 2016. № 4(47). S. 32–41. <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/104>
5. Alanazi F. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Applied Sciences*. 2023; 13(10):6016. <https://doi.org/10.3390/app13106016>
6. "Honda Begins Sales of All-New Clarity Fuel Cell - Clarity Fuel Cell Realizes the World's Top-Class Cruising Range among Zero Emission Vehicles of Approximately 750 Km: Honda Global Corporate Website." Honda Global, [global.honda/en/newsroom/news/2016/4160310eng.html](http://global.honda/en/newsroom/news/2016/4160310eng.html).
7. "2024 Mirai Specifications." 2024 Mirai Specifications | Toyota.Com, [www.toyota.com/mirai/features/mpg\\_other\\_price/3002/3003/](http://www.toyota.com/mirai/features/mpg_other_price/3002/3003/).
8. Bosch-Hydrogen-Energy, [www.bosch-hydrogen-energy.com/media/electrolyser\\_technology/electrolysis-two-pager-en.pdf](http://www.bosch-hydrogen-energy.com/media/electrolyser_technology/electrolysis-two-pager-en.pdf).
9. "PEM Electrolyser - MC Series." Nel Hydrogen, 27 Aug. 2024, [nelhydrogen.com/product/mc-series-electrolyser/](http://nelhydrogen.com/product/mc-series-electrolyser/).
10. "TEC PEM Electrolyzer Modular Hydrogen Platform." H, [www.h-tec.com/en/products/detail/mhp-series/mhp-electrolyser/](http://www.h-tec.com/en/products/detail/mhp-series/mhp-electrolyser/).
11. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, 11 Jan. 2016, [re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).
12. T-PMD-059-F132 LR5-72hth 560-580M (35-35&15, sun-energy.com.ua/image/pdf/\_LR5\_72HTH\_560\_580M%EF%BC%8835\_35&15Frame\_Explorer%EF%BC%89\_DG\_V17.pdf.
13. Flekiewicz M., Kubica G. 'Hydrogen Onboard Storage Technologies for Vehicles', *Diesel Engines - Current Challenges and Future Perspectives*. IntechOpen, Oct. 31, 2023. doi: 10.5772/intechopen.1003040.
14. Rivard E., Trudeau M., Zaghbi K. Hydrogen Storage for Mobility: A Review. *Materials*. 2019; 12(12):1973. <https://doi.org/10.3390/ma12121973>
15. A Meta-Study of Purchase Costs for Zero-Emission Trucks, [theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/purchase-cost-ze-trucks-feb22-1.pdf](http://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/purchase-cost-ze-trucks-feb22-1.pdf).
16. Neufeld, Dorothy. "Who Owns the Most Vehicles per Capita, by Country?" *Visual Capitalist*, 21 Feb. 2024, [www.visualcapitalist.com/vehicles-per-capita-by-country/](http://www.visualcapitalist.com/vehicles-per-capita-by-country/).
17. MVF otsyniv kil'kist' naselennia Ukrainy ta dav prohnoz na najblyzhchi roky. [The IMF estimated the population of Ukraine and gave a forecast for the coming years] *RBK-Ukrayna*, [www.rbc.ua/rus/news/mvf-otsiniv-kilkist-naselennia-ukrayini-ta-1713333704.html](http://www.rbc.ua/rus/news/mvf-otsiniv-kilkist-naselennia-ukrayini-ta-1713333704.html).
18. Za dva misiatsi 2024 ukraintsi vvezly ponad 8 tys. elektromobiliv. *ITC.Ua*, 6 Mar. 2024, [itc.ua/ua/novini/za-dva-misyatsi-2024-roku-ukrayintsi-vvezly-ponad-8-tys-elektromobiliv-uvosmero-bilshe-dovoyennogo-rivnya/](http://itc.ua/ua/novini/za-dva-misyatsi-2024-roku-ukrayintsi-vvezly-ponad-8-tys-elektromobiliv-uvosmero-bilshe-dovoyennogo-rivnya/).
19. Avtozapravni Stantsii. Osnovy Proektuvannia Ta Budivnytstva (32612). [DBN V.1.1-7. Gas stations. Basics of Design and Construction (32612)] DNAOP - Zakonodavcha Baza, [dnaop.com/html/32612/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D\\_%D0%92.1.1-7](http://dnaop.com/html/32612/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.1.1-7).
20. Pro zatverdzhennia pereliku avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannia derzhavnoho znachennia. Postanova vid 15 hrudnia 2023 r. № 1318. [On approval of the list of public highways of state importance] Kabinet Ministriv Ukrainy. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-pereliku-avtomobilnykh-dorih-zahalnoho-s1318-151223>