

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.311.26.031

О.С. Бешта¹, д-р техн. наук, проф., член-кор. НАН
України,
В.С. Федорейко², д-р техн. наук, проф.,
А.О. Пальчик², канд. техн. наук,
Н.В. Бурега²

1 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна
2 – Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка, м. Тернопіль, Україна,
e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

АВТОНОМНЕ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ НА ОСНОВІ БІОТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ

O.S. Beshta¹, Corresponding Member of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Dr. Sci. (Tech.), Pro-
fessor,
V.S. Fedoreiko², Dr. Sci. (Tech.), Professor,
A.O. Palchyk², Cand. Sci. (Tech.),
N.V. Burega²

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: beshtaa@nmu.org.ua
2 – V. Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: kaf_mki@tnpu.edu.ua

AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF THE OBJECTS BASED ON BIOSOLID OXIDE FUEL SYSTEMS

Мета. Обґрунтування можливості імплементації мікробіотехнологій в автономній системі електроживлення на основі твердооксидного паливного елемента для забезпечення інтенсифікації надходження енергії поновлюваних джерел та зменшення кількості викидів парникових газів.

Методика. Дослідження процесу гарантованого енергозабезпечення базується на законах збереження маси, електротехніки, електрохімії; на біологічних процесах фотосинтезу та анаеробної ферментації з використанням даних, отриманих на основі методів імітаційного та фізичного моделювання.

Результати. Розглянуті біологічні особливості мікробіодоростей, перспективи їх використання та конструкції промислових циліндричних і плоских фотобіореакторів для їх вирощування; досліджений сучасний стан систем автономного енергозабезпечення та особливості їх роботи; проаналізовані перспективи використання анаеробних ферментаторів у складі твердооксидних систем паливних елементів та робота імітаційної моделі електротехнологічного комплексу автономного енергопостачання на базі паливних елементів і альтернативних джерел енергії. Запропоновані шляхи модернізації енергетичних характеристик та схема трубчастого фотобіореактора з можливістю внутрішньої підсвітки й первинною системою фільтрації. Розроблена технологічна схема автономного енергозабезпечення об'єкту господарювання на базі вітрогенератора, твердооксидного паливного елемента та фотоанаеробного біореактора.

Наукова новизна. Обґрунтована доцільність використання біологічних технологій, анаеробної ферментації та фотосинтезу в енергетичному комплексі систем автономного енергопостачання на основі паливних елементів для відбору й акумуляції енергії поновлювальних джерел, а також утилізації побутових відходів та вуглекислого газу.

Практична значимість. Розроблені структурні та технологічні схеми комплексу автономного енергопостачання об'єкту господарювання на основі використання сонячної енергії, вітрового потоку, твердооксидних паливних елементів та фотоанаеробних біореакторів.

Ключові слова: біопаливо, мікробіодорості, твердооксидний паливний елемент, анаеробний процес, фотобіореактор, автономний об'єкт господарювання

Вступ. Споживання енергії у світі зростає, ресурси надр біосфери постійно зменшуються, – унаслідок чого відбувається суттєвий негативний антропогенний вплив. Екологічні проблеми у значній мірі виникають

у зв'язку з надмірною емісією та втручанням техногенезу до речовинно-енергетичного балансу планети шляхом викидів великої кількості вуглекислоти. Викиди діоксиду вуглецю пов'язані з необхідністю генерувати електричну, теплову або механічну енергію в різноманітних енергетичних системах.

© Бешта О.С., Федорейко В.С., Пальчик А.О., Бурега Н.В., 2015

Альтернативні види палива виступають головним каталізатором нових глобальних тенденцій на ринку енергетики, що об'єктивно зумовлено скороченням запасів корисних копалин, високою залежністю країни від імпорту нафти та газу, зміною структури агропромислового виробництва. Фахівці всього світу спрямовують значний науковий та виробничий потенціал на зменшення енергетичної залежності від викопного палива. Широкомасштабне використання енергії біомаси, сонця, вітру, мікроорганізмів, води дозволить стабілізувати речовинно-енергетичний баланс планети, що в даний момент досягає рівня загрози.

Сьогодні широко розвиваються технології, спрямовані на зменшення викидів парникових газів, пов'язані зі створенням автономних енергетичних комплексів на базі поновлювальних джерел енергії. Проте використання енергії вітрового потоку та сонячної радіації значно ускладнено через стохастичний характер її надходження та нерівномірне споживання. Тому в автономних енергетичних комплексах існує необхідність акумуляції надлишків енергії на період, коли вона стане недоступною або її надходження буде недостатнім для забезпечення необхідних параметрів енергопостачання. Для роботи протягом річного циклу даний підхід передбачає використання об'ємних сховищ хімічної енергії та електрохімічних акумуляторів великої ємності.

Одним із перспективних напрямів, що на сьогодні розвиваються, є використання мікроорганізмів в енергетичних комплексах для генерації біогазу, біодизелю та водню.

Першопрохідцями вважаються такі вчені, як: David Sieg, Tram Ngyue, Ayhan Demirbas [1], які вперше заговорили про енергетичні цінності мікроводоростей в якості сировини для біопалива, запропонували побутові та промислові технології для їх вирощування.

Мета. Обґрунтування можливості імплементації мікробіотехнологій в автономній системі електроживлення на основі твердооксидного паливного елемента для забезпечення інтенсифікації надходження енергії поновлюваних джерел та зменшення кількості викидів парникових газів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження процесу гарантованого енергозабезпечення базується на законах електротехніки, електрохімії, збереження маси; на біологічних процесах фотосинтезу та анаеробної ферментації з використанням даних, отриманих на основі методів імітаційного та фізичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Вирощування мікроводоростей дозволяє вирішити одне з головних питань людства – зниження кількості діоксиду вуглецю в атмосфері, адже 1 т. фотопланктону при своєму зростанні поглинає 1,6 т. CO₂, генеруючи при цьому 1,2 т. кисню. Крім того, одноклітинні мікроорганізми здатні виробляти та накопичувати в собі тригліцериди. Частина даних олій в одній клітині мікроводорості може становити від 35 до 70%, іноді – понад 80% (*Botryococcus braunii*) [2] від загальної маси клітини. Саме ці олії є сировиною для виробництва біопалива „третього поко-

ління“, оскільки дозволяють отримувати до 94000 кг масла на 1 га.

Культивування мікроводоростей проводиться людством протягом багатьох століть, в основному – в якості їжі. Використання сухої біомаси Хлорели та Спіруліни широко розповсюджено у тваринному та рибних господарствах. Характерною й дуже важливою генетичною властивістю є їх швидке розмноження. Частота подвоєння маси в кожного виду індивідуальна: найповільніші – 1–2 рази на добу, у найшвидших – 8–10 разів.

У 2010 році Algenol Biofuels разом з компанією Dow Chemical почали будівництво експериментального заводу площею у 24 акри в Техасі, що буде споживати близько 1,8 т. CO₂ на добу від промислових підприємств і виробляти 100 000 галонів етанолу на рік. У разі успіху проекту планується будівництво промислового „очисного“ заводу біля електростанції Пуерто Лібертад у пустелі Сонора (Мексика). Масштаби підприємства становитимуть 170 000 акрів; зможуть поглинати 6 000 000 т. вуглекислоти, виробляючи 1 млрд галонів етанолу на рік. Станом на 2007 рік виробництво біогазу у країнах Євросоюзу склало 5900 кг. нафтового еквівалента, і, за оцінкою Європейської Асоціації Біомаси (АЕВІОМ), до 2020 року його вироблення вийде на рівень 40 000 кг, що становитиме 10% від газоспоживання країнами ЄС [1]. На початку 2006 року декілька компаній оголосили про початок будівництва заводів з виробництва біодизелю з водоростей: Global Green Solutions (Канада); Corporation (США) – потужністю 900 млн галонів біодизелю на рік.

З іншого боку, одним зі шляхів зменшення викидів вуглекислоти в атмосферу може бути підвищення енергоефективності генерації електричної енергії. У даному напрямі зараз розробляється ціла низка новітніх технологій, однією з яких є використання твердооксидних (SOFC – Solid Oxid Fuel Cell) або протонно-обмінних (PEMFC – Proton exchange membrane fuel cells) паливних елементів. Їх особливістю є те, що вони можуть в один технологічний етап перетворювати хімічне паливо (H₂ та CH₄) на електричний струм із надзвичайно високим ККД, що сягає близько 70%.

Використання паливних елементів разом з біотехнологіями може дозволити побудувати самодостатньої системи автономного енергопостачання об'єктів господарювання з нульовим викидом парникових газів та можливістю утилізації біологічних відходів. Такий підхід реалізується шляхом анаеробної ферментації біомаси, генерацією із неї біогазу, хімічна енергія якого використовується для виробництва електричної та теплової енергії, а продукти горіння (CO₂) повторно використовуються для генерації біомаси у фотореакторі (рис. 1). Тому дана система може забезпечувати споживачів широким спектром джерел енергії (тепловою й електричною) та енергоносіїв (біогаз і біодизель).

Використання паливного елемента обумовлене високою ефективністю (можливість використання водню в якості палива), оскільки його принцип роботи полягає в окисненні водню або метану за рахунок іонної провідності полімерних чи керамічних мембран. У випадку використання протонно-обмінного паливного

елемента, метан проходить конверсію у водень, що потім фільтрується та подається у стек.

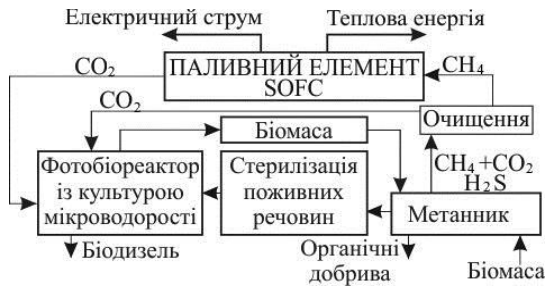


Рис. 1. Структурна схема енергосистеми на основі паливного елемента та фотобіореактора

Паливний елемент в один технологічний етап перетворює хімічне паливо (H₂ та CH₄) на електричний струм з надзвичайно високим ККД, який сягає близько 70%, що на порядок вище від двигунів внутрішнього згорання та парової турбіни (20 та 45%).

Напряг в паливному елементі залежить від потенціалу Нернста поляризації катоду, аноду та внутрішнього опору електроліту [3].

$$V = E_0 - iR_w - \eta_{cathode} - \eta_{anode} \quad (1)$$

Рівняння Нернста залежить від типу хімічної реакції. Для водню рівняння має вигляд

$$E = E^0 + \left(\frac{RT}{2F}\right) \ln\left[\frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}\right] + \left(\frac{RT}{2F}\right) \ln[P_{O_2}^{\frac{1}{2}}] \quad (2)$$

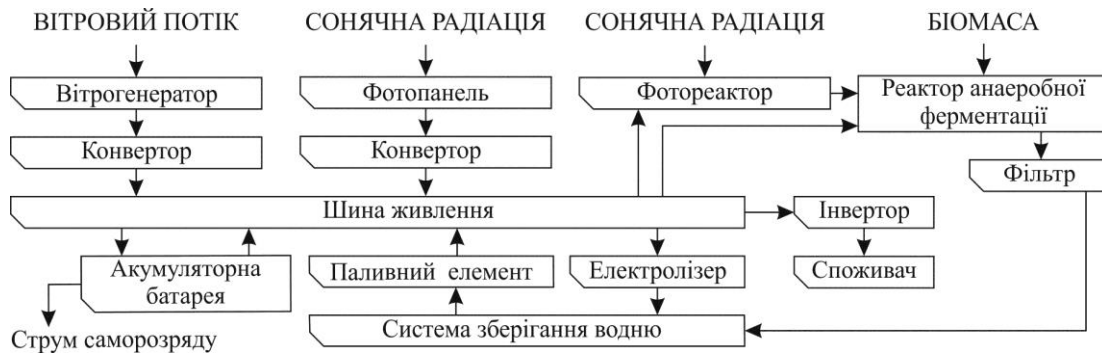
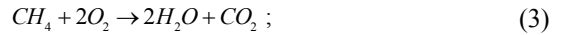


Рис. 2. Модель джерела живлення автономного енергопостачання на основі паливних елементів та поновлювальних джерел живлення

Використання енергії біомаси в системах автономного енергопостачання обумовлене ламінарністю її надходження, а отже, це дає можливість зменшити потужності вітрогенератора, фотопанелі та об'ємів сховища енергоносія. Тому для створення математичних та імітаційних моделей необхідне проведення аналізу систем біологічних реакторів для фотосинтезу та анаеробної ферментації.

За останні кілька десятиліть велика частина досліджень у сфері культивування була спрямована на розвиток відкритих великомасштабних виробничих об'єктів (ставків), що в даний час експлуатуються в усьому

Під час використання метану в якості палива, рівняння матимуть вигляд



$$E = E^0 + \left(\frac{RT}{8F}\right) \ln\left[\frac{P_{CH_4}}{P_{H_2O}^2 P_{CO_2}}\right] + \left(\frac{RT}{8F}\right) \ln[P_{O_2}^2] \quad (4)$$

Можливість використання водню в якості енергоносія дозволяє відбирати та зберігати протягом річного циклу надлишкову енергію поновлювальних джерел. Такий підхід забезпечує об'єкт господарювання енергопостачанням із трьох незалежних джерел (рис. 2): вітрового потоку, сонячної радіації та біомаси.

Використовуючи інструмент Simulink програмного середовища Matlab, на підставі розробленої математичної моделі та проведених експериментальних досліджень, створено та досліджено імітаційну модель системи автономного енергопостачання об'єкту господарювання, житла 1-го виду на основі паливного елемента, вітрогенератора та фотогальванічного елемента (рис. 3).

Імітаційне моделювання показало необхідність створення потужної системи зберігання водню (до 300 м³) (рис.4, а) протягом річного періоду (рис.4, б), що пов'язано зі стохастичним надходженням енергії із поновлювальних джерел (рис. 4, а,б,в,г).

На основі проведеного моделювання можна сказати, що надходження енергії впродовж року від поновлювальних джерел – нерівномірне та потребує більш ламінарно поновлювального джерела.

світі. Проте для використання в енергетичному комплексі дані системи не можуть бути застосовані через бактеріальне забруднення культури, кліматичну й сезонну залежність. Тому для усунення даних недоліків використовують закриті системи вирощування водоростей – фотобіореактори. Дані системи забезпечують сонячне та штучне освітлення, дозволяють контролювати всі аспекти життєвого циклу водоростей: температурний режим, рН, окисно-відновний потенціал середовища, концентрацію розчиненого кисню, рівень CO₂ та поживних речовин, швидкість руху рідини, інтенсивність перемішування.

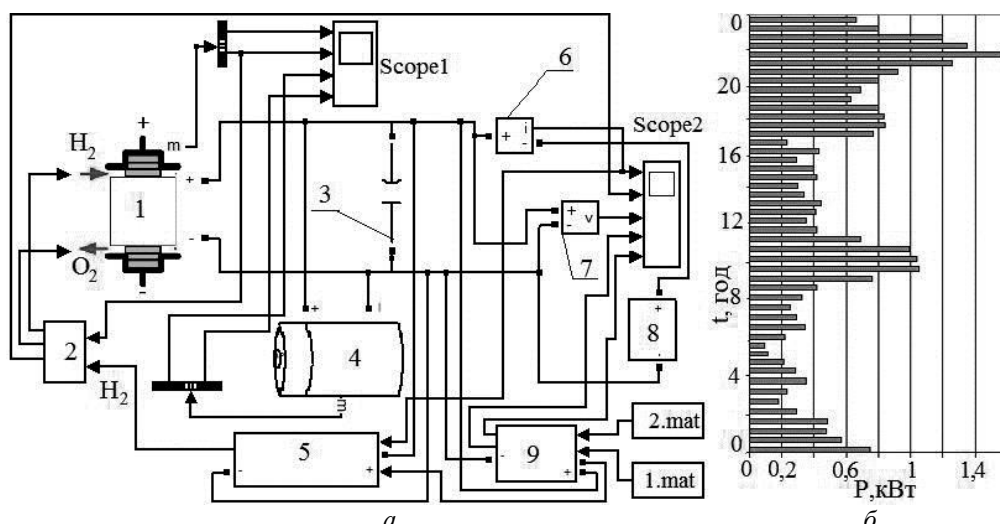


Рис. 3. Імітаційна модель системи автономного живлення (а): 1 – паливний елемент; 2 – блок контролю подачі палива; 3 – свинцево-кислотна акумуляторна батарея; 4 – електролізер; 5 – амперметр; 6 – вольтметр; 7 – блок імітації навантаження роботи житла першого виду; 8 – блок імітації фотогальванічної батареї та вітрогенератора; б – добовий розподіл навантаження об’єкта господарювання

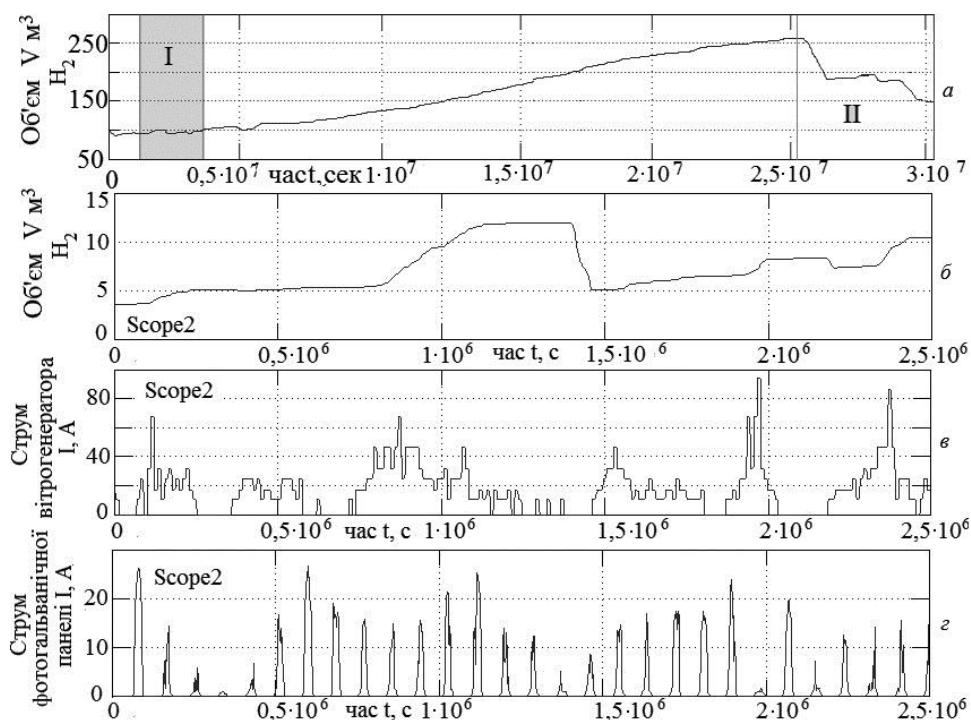


Рис. 4. Параметри роботи системи автономного енергозабезпечення: а – об’єм води у сховищі протягом року; б – об’єм води у сховищі протягом року; в – струм вітрогенератора; г – струм фотопанелі

Фотобіореактори працюють у режимах накопичення з підживленням або ж неперервного культивування – підтримка заданої густини суспензії за рахунок періодичного видалення мікрободоростей і додавання живильного розчину.

Виділяють три типи конструкції: трубчасті реактори (горизонтальні, вертикальні, спіральні), плоскопаралельний кювет, фотобіореактори на основі коаксіальних циліндрів.

Аналізуючи будову існуючих фотобіореакторів, ми виділили плоскопаралельний кювет та трубчасту сис-

тему. Саме вони, на нашу думку, є найбільш перспективними для проведення досліджень та використання у промисловому варіанті.

Плоскопаралельний кювет має ряд переваг: простота виготовлення, великий об’єм вирощуваного середовища, що вирішує питання рівномірного природного та штучного освітлення, яке забезпечує фотосинтез. Незважаючи на свою простоту, цей тип реактора є особливо корисним при вивченні фізіологічних особливостей одноклітинних мікрободоростей, ціанобактерій і дозволяє визначити основні енергетичні характеристики

ки росту. Оскільки мікроводорості мають великий вміст ліпідів (жирів), то основна їх маса буде у верхній частині. Збір водоростей здійснюється через отвір для виходу врожаю. Це є можливим за допомогою вводу води з поживним середовищем до фотобіореактора, що підносить рівень суспензії та виводить мікроорганізми із середовища вирощування.

Основним недоліком такого фотобіореактора є процес газомасообміну, що в даному типі має низькі межі (висока швидкість подачі утворює великі порожнини, і газ виходить практично без перемішування з суспензією). Це унеможливило процес збільшення швидкості подачі газової суміші, що, у свою чергу, значно ускладнює процес безперервного культивування.

При розробці плоского фотобіореактора слід урахувати його місце розміщення та положення: вертикальне чи горизонтальне. Для проведення дослідження плоскопаралельний кювет розташовували горизонтально, змінюючи положення вісі з півночі на південь та вертикально – „схід–захід“. Отримані результати показали, що для горизонтальних фотобіореакторів перехоплене випромінювання коливалося в інтервалі 11–30 МДж/м² у день, у той час як для вертикальних, з орієнтацією „схід–захід“, сумарне поглинуте випромінювання становить 13–29 МДж/м² у день. Дані показали, що в літню пору кількість отриманої сонячної радіації для двох типів є практично однаковою. Проте взимку вертикальний фотобіореактор, орієнтуванням „схід–захід“, перехопив на 17% більше радіації, ніж горизонтальна поверхня, але влітку – на 3% менше [4].

Загальною рисою трубчастих систем є наявність двох модулів: світлового та газомасообмінного. Фотосинтез, переважно, відбувається в системі прозорих трубок, що з'єднані з газомасообмінним резервуаром. Суспензія мікроводоростей постійно циркулює по прозорих трубках від резервуару до газомасообмінника. Свіже живильне середовище та газова суміш надходять до газомасообмінника, а звідти, завдяки використанню мішалок або циркуляційних насосів, – до трубчастій частини реактора. Відбір порції водоростей із трубчастого фотобіореактора проводять аналогічно плоскопаралельному кювету: підвищуючи рівень рідини та відбір крізь верхній патрубок, що забезпечує функціонування в безперервному режимі.

Конструкція системи повинна виконувати функції вимірювання та контролю температури (підтримка за допомогою теплообміну між поживним середовищем та підведеним теплоносієм), освітленості (штучної та зовнішньої), концентрації кислотності середовища (рівень рН, що регулюється шляхом уведення відповідної кількості CO₂ або розчином необхідних солей) (рис. 5).

Використовуючи прозорі полівінілхлоридні та фторопластні трубки, можна надавати конструкції фотобіореакторів різні форми. Завдяки невеликому діаметру трубок, культура мікроводоростей може бути добре освітлена навіть у центрі, що максимізує процес фотосинтезу. Оскільки фотобіореактор являє собою симбіоз технологічної системи та біологічного об'єкту, то його успішна реалізація цілком залежатиме від інженерних рішень з інтелектуального контролю середовища.

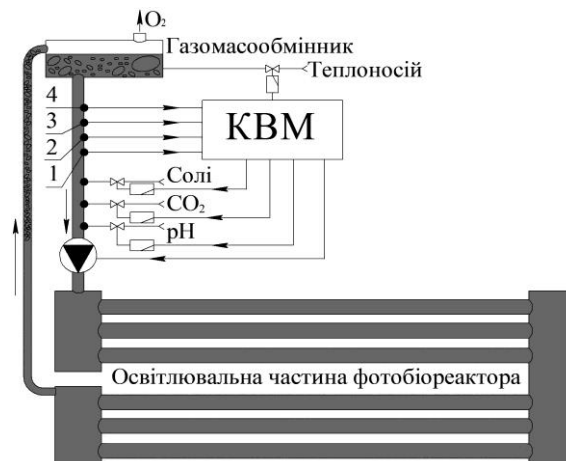


Рис. 5. Трубчастий фотобіореактор проточного типу: 1 – датчик температури; 2 – датчик рівня рН; 3 – датчик освітленості; 4 – датчик концентрації мікроводоростей

Для проведення лабораторних досліджень нами розроблений пілотний проект фотобіореактора [5], об'ємом 3 літри. Його особливістю є наявність параболічного рефлектора, що фокусує сонячне випромінювання та додаткове штучне освітлення. За активного росту мікроводорості створюють стовп у світловій зоні, тим самим обмежують проникання сонячної радіації всередину фотобіореактора, що обмежує діаметр труби при виготовленні, а, відповідно, – зменшує його об'єм. Помістивши підсвітку всередину реактора з трьома типами світлодіодів, ми покращили освітлення темної зони та зменшили утворення плівки на стінках, що зменшує коефіцієнт пропускання природного освітлення. Мікроорганізми рухаються до світліших частин фотобіореактора: удень – до зовнішніх стінок, уночі – до центру колби, де відбувається штучна підсвітка.

Проаналізувавши ефекти різної інтенсивності та кольори штучного освітлення, ми використали три типи світлодіодів (Light Emitting Diode): синій – дозволяє збільшити кількість ліпідів у складі Хлорели; червоний – сприяє росту біомаси та знижує бродіння живильного середовища; білий.

На базі розробленого фотобіореактора ведуться роботи з автоматизації його систем та досліджуються методи оцінки реакцій біологічної системи (хлорели та анабени) на зміни в харчовому середовищі, температурних та світлових режимів.

Розроблений фотобіореактор призначений для вирощування мікроводоростей в якості фільтрів вуглекислоти промислових виробництв, а також з метою генерації біомаси, яку використовують в якості харчового білка, сировини для косметики та медицини, біодизелю.

У нашій системі принципово новим методом є використання системами анаеробного бродіння, паливних елементів та мікроводоростей, що дозволить побудувати нову енергосистему нульового будинку. Провівши аналіз біогазових установок, що сьогодні комерційно використовуються, ми пропонуємо використати БГУ-05

для проведення наступних досліджень [6]. Дана установка має ряд переваг для побудови: доступна ціна, раціональний об'єм реактора та газового сховища, велика площа внесення органічних добрив.

На основі даної установки розроблена технологічна енергосистема (рис. 6), що працює із замкнутим колом кругообігу вуглекислоти (у фотоанаеробному біо-

реакторі). Передбачається використання побутових харчових відходів, залишків тваринництва та рослинництва для утворення біогазу, що очищується від домішок сірководню й вуглекислоти.

Утворений біогаз використовується для генерації електричної та теплової енергії, а біомаса мікроорганізмів слугує в якості біосировини.

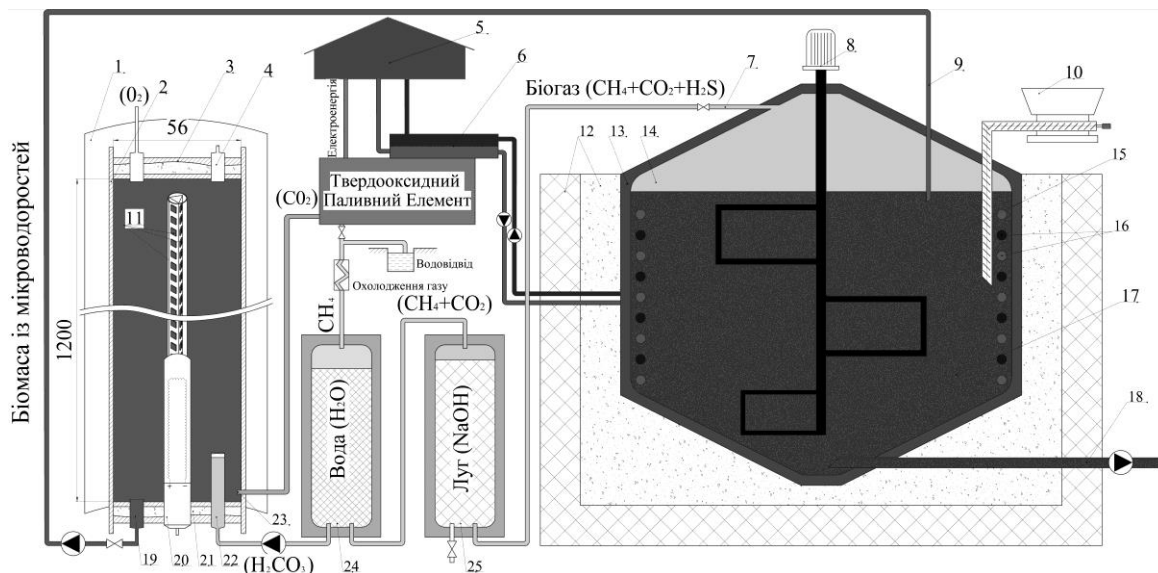


Рис. 6. Технологічна система використання фотоанаеробного біореактора на базі твердооксидного паливного елемента: 1 – параболічний рефлектор; 2 – полікарбонатна труба товщиною 4,5 мм; 3, 21 – полікарбонатна кришка; 4 – отвір для введення харчового середовища; 5 – об’єкт господарювання; 6 – теплообмінник; 7 – відведення біогазу із ферментатора; 8 – електродвигун; 9 – злив біомаси мікробіореактора; 10 – завантажувальний шнек біомаси; 11 – світлодіодні стрічки; 12 – теплоізоляція (бетонні блоки та пісок); 13 – корпус сметанника; 14 – сховище біогазу; 15 – перемішувач; 16 – трубки теплообміну; 17 – органічна біомаса; 18 – вивантажувальний отвір органічних залишків; 19 – отвір зливу біомаси; 20 – підігрівач з регулятором температури; 22 – отвір для подачі води з діоксидом вуглецю; 23 – отвір для подачі CO₂; 24 – резервуар для очищення вуглекислоти; 25 – резервуар для очищення від сірководню

Запропонована система дозволить мінімізувати викиди діоксиду вуглецю до атмосфери та згладить нерівномірне надходження поновлюваної енергії для автономного об’єкта господарювання.

Висновки.

1. Перспективний шлях підвищення ефективності генерації електроенергії, отриманої із біогазу (шляхом анаеробної ферментації), з 20–45 до 70% – це використання твердооксидних паливних елементів. Застосування фотобіореакторів забезпечує фільтрацію біогазу від CO₂ (20–50%) та дозволяє отримати додаткову масу ліпідів до 94000 кг/га як сировину для подальшої ферментації або синтезу біодизелю.

2. На основі імітаційного моделювання електротехнологічного комплексу автономного енергопостачання на базі поновлюваних джерел, обґрунтовані можливості імplementації мікробіотехнологій в автономну систему електроживлення на основі твердооксидного паливного елемента.

3. Запропонована технологічна схема енергозабезпечення об’єкта господарювання за рахунок використання фотоанаеробного біореактора та твердооксидного паливного елемента.

Список літератури / References

1. Demirbas, A. and Demirbas, M.F. (2010), “Algae Energy. Algae as a New Source of Biodiesel”, Springer-Verlag London Limited, p. 204.
2. Thompson, R.W. and Advisor, M. (2010), “Algae Biodiesel”, *An Interactive Qualifying Project Report submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute*, pp. 13–15.
3. Strasser, K. (1990), “An investigation on the performance optimization of an alkaline fuel cell”, *Journal of Power Sources*, pp. 152–153.
4. Sierra, E., Acien, F.G., Fernande, J.M., Garcia, J.L. and Gonzalez, C. (2008), “Characterization of a flat plate photobioreactor for the production of microalgae”, *Chemical Engineering Journal*, no.138, Almeria, Spain, pp. 136–147.
5. Пальчик А. О. Використання фотобіореактора в альтернативних системах енергозабезпечення / А.О. Пальчик, Н. В. Бурга // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Вип. 13. – Т. 5. – С. 41–47.
6. Palchyk, A.O. and Burega, N.V. (2013), “Use of photobioreactor in alternative system of energy”, *Pratsi Tavriiskoho Derzhavnoho Ahrotekhnolohichnoho Universytetu*, vol.13, no. 5, pp. 41–47.

6. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии / Г. Бурга, К. Ригер, П. Вайланд, Й. Шредер // Публикация специального агентства возобновляемых ресурсов. – 2010. – Изд. 1. – С.8–35.

Burga, G., Ryger, K., Vajland, P. and Shreder, J. (2010), "Biogas is based on renewable raw materials. Comparative analysis of sixty-one biogas plants in Germany", *Publykatsyya Spetsyalnogo Agentstva Vozobnovlyayemykh Resursov*, no. 1, pp. 8–35.

Цель. Обоснование возможности имплементации микробиотехнологий в автономной системе электропитания на основе твердооксидного топливного элемента для обеспечения интенсификации поступления энергии возобновляемых источников и уменьшения количества выбросов парниковых газов.

Методика. Исследование процесса гарантированно энергообеспечения базируется на законах сохранения массы, электротехники, электрохимии; на биологических процессах фотосинтеза и анаэробной ферментации с использованием данных, полученных на основе методов имитационного и физического моделирования.

Результаты. Рассмотрены биологические особенности микроводорослей, перспективы их использования и конструкции промышленных цилиндрических и плоских фотобиореакторов для их выращивания; исследовано современное состояние систем автономного энергообеспечения и особенности их работы; проанализированы перспективы использования анаэробных ферментаторов в составе твердооксидных систем топливных элементов и работа имитационной модели электротехнологического комплекса автономного энергообеспечения на базе топливных элементов и альтернативных источников энергии. Предложены пути модернизации энергетических характеристик и схема трубчатого фотобиореактора с возможностью внутренней подсветки и первичной системой фильтрации. Разработана технологическая схема автономного энергообеспечения объекта хозяйствования на базе ветрогенератора, твердооксидного топливного элемента и фотоанаэробного биореактора.

Научная новизна. Обоснована целесообразность использования биологических технологий, анаэробной ферментации и фотосинтеза в энергетическом комплексе систем автономного энергообеспечения на основе топливных элементов для отбора и аккумуляции энергии возобновляемых источников, а также утилизации бытовых отходов и углекислого газа.

Практическая значимость. Разработаны структурные и технологические схемы комплекса автономного

энергообеспечения объекта хозяйствования на основе использования солнечной энергии, ветрового потока, твердооксидных топливных элементов и фотоанаэробных биореакторов.

Ключевые слова: биотопливо, микроводоросли, твердооксидный топливный элемент, анаэробный процесс, фотобиореактор, автономный объект хозяйствования

Purpose. The research established a scientific rationale of the possibility of microbiotechnology implementation in autonomous power supply systems that are based on solid oxide fuel cell to provide the renewable energy supply intensification and to reduce greenhouse gases emission.

Methodology. The research of the process of guaranteed power supply was based on the laws of conservation of mass, electrical engineering and electrochemistry; on the biological processes of photosynthesis and anaerobic fermentation using the data obtained from simulation techniques and physical modeling.

Findings. The biological characteristics of microalgae, the prospects of its use, and construction of industrial cylindrical flat photobioreactors for its cultivation were considered. Current state of autonomous power supply systems and their features were investigated. The prospects of anaerobic fermenters of solid oxide fuel cells were analyzed. The performance of the electrotechnological simulation model of autonomous energy supply based on fuel cells and alternative energy sources was also analyzed, and the ways of modernization of the energy characteristics were established. The scheme of tubular photobioreactors with the possibility of internal illumination and primary filtration system and the technological scheme of an autonomous facility energy supply based on a wind turbine, solid oxide fuel cells, and photoanaerobic bioreactor were proposed.

Originality. The research considered the expediency of use of biological technologies, anaerobic fermentation and photosynthesis, in the energy complex of autonomous power supply systems based on fuel cells for selection and accumulation of energy from renewable sources, and for waste and carbon dioxide disposal.

Practical value. The structural and technological schemes of an autonomous facility energy supply using solar energy, wind flow, solid oxide fuel cells and photoanaerobic bioreactors have been designed.

Keywords: biofuel, microalgae, solid oxide fuel cell, anaerobic process, photobioreactor, autonomous business facility

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук М.Г. Тарасенком. Дата надходження рукопису 05.02.14.