

УДК 620.91:523.9(045)

## УСТАНОВКА ДЛЯ БІОКОНВЕРСІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

С. Й. Шаманський, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет

Shamanskiy\_s\_i@mail.ru

*Проаналізовано переваги та недоліки відомих установок для конверсії сонячної енергії у біомасу. Запропоновано нову конструкцію установки безперервної дії. Показано її головні переваги для виробництва альтернативних видів палива. Окреслено перспективи її використання.*

**Ключові слова:** альтернативна енергетика, біоконверсія, біопаливо, екологічна безпека, мікроводорості, фотобіореактор.

*Advantages and disadvantages of known installations for conversion solar energy into biomass are analyzed in the paper. A new construction of continuously working installation for bioconversion is proposed here. Its main advantages while using for alternative fuel production are discussed. The most promising perspectives of its usage are outlined.*

**Keywords:** alternative power engineering, bioconversion, biofuel, environmental safety, microalgae, photobioreactor.

### Вступ

Конверсія сонячної енергії у біомасу є одним із важливих напрямків альтернативної енергетики. Вона здатна внести суттєвий внесок у вирішення енергетичної кризи (потік сонячної енергії на землю на багато порядків перевищує енергетичні потреби людства), а також у вирішення проблем екологічної безпеки народного господарства (зниження викидів токсичних речовин та CO<sub>2</sub> з продуктами згоряння).

Із біомаси сьогодні можна виготовляти різні види альтернативних моторних палив, такі як біоетанол, біогаз, біодизель тощо.

Вона також може бути цінною сировиною, що здатна замінювати нафту на хімічних підприємствах, а також іншу сировину на підприємствах з виготовлення косметичних засобів, кормових продуктів, харчових добавок та інших.

### Постановка проблеми

Як біомасу для вирощування використовують як наземні культури так і водні.

Перевагою водних культур є те, що вони не потребують використання значних площ родючих земель.

Серед таких культур найбільш перспективними можна вважати мікроводорості.

Окремі їх види на порядки переважають наземні за швидкістю приросту біомаси та за вмістом олій, багатих на ліпіди [1].

Можна рекомендувати для вирощування такі культури, відсотковий вміст ліпідів у різних расах яких коливається в межах [2]: *Botryococcus brounii* — 25...85 %; *Neochloris oleoabundans* — 35...54 %; *Stichococcus sp.* — 40...59 %; *Nannochloropsis sp.* — 31...68 %; *Dunaliella tertiolecta* — 36...42 %; *Dunaliella salina* — 16...44 %; *Haematococcus pluvialis* — 25...45 %; *Senedesmus dimorphus* — 16... 44 %; *Prymnesium parvum* — 22...38 %; *Tetraselmis suecica* — 20...30 %; *Chlorella sp.* — 28...32 %; *Chlorella vulgaris* — 14... 22 %; *Isochrysis galban* — 22...38 %; *Euglena gracilis* — 14... 20 %.

Мікроводорості можна вирощувати як у відкритих водоймах, так і в спеціальних установках — фотобіореакторах. Останні мають багато переваг, такі як незначна залежність від погодних умов, краща можливість створювати сприятливі умови для приросту біомаси, можливості автоматизації процесів тощо.

Разом з тим масового розповсюдження фотобіореактори ще не набули через наявність певних недоліків. Тому дослідження, пов'язані зі створенням більш досконалих конструкцій є на сьогодні актуальними.

У статті запропоновано нову конструкцію фотобіореактора безперервної дії, яка володіє певними перевагами над досі відомими. Її базові конструктивні елементи захищені патентом України [3].

### Аналіз досліджень і публікацій

Існуючі фотобіореактори дуже сильно відрізняються за конструкціями. Загалом їх можна поділити на реактори відкритого та закритого типів. Реактори відкритого типу включають фотоблоки у вигляді відкритих ємностей, заповнених культуральною рідиною з водоростями. Серед інших недоліків вони мають багато тих самих, що і відкриті водойми, хоча мають і ряд суттєвих переваг. Як приклад можна навести конструкцію фотоблока [4] у вигляді широкого прямокутного корита з невисокими стінками та днищем, яке не є плоским, а складається з поздовжніх площин, розташованих по чергово під гострим та прямим кутами. В результаті цього днище має поздовжні гребені та впадини, а його поперечний переріз є пілоподібним. Уздовж гребенів розташовуються трубки, оснащені форсунками, направленими паралельно похилім площинам від гребенів до западін. Через форсунки пропускають газоповітряну суміш з умістом  $\text{CO}_2$  (0,5...1 %).

Напрямки газоповітряних струмин та профіль днища приводять до постійного барботажного перемішування біомаси в рідині. Природне або штучне освітлення падає на відкриту поверхню рідини і, завдяки малій товщині шару та перемішуванню, може освітлювати різні шари біомаси водоростей.

Одним з головних недоліків такого фотоблока, як і реакторів відкритого типу, є досить велика витрата  $\text{CO}_2$  на одиницю готової культивованої біомаси. Для забезпечення доброї освітленості такий фотоблок повинен мати велику площу поверхні та малу глибину. Мікродорості отримують необхідний  $\text{CO}_2$  переважно з культуральної рідини. Виходячи з форсунок під певним тиском,  $\text{CO}_2$  деякий час знаходиться у рідині, де його частина розчиняється.

Частина, що не встигає розчинитися, піднімається на поверхню і виходить у атмосферу, тобто втрачається. Через те, що фотоблок є мілкий, а швидкість розчинення  $\text{CO}_2$  у воді мала, то його частка, що втрачається виходом в атмосферу є досить значною.

Іншим суттєвим недоліком такого типу конструкцій є складність забезпечення неперервності процесу культивування.

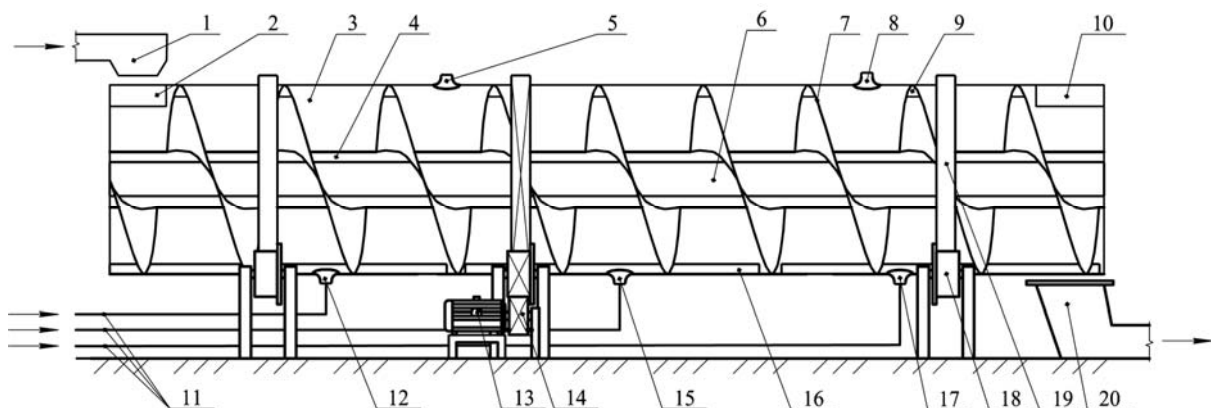
Реактори закритого типу містять фотоблоки у вигляді закритих колб, баків, інших посудин з прозорого матеріалу, наповнених культуральним середовищем та мікродоростями. Вони не мають деяких недоліків, притаманних відкритим водоймам.

Показовим прикладом може слугувати установка [5], яка складається з кількох фотоблоків у вигляді прозорих посудин, розташованих по периферії плоского круглого піддону, тобто по колу. В середині кільця (між посудинами) розташовується джерело штучного освітлення у вигляді лампи. В центрі піддона виконано отвір для встановлення лампи у робоче положення. Освітлення може здійснюватися сонячним світлом чи лампою (за необхідності).

Недоліком таких установок можна назвати неможливість подачі  $\text{CO}_2$  у культуральну рідину в процесі культивування. Це можна робити лише під час завантаження посудин. Проте розчинність  $\text{CO}_2$  у воді обмежена, тому і продуктивність таких установок обмежується кількістю розчиненого  $\text{CO}_2$ . В таких фотоблоках також складно забезпечити неперервність процесу культивування та автоматизувати цей процес [6].

Пропозиції щодо конструкції установки для біоконверсії неперервної дії

Конструктивна схема установки неперервної дії, що пропонується, зображена на рисунку.



Конструктивна схема установки для біоконверсії сонячної енергії безперервної дії

- 1 — завантажувальний пристрій; 2 — люк для завантаження; 3 — прозорий корпус; 4 — внутрішній вал;  
 5 — скидний клапан; 6 — джерело штучного освітлення; 7 — шнекова лопатка; 8 — скидний клапан; 9 — прорізи;  
 10 — люк для вивантаження; 11 — гнучкі шланги; 12 — ніпель; 13 — електропривід; 14 — зубчаста передача;  
 15 — ніпель; 16 — барботажні трубки; 17 — ніпель; 18 — опорні ролики; 19 — напрямні;  
 20 — вивантажувальний пристрій

Запропонована конструкція являє собою закритий фотоблок з прозорого матеріалу, виконаний у вигляді горизонтально орієнтованого циліндра 3 відносно невеликого діаметра, що виконує роль корпусу. В середині циліндра розташовано співвісний з ним прозорий вал 4, який серед іншого, виконує функцію джерела штучного освітлення. Освітлювальні лампи 6 можуть знаходитися всередині прозорого циліндра (як це показано на рисунку), або вмонтовуватися у нього і бути частиною його поверхні (це є більш практичним, оскільки покращує умови надходження світла в культуральне середовище). Між валом та корпусом розміщується шнек 7 у вигляді неперервно навитої між ними лопатки з прозорого матеріалу, яка жорстко з ними з'єднана. На одному з кінців фотоблока — у верхній частині (в робочому положенні) розташовано люк 2 для завантаження культуральної рідини та «насіневої» біомаси мікроводоростей. Рівень культуральної рідини при завантаженні не повинен перевищувати верхньої відмітки внутрішнього вала. При виконанні цієї умови, шнекова лопатка не дозволяє рідині розтікатися по всьому корпусу, а утворює замкнену ємність між двома сусідніми витками.

При неперевищенні верхнього рівня внутрішнього вала вся внутрішня порожнина фотоблока є поділеною на ізольовані ємності (секції) для культуральної рідини.

Фотоблок має фіксоване робоче положення, проте його позиція не є жорстко фіксованою. Він має один ступінь свободи і може обертатися навколо своєї горизонтальної вісі. Його корпус оснащений напрямними 19, якими він спирається на опорні ролики 18. Для приведення його до обертання установка оснащена електродвигуном 13 та кількоступеневою зубчастою передачею 14.

На початку роботи установки за допомогою завантажувального пристрою 1 у фотоблок має подаватися порція культуральної рідини з додаванням певної кількості біомаси мікроводоростей, що виконують роль «насіння», заповнюючи внутрішню порожнину першої секції.

Для продовження роботи включається електродвигун і за допомогою передачі обертає фотоблок на 360°. Під час обертання перша порція культуральної рідини завдяки шнековій лопатці зміщується вздовж горизонтальної осі в напрямку протилежного кінця фотоблока і опиняється у внутрішній порожнині сусідньої секції. При цьому спорожнена перша секція наповнюється наступною. Процедура обертання та додавання нових порцій періодично повторюється, аж поки усі секції фотоблока заповнюються. З кожним оборотом порції зміщуються на одну секцію в на-

прямку люка для вивантаження. Завдяки поживним елементам у культуральній рідині та зовнішньому природному освітленню, а при необхідності і внутрішньому штучному освітленню, відбуваються процеси фотосинтезу та відбувається поступовий приріст маси мікроводоростей. В останній секції ця маса досягає максимального значення.

На протилежному кінці фотоблок обладнано люком для вивантаження 10. Він також розташований у верхній частині (у робочому положенні). При черговому обертанні фотоблока, у момент, коли останній знаходиться у положенні напівоберту (люк для вивантаження опиняється в нижньому положенні), відбувається вивантаження готової біомаси у вивантажувальний пристрій 20, з якого відправляється на подальшу переробку.

Окрім перерахованих, установка має ще такі додаткові елементи.

В нижній частині корпусу розміщуються барботажи трубки 16 з соплами, направленими в культуральну рідину. Назвні корпусу ці трубки закінчуються ніпелями 12, 15, 17, до яких приєднуються гнучкі шланги 11 за допомогою легкороз'ємних з'єднань. Всі ці елементи утворюють систему подавання всередину фотоблока необхідних компонентів для інтенсифікації культивування. Процес відбувається так. Коли фотоблок знаходиться в робочому положенні, ніпель знаходиться в його нижній частині. До них під'єднуються гнучкі шланги, якими здійснюється подавання всередину фотоблока CO<sub>2</sub>, поживних речовин та інших необхідних для культивування елементів. Під час завантаження-вивантаження, коли фотоблок обертається, подавання CO<sub>2</sub> та інших речовин має бути призупинено, а гнучкі шланги від'єднані. При цьому ніпель, обладнаний зворотними клапанами, герметизують фотоблок. Після завершення операції завантаження-вивантаження гнучкі шланги знову під'єднуються, а подавання необхідних елементів відновлюється.

Завдяки герметичності корпусу фотоблок може працювати під надлишковим тиском. При цьому збільшується розчинність CO<sub>2</sub> у культуральній рідині і, як наслідок, збільшується його концентрація в ній. Для цього CO<sub>2</sub> та інші елементи нагнітаються через гнучкі шланги під тиском. Виходячи із сопел барботажних трубок в нижній частині фотоблока, CO<sub>2</sub> барботує через культуральну рідину вгору до її поверхні. Частина CO<sub>2</sub> при цьому розчиняється. Інша частина переходить у газову порожнину над культуральною рідиною і, завдяки герметичності корпусу, накопичується там. При цьому продовжує відбуватися насичення ним культуральної рідини че-

рез поверхню контакту, шляхом розчинення під надлишковим тиском. Це дозволяє пришвидшити процес фотосинтезу за рахунок покращення засвоєння  $\text{CO}_2$  мікродоростями.

Витки шнекової лопатки у верхній частині містять прорізи 9, з'єднуючі порожнини сусідніх секцій в незаповненій культуральною рідиною частині фотоблока, вирівнюючи тиск газу над рідиною у всіх секціях.

У процесі фотосинтезу наряду з поглинанням  $\text{CO}_2$  відбувається виділення кисню, що також призводить до підняття тиску всередині фотоблока. Для підтримання цього тиску на необхідному рівні у верхній частині корпусу містяться скидні клапани 5, 8 для скидання надлишкового газу в атмосферу. Скидання надлишкового тиску потрібно також під час проведенні операцій завантаження-вивантаження.

Для нормальної роботи установки фотоблок необхідно розмістити у місці з достатнім рівнем природного освітлення. Джерело штучного освітлення має вмикатися у періоди, коли природного недостатньо для підтримання нормального функціонування та розмноження мікродоростей.

Під час обертання фотоблока відбувається перемішування культуральної рідини з мікродоростями, що сприяє кращому освітленню різних частин їх біомаси. Не дивлячись на це, співвідношення між діаметром корпусу фотоблока та діаметром його внутрішнього вала повинно бути таким, щоб не створювати занадто товстого шару рідини з біомасою і забезпечувати наскрізне проникнення світла через увесь шар. Для визначення оптимальних конструктивних розмірів потрібні подальші дослідження.

Головними перевагами запропонованої моделі можна назвати такі.

Невелика витрата  $\text{CO}_2$  на одиницю культивованої біомаси — фотоблок є закритим і працює під надлишковим тиском, що збільшує поглинання  $\text{CO}_2$ , а в атмосферу викидається лише нерозчинений у культуральній рідині надлишок.

Конструкція забезпечує подавання у культуральну рідину не тільки  $\text{CO}_2$ , а й інших необхідних компонентів в процесі культивування. Це дозволяє керувати процесом в режимі реального часу, тим самим створювати найбільш оптимальні умови для біоконверсії.

Конструкція забезпечує безперервність процесу культивування. Завдяки багатосекційній будові кожна порція культуральної рідини з «насінням» послідовно проходить через усі секції фотоблока від завантажувального люка до вивантажувального. З кожним обертом фотоблока одна нова

порція «насіння» завантажується та одна порція «урожаю» вивантажується.

Конструкція дозволяє досягнути високого ступеня автоматизації процесу культивування.

Конструкція не вимагає значних площ для розміщення, може розміщуватися на абсолютно непридатних для використання територіях, на дахах будівель і споруд, а також може бути мобільною і легко перевозитись.

## Висновки

Проводити біоконверсію сонячної енергії у біомасу мікродоростей можна ефективно тоді, коли непотрібно використання значних площ, особливо родючих земель, а також витрати великої кількості води, поживних речовин та вуглекислого газу.

Запропонована конструкція установки для біоконверсії відповідає таким вимогам. Вона може використовуватися для вирощування різних типів мікродоростей. Не зважаючи на те, що різні культури мають різні оптимальні умови для найбільш інтенсивного приросту біомаси, установка є достатньо гнучкою для створення таких умов в кожному конкретному випадку та для їх корегування в режимі реального часу.

Установка може мати добрі перспективи використання в комунальному господарстві, сільському господарстві, промисловості (у тому числі у господарстві авіапідприємств), підвищуючи їх екологічну безпеку.

Вона може використовуватися для утилізації надлишкової теплової енергії та  $\text{CO}_2$  на котельнях та теплових електростанціях, а також для доочищення уже очищених стічних вод на очисних спорудах, використовуючи очищену стічну воду як культуральне середовище.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Shamanskii S. I.* Bioconversion of Solar Energy as a Perspective Direction in Alternative Energy / S. I. Shamanskii, D. M. Nestorjak // «Green Energy». Міжнародна науково-практична конференція: 17–19 липня 2012 р.: Київ-2012. — С. 371–372.

2. *Сорокина К. Н.* Потенциал применения микродоростей в качестве сырья для биоэнергетики / К. Н. Сорокина, В. А. Яковлев А. В. Пилигаев и др. // Катализ в промышленности. — № 2, 2012. — С. 63–72.

3. *Лісіцин Є. Ф.* Багатосекційний біоконвертор сонячної енергії / Є. Ф. Лісіцин, С. Й. Шаманський, С. І. Шульгін, В. В. Почтовенко // Патент на корисну модель 44202 Україна, МПК С12М 1/04. — № 200903271; Заявл. 06.04.2009; Опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18. — 4 с.

4. *Алексеев В. В.* Солнечная энергетика (перспективы развития) / В. В. Алексеев, К. В. Чекарев. — М. : Знание, 1991. — 64 с.

5. *Богданов Н. И.* Установка для выращивания одноклеточных водорослей / Н. И. Богданов, А. Г. Сидорин // Патент Российской Федерации RU2203938, М кл. С12М/302. — №2001130851/13; Заявл. 14.11.2001; Оpubл. 10.05.2003.

6. *Кравченко І. П.* До питання доцільності вирощування і використання мікроводоростей для виробництва моторних біопалив / І. П. Кравченко // «Green Energy». Міжнародна науково-практична

конференція: 17–19 липня 2012 р. Київ-2012. — С. 55–63.

5. *Bogdanov N. I.* Installation for monocellular algae cultivation / N. I. Bogdanov, A. G. Sidorin // Patent of Russian Federation RU2203938, М kl. C12M/302. — №2001130851/13; Declared 14.11.2001; Published 10.05.2003.

6. *Kravchenko I. P.* On the issue of reasonability to cultivate and use microalgae for producing engine's biofuel / I. P. Kravchenko // «Green Energy». International theoretical and practical conference: 17–19 July 2012. Kyiv-2012. — P. 55–63.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2015