

УДК 621.3

АВТОНОМНЕ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТА ГОСПОДАРЮВАННЯ НА ОСНОВІ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Пальчик А.О., інж.*

Тернопільський національний педагогічний університет ім.Вол.Гнатюка
Тел. (0352) 43-57-77

Анотація – у статті розкрито питання моделювання автономної енергосистеми об'єкта господарювання на базі паливних елементів та поновлювальних джерел живлення.

Ключові слова – автономні системи енергопостачання, паливний елемент, геліотермічний електролізер, водень, джерело живлення.

Постановка проблеми. При переході об'єктів господарювання на живлення від альтернативних джерел енергозабезпечення неминуче виникає необхідність в акумуляції енергії через мінливість її надходження від вітрогенераторів і сонячних панелей, протягом доби і року. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є акумуляція енергії у вигляді водню. На відміну від використання акумуляторних батарей, застосування технологій паливнокомірчаних джерел живлення забезпечує зберігання надлишків енергії у великих обсягах та протягом тривалого часу без присутності струмів саморозряду із високими енергоємнісними показниками.

Аналіз останніх досліджень. У наукових працях вітчизняних та закордонних авторів розкриті питання, пов'язані з побудовою джерел живлення на базі альтернативних джерел, розглянуто ключові засади створення розподілених енергосистем та можливість використання паливних елементів [1,2]. Проте питання практичного розрахунку енергосистем на базі паливних елементів та альтернативних джерел живлення науковцями висвітлено недостатньо.

Формулювання мети статті. Метою створення моделі живлення є визначення генеруючих потужностей (вітрогенератора, електролізера, фотогальванічної панелі, ємності акумуляторної батареї, сховища для водню) у відповідності до часу утримування навантаження та його потужності.

© інж. Пальчик А.О.

* Науковий керівник – д.т.н., проф. Федорейко В.С.

Основна частина. Призначення системи енергозабезпечення на основі паливних елементів полягає у забезпеченні споживача гарантованим і стабільним живленням електроенергією. Розроблена нами модель джерела гарантованого енергозабезпечення на основі паливних елементів та альтернативних джерел енергії містить: фотопанель (I), систему паливного елемента (IX), конвертори (IV, V, VI), інвертори (III), акумуляторні батареї (VIII), шину живлення (VII) та вітрогенератор (II) (рис. 1). Така система перетворює енергію сонячного та вітрового потоку в електроенергію і після її стабілізації та перетворення у конверторах та перетворювачах напруги усі енергетичні потоки підключаються до шин живлення. Також до шин живлення підключається акумуляторна батарея для забезпечення буферизації короточасних перепадів та утримання навантаження при відсутності або недостатньої інтенсивності надходження енергії від альтернативних джерел. Паливний елемент, у цьому випадку, використовується при довготривалих перепадах надходження енергії.

Енергія, отримана від мережі та альтернативних джерел розподіляється між трьома колами таким чином: подається споживачеві, надходить для зарядки акумуляторної батареї, використовується для генерації водню.



Рис. 1. Модель джерела живлення на основі паливних елементів.

Розглядаючи джерело живлення з точки зору кусково-лінійних систем, його складові елементи можна представити у формі кортежів із відповідними входами та виходами кожного елемента (рис. 1) [1]. Де модулі системи представлені як E - елемент для якого: X_E - системний вхід; Y_E - системний вихід; F_E - передаточна функція; P_E -

конструктивні параметри; Z_E - стан.

Математичну модель джерела живлення на основі паливних елементів подано у вигляді сукупностей моделей її підсистем. Тому залежності системних виходів геліоустановки та вітрогенератора описуються відносно їх системних входів і конструктивних параметрів:

$$Y_I = F_I(X_I, P_I), \quad (1)$$

$$Y_{II} = F_{II}(X_{II}, P_{II}). \quad (2)$$

В елементах III, IV, V, VI (рис. 1) відбувається перетворення електричної енергії та її стабілізація. Конструктивні параметри цих модулів не змінюються відносно часу, тому їх вплив на джерело живлення можна представити через коефіцієнти корисної дії k_{III} , k_{IV} , k_V , k_{VI} . Відповідно залежність вхідного потоку енергії до вихідного можна представити такими виразами:

$$Y_V = F_I(X_I, P_I)k_V, \quad (3)$$

$$Y_{VI} = F_{II}(X_{II}, P_{II})k_{III}k_{VI}, \quad (4)$$

$$Y_{IV} = X_{IV}k_{IV}. \quad (5)$$

Шина живлення VII розподіляє отриману електроенергію в системі на живлення споживача, підзарядку акумулятора та генерацію палива у підсистемі паливних елементів

$$Y_{VII}^{(11)} + Y_{VII}^{(14)} + Y_{VII}^{(16)} = Y_V + Y_{VI} + Y_{VII} + Y_{VIII} + Y_{IX}. \quad (6)$$

Акумуляторна батарея описується зміною стану елемента VIII відносно саморозряду, заряду чи розряду акумулятора

$$\frac{\partial Z_{VIII}}{\partial \tau} = Y_{VII}^{(14)} - Y_{VIII}^{(13)} - Y_{VIII}^{(12)}. \quad (7)$$

Акумуляторні батареї не можуть перебувати у стані глибокого саморозряду і тому вони характеризуються певною ємністю і їх стан має верхню та нижню межу

$$Z_{\min VIII} \leq Z_{VIII} \leq Z_{\max VIII}. \quad (8)$$

Підсистему паливного елемента можна описати аналогічно до акумуляторної батареї, оскільки вона виконує подібну функцію, проте відрізняється відсутністю струму саморозряду

$$\frac{\partial Z_{IX}}{\partial \tau} = Y_{VII}^{(16)} - Y_{IX}^{(15)}. \quad (9)$$

Також підсистема паливного елемента характеризується певною ємністю, яка залежить від конструкції та типу сховища для пального та окисника

$$Z_{\min IX} \leq Z_{IX} \leq Z_{\max IX}. \quad (10)$$

Проміжок часу, в якому аналізується джерело живлення описується так

$$\tau \in [\tau_0, \tau_k]. \quad (11)$$

Цільова функція джерела гарантованого живлення відповідає мінімізації витрат на перетворення енергії та підтримки системи у робочому стані

$$\sum (A_E + B_E \cdot P_E + \int V_E \cdot X_E \cdot \delta\tau + \int W_E \cdot Y_E \cdot \delta\tau) \rightarrow \min, \quad (12)$$

де $V_E \cdot X_E$ - приведені витрати: на одиницю системного входу; $W_E \cdot Y_E$ - одиницю системного виходу; $A_E + B_E \cdot P_E$ - на створення та підтримку у робочому стані конструктивних параметрів.

Аналітичний розрахунок такої моделі значно ускладнений через випадковий характер розподілу інтенсивності надходження енергії від альтернативних джерел, як протягом сезону так і відносно імовірного місцезнаходження. Тому, в процесі імітаційного моделювання входними величинами для функцій були результати метеорологічних спостережень (для моделювання було обрано центральну Україну станом на 2009-2010 р.) та характеристики конкретних елементів системи автономного живлення.

Для розрахунків генеруючих потужностей ми обрали характеристики вітрогенератора GE S2000 та підбірки монокристалічних сонячних панелей PC235*245-36M277-M. В якості паливного елемента використовувались характеристики стеку H-3000 фірми Horizon fuel cell technologies та електролізерів власної конструкції на базі розчину гідроксиду калію та геліотермічний електролізер розплаву гідроксиду натрію.

Для дослідження перехідних процесів, на момент розряду акумуляторної батареї та введення в експлуатацію паливного елемента нами розроблена імітаційна модель 60-ти вольтової системи із максимальною потужністю 6 кВт (рис. 2). До моделі входять блоки контролю потоку палива (1,2) паливний елемент (3), акумуляторна батарея (4), шунти (5,7) та вольтметр (6) навантаження (8). Під час розряду акумуляторної батареї (рис 3, а), ми спостерігали падіння напруги загальної шини (рис 3, в). Коли напруга падала до рівня, який забезпечувався стекком паливних елементів, споживання палива плавно зростало і комірка поступово входила у робочий діапазон (рис 3, б). Ця модель дозволила отримати інформацію про споживання водню стекком паливних елементів.

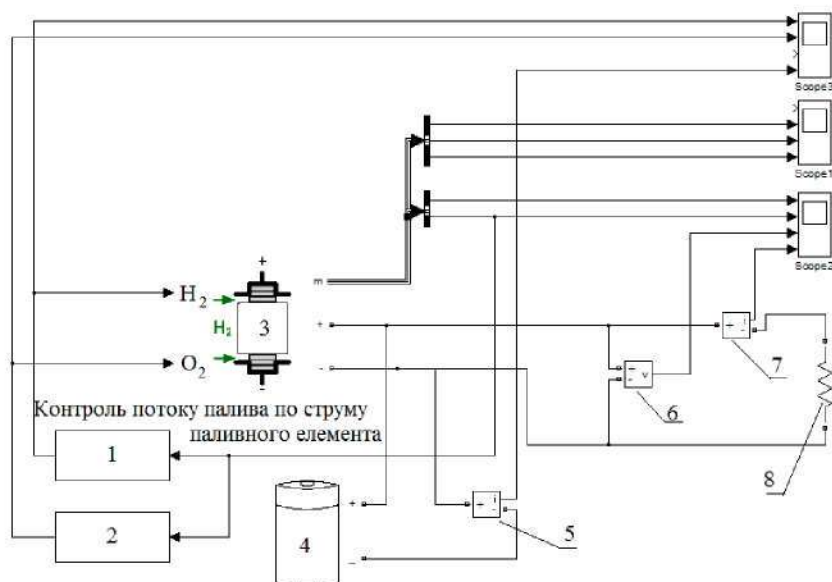


Рис. 2. Імітаційна модель системи живлення на основі паливного елемента та акумуляторної батареї із спільною шиною.

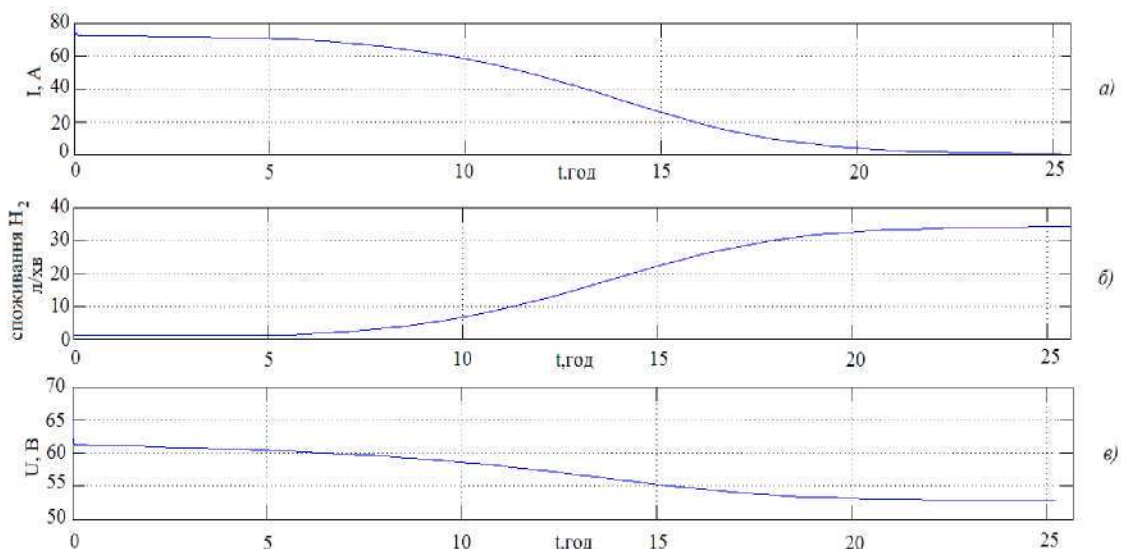


Рис. 3. Перехідні процеси під час запуску паливного елемента.

Під час дослідження використовувались характеристики класичних електролізерів, та розробленого геліотермічного електролізера розплаву гідроксиду натрію. При подальшому моделюванні було досліджено характер навантаження, яке створює об'єкт господарювання (житло 1-го виду) [3] на джерело живлення протягом доби (рис 4). Ми провели імітаційне моделювання роботи джерела автономного живлення за допомогою розробленої моделі, журналів сонячної активності отриманих у результаті метеоспостережень та користуючись архівними даними по швидкості вітру гідрометеоцентру [4].

У результаті моделювання отримано значення потужності первинних перетворювачів, а також розраховано об'єм сховища для водню та потужність електролізера.

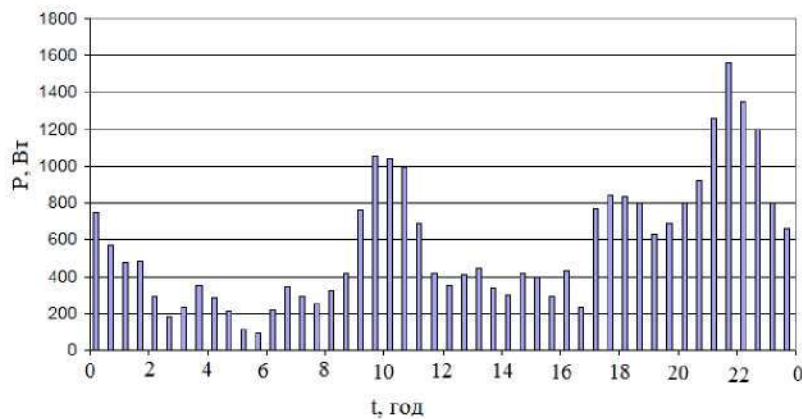


Рис. 4. Розподіл навантаження об'єкту господарювання протягом доби.

Розроблений нами геліотермічний електролізер працював при інтенсивності сонячної радіації понад 500 Вт/м^2 . За рахунок проведення електролізу в розплаві процес виробництва водню у ньому можливий при напрузі меншій 1 В , що суттєво знижує енерговитрати на його генерацію [5]. Такий підхід дозволив зменшити потужність первинних перетворювачів енергії на 11%. Отримані розрахунки показали, що для утримання навантаження, яке зумовлене обраним об'єктом господарювання на джерело живлення, необхідно встановлювати сонячну панель потужністю близько $1,5 \text{ кВт}$, а також вітрогенератор $2,7 \text{ кВт}$. Об'єм сховища водню для акумуляції надлишків енергії склав 800 м^3 . Зазначимо, що при збільшенні потужності вітрогенератора до 3 кВт та зменшенні потужності фотопанелі до $1,1 \text{ кВт}$ для накопичення енергії у вигляді водню необхідно значно менше сховище об'ємом до 600 м^3 (рис. 5). Таким чином, використання паливного елементу дозволяє побудувати джерело автономного живлення із можливістю зберігання надлишкової енергії, отриманої за період її максимального надходження для використання у холодну пору року.

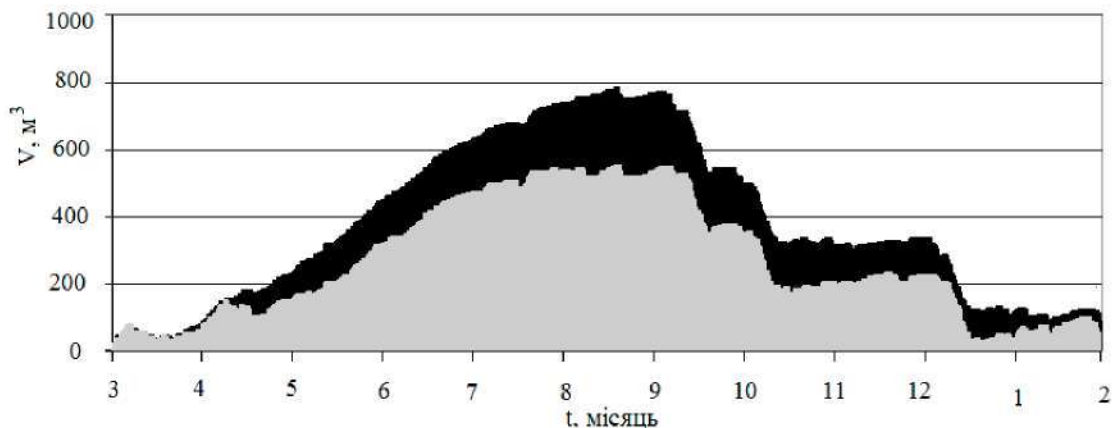


Рис. 5. Динаміка накопичення водню у сховищі протягом року.

Під час розробки джерел автономного енергозабезпечення на основі паливних елементів необхідно вирішити проблему ергономічного та безпечного зберігання водню. Цю проблему можна вирішити шляхом удосконалення технології геліотермічного електролізера, зміщенням електрохімічного процесу у бік генерації металічного натрію. Такий підхід дозволить утримувати у 2,2 кілограмах натрію 1 м³ H₂. Перспективним напрямком досліджень є отримання водню з реформованого біогазу, оскільки цей вид альтернативного енергозабезпечення відносно постійний у часі, а його використання дозволить значно знизити об'єми сховища та потужність первинних перетворювачів.

Висновки. 1. Отримані параметри автономної енергосистеми обраного об'єкта господарювання дозволили отримати практичне значення потужності фотогальванічних панелей (1,1 кВт) та вітрогенератора (3 кВт) для утримування навантаження в автономному режимі;

2. Розрахунки системи показали, що для акумуляції надлишкової енергії у вигляді хімічного палива джерелу живлення на базі паливних елементів необхідно сховище об'ємом у 600 м³;

4. Використання геліотермічного електролізера дозволяє знизити необхідну потужність первинних перетворювачів енергії (фотогальванічної панелі та вітрогенератора) на 11 %;

3. Імітаційне моделювання підсистеми акумуляції енергії дозволило отримати значення витрат водню 34 л/хв. відносно заданого навантаження.

Література

1. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А.В.Праховник. – К. : "Освіта України", 2007. - 464 с.

2. Жесан Р. В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлювальних джерел енергії в умовах селянського (фермерського) господарства : дис. канд.техн. наук:

05.13.07 / Кіровоградський державний технічний університет. – 2001. – 207 с.

3. *Бондарчук А.С.* Априорний аналіз нормативних показників проектування електрообладнання систем електропостачання житлових будинків / *А.С. Бондарчук* // Електромашинобудування та електрообладнання. - 2010. - № 75. - С. 79–82.

4. <http://www.meteo.com.ua/>

5. *Пальчик А.О.* Використання геліотермічного електролізера у системах автономного живлення / *А. О. Пальчик, В. С. Федорейко* // Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах : мат-ли міжн. наук.-техн. конф. - Київ : НУБ і ПУ. - 2010. - 5 с.

АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Пальчик А. О.

Аннотация - в статье раскрыты вопросы моделирования автономной энергосистемы объекта хозяйствования на основе топливных элементов и возобновляемых источников питания.

INDIVIDUAL ENERGY POWER SUPPLY FOR THE OBJECT OF ECONOMY BASED ON FUEL CELLS AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

A. Palchyk

Summary

The article deals with modeling the autonomous power of enterprises based on fuel cells and renewable power sources.