

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

на тему:

«Оцінка ефективності виробництва біопалива з мікр водоростей»

Ткаченко Ліана Леонідівна

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ткаченко Т.М. _____

„___” _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

на тему:

«Оцінка ефективності виробництва біопалива з мікрводоростей»

Виконав студент групи ЕК-20

Спеціальність: 101 «Екологія»

Ткаченко Л.Л.

Керівники: д.т.н., проф. Ткаченко
Т.М.

Київ 2024 р

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: інженерних систем та екології

Кафедра: технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 101«Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ткаченко Т.М. _____

„___” _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

_____ Ткаченко Ліана Леонідівна _____

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи: Оцінка ефективності виробництва біопалива з мікроводоростей

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» _____ 20__

р.

2. Керівники роботи: д.т.н., проф. Ткаченко Т.М.

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Зміст пояснювальної записки за розділами: Вступ. Теоретичні основи виробництва біопалива з мікроводоростей. Аналіз виробництва біопалива з мікроводоростей в Україні. Оцінка захисту навколишнього середовища при виробництві біопалив. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел.

5. Графічний матеріал: дипломна робота містить 13 рисунків та 4 таблиць з вихідними даними та розрахунками.

6. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина;
б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Вступ	
Теоретичні основи виробництва біопалива з мікроводоростей	
Аналіз виробництва біопалива з мікроводоростей в Україні	
Оцінка захисту навколишнього середовища при виробництві біопалив	
Охорона праці	
Висновки	
Список використаних джерел	
Остаточне оформлення роботи	
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	
Попередній захист роботи на кафедрі	

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри

(підпис)

Ткаченко Т.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ткаченко Т.М.

(прізвище та ініціали)

Студент

(підпис)

Ткаченко Л.Л.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ.....	9
1.1 Характеристика та переваги мікробіодоростей в якості енерго-джерела.....	9
1.2 Біопаливо, як альтернатива викопного палива.....	15
1.3 Методи культивування і збору біомаси, технології переробки біомаси мікробіодоростей.....	19
Висновок до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ В УКРАЇНІ.....	29
2.1 Оцінка ринку біопалива в Україні.....	29
2.2 SWOT – аналіз підприємства з виробництва біопалива.....	33
2.3 Дослідження технології процесу виробництва біопалив з мікробіодоростей.....	38
Висновок до розділу 2.....	44
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВ.....	46
3.1 Захист атмосфери та поверхневих вод від забруднення.....	46
3.2 Поводження з відходами.....	53
3.3 Перспективи впровадження сучасних технологій на підприємствах України.....	57
Висновок до розділу 3.....	59
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи полягає в тому, що біомасу мікроводоростей розглядають як перспективне джерело сировини для заміни викопних вуглеводнів, що використовуються в виробництві моторного палива. Мікроводорослі мають високу швидкість зростання, а також перевершують за своєю продуктивністю по виходу олії традиційні сільськогосподарські культури, але при цьому не вимагають використання високоякісних сільськогосподарських земель для вирощування.

Мікроводорослі можна вирощувати з використанням солоних, морських або стічних вод харчових виробництв і димових газів при природному висвітленні. Проте, реалізація великомасштабних виробництв біопалива на основі мікроводоростей поки стримується низькою економічною ефективністю через високі витрати порівняно з виробництвом моторного палива з традиційної сировини. Проте з подальшим розвитком біотехнології поточна ситуація може змінитися. У дипломній роботі проведено огляд сучасного стану та перспектив розвитку виробництва біопалива третього покоління заснованого на використанні біомаси мікроводоростей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій: мікроводорослі є об'єктом інтенсивних досліджень у багатьох країнах світу, лідерами у цій галузі є країни ЄС та США.

Інтерес до таких розробок підтверджується інвестиціями з боку великих нафтових компаній, наприклад, Exxon Mobil, BP, Chevron та ін. в наукові дослідження застосування мікроводоростей на вирішення актуальних завдань біоенергетики. Основні зусилля дослідників зосереджені на наступних ключових напрямках:

– проведення пошукових досліджень з метою виявлення перспективних штамів мікроводоростей для промислового використання;

– дослідження метаболічних особливостей перспективних штамів мікроводоростей для визначення умов максимальної продукції біомаси та ліпідів;

– розробка способів вирощування мікроводоростей та технологій переробки одержуваної сировини, у тому числі що забезпечують: високу продуктивність з біомаси та ліпідів, відсутність сторонньої мікрофлори, а також мінімізацію втрат при відокремленні біомаси від культурального середовища.

Мета дипломної роботи – дослідження ефективності виробництва біопалив з мікроводоростей.

Виходячи з мети, до дипломної роботи сформульовано наступні завдання:

- навести характеристику та переваги мікроводоростей в якості енергоджерела;
- описати біопаливо, як альтернативу викопного палива;
- описати методи культивування і збору біомаси, технології переробки біомаси мікроводоростей;
- здійснити оцінку ринка біопалива в Україні;
- охарактеризувати SWOT – аналіз підприємства з виробництва біопалива;
- провести дослідження технології процесу виробництва біопалив з мікроводоростей;
- дослідити захист атмосфери та поверхневих вод від забруднення;
- проаналізувати поводження з відходами;
- дослідити перспективи впровадження сучасних технологій на підприємствах України;
- описати охорону праці на підприємстві;

Об'єкт дослідження дипломної роботи – технології виробництва біопалива з мікроводоростей.

Предмет дослідження дипломної роботи – ефективність виробництва біопалива з мікроводоростей.

Методи дослідження: при виконанні дипломної роботи застосовано такі методи дослідження як аналіз та синтез інформації, описовий метод, метод пояснення, також в роботі застосовано методи припущення та прогнозування.

Інформаційною основою дипломної роботи стали статті та публікації вітчизняних та зарубіжних науковців, що досліджували тему біопалива та вирощування і переробки мікроводоростей, монографії з теми дослідження, матеріали мережі Інтернет, статті з наукових журналів та видань.

Структура дипломної роботи: робота складається зі вступу, чотирьох розділів та підрозділів до них, що розкривають тему роботи, висновків, списку використаних джерел та додатків. Містить 13 рисунків, 4 таблиці, 55 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ

1.1 Характеристика та переваги мікрободостей в якості енерго-джерела

Розвиток науки і техніки, зростання світової економіки у ХХ столітті були забезпечені широким використанням доступної та дешевої енергії викопного палива. Так звані традиційні види палива – вугілля, нафта, газ та ядерне паливо – стали основою сучасної системи суспільства. Викопне паливо – невідновлюваний ресурс, його запаси при потребах людства, що наростають, швидко вичерпуються. Багато експертів та фахівці-енергетики відзначають, що за сучасних темпів споживання запасів нафти вистачить не більше ніж на 40 років, природного газу – на 60, вугілля – на 170 років та урану-235 – на 10 років. Варто зазначити, що нафта є не лише енергоресурсом, а й сировиною для нафтохімічної промисловості. Вона використовується для отримання широкого спектру продуктів, починаючи від одноразового посуду, закінчуючи корпусом авіалайнера [14].

У разі безперервного зменшення запасів викопного палива перед людством стоїть завдання пошуку нових енергетичних джерел. Можливість уникнути енергетичної катастрофи, зберегти ресурси та задовольнити зростаючі людські потреби відкриває використання нетрадиційних джерел енергії. Хіміки та мікробіологи ще у ХІХ ст. запропонували використання як альтернативне джерело енергії мікрободорості.

Біопаливо, що видобувається з водоростей, за своїми властивостями не поступається нафті, при цьому не вимагає буріння свердловин і позбавляє економічної і політичної залежності від нафтовидобувних країн. Як з'ясується, водорості – надійне, дешеве та невибагливе джерело енергії. Ось чому виробництво біопалива, нарівні з іншими відновлюваними джерелами енергії, знаходиться на чолі пріоритетів багатьох країн світу [16].

Є ціла низка переваг мікрободоростей перед іншими біологічними матеріалами як джерела енергії. Їхнє виробництво не вимагає особливих витрат та зусиль. Мікрободорослі ростуть та збільшують біомасу величезними темпами. Вони живуть у воді – морській та прісній, чистій та не дуже. Все, що їм потрібно – це вода і світло, необхідне для фотосинтезу. А для харчування їм потрібен азот та фосфати, яких у надлишку в морській воді. Водорості ростуть швидко, кожні 48 годин подвоюючи свій обсяг. Тож усе, що залишається – встигати їх переробляти [5].

Ще одна перевага морських мікрободоростей: вони використовуються практично без залишку. Все, що не йде на виробництво масла і нафти, може бути використане як корм для худоби, матеріалу для косметичної продукції, виробництва предметів гігієни і навіть пластику, що біологічно розкладається. Виробництво палива з аквакультур – одна з наймолодших та найперспективніших галузей енергетики.

Інтерес до цієї галузі енергетики в напрямку використання морських водоростей з'явився останніми роками, а перспективи розвитку галузі в очах експертів видаються в дуже оптимістичному світлі. За оцінками економістів, до 2018 року глобальний оборот від переробки біомаси морських мікрободоростей може становити близько 100 мільярдів доларів.

Біопаливо може бути використане для заміни традиційної нафти практично у всіх сферах: як пальне для літаків, автомобілів, морських суден, у промисловому виробництві, що працює на нафті. Перевага біопалива порівняно з іншими альтернативними джерелами енергії полягає в тому, що для його використання не потрібна заміна двигунів, розбудова інфраструктури та інші глобальні зміни. Біопаливо може бути використане «тут і зараз», тобто за життя нинішнього покоління людей [8].

Біопаливом, здобутим внаслідок переробки морських мікрободоростей, можна заправляти навіть реактивні літаки. До всіх інших переваг можна додати, що це паливо значно знижує викиди вуглекислого газу в порівнянні з традиційною гасом. Декілька світових авіакомпаній вже здійснили пробні

польоти з використанням як пального матеріалу, що містить до 40 відсотків палива, отриманого з мікродоростей. У 2011 році Lufthansa, American Airlines, Continental Airlines та Air China успішно провели свої перші комерційні рейси з використанням біореактивного палива.

Мікродорості дозволяють отримати кілька видів біопалива, що відновлюється. До таких відносяться метан, що виділяється при анаеробному зброджуванні біомаси мікродоростей, біодизельне паливо з жирів, що містяться в мікродорості, і одержуваний у фотобіологічному процесі біоводень [22].

У принципі, ідея використання мікродоростей як енергетичної сировини не є новою, але лише в даний час стала актуальною через прогнозований дефіцит і високу вартість нафтопродуктів, а також проблеми глобального потепління в результаті спалювання викопних видів палива.

В даний час біодизельне паливо виробляють з рослинних та тваринних олій. Це перевірений вид палива, технологія його виробництва та використання відома вже близько 60 років. У США біодизельне паливо виробляють головним чином із соєвих бобів. Іншими джерелами біодизельного палива є масло канолу, тваринний жир, пальмове та кукурудзяне масло, відходи кулінарного жиру.

За оцінками для заміни всього моторного палива США потрібно 0,53 млрд м³ біодизельного палива щорічно. Перелічені види сировини неспроможні забезпечити такий обсяг виробництва. Принаймні для вирощування біомаси з їхньої основи знадобляться неможливо великі земельні площі [19].

Ізраїльська компанія UniVerve запустила пілотний проект у Дімоні, який покликаний започаткувати розвиток нової та перспективної галузі національної енергетики. Тут розробляється найбільш економічно виправданий та технологічно надійний процес обробки аквакультур та перетворення їх на джерело енергії. Йдеться про вибір найбільш економічного способу виробництва: підвищення врожайності та зниження експлуатаційних

витрат, у тому числі створення штамів водоростей, що володіють високим вмістом олій, стійкістю до навколишнього середовища, та здатних швидко збільшувати високоліпідну біомасу. Більшість штамів, що використовуються зараз у пілотному проекті, забезпечують гарне зростання у солоній воді, а також у стічних водах. Важливо, що з їхньої культивуації немає необхідності використовувати дорогоцінну прісну воду [7].

UniVerve розробила та запатентувала унікальну систему вирощування та збирання врожаю, яка називається NAVR™. Аквакультури ростуть у підвішених ємностях V-подібної форми, здатних забезпечити максимальну дію світла для фотосинтезу. Ця система дозволяє значно знизити витрати порівняно з традиційними ставками, викопаними у землі. Подібні контейнери зручні в експлуатації та дозволяють з легкістю проводити їх очищення після завершення циклу вирощування, збирання та висушування водоростей [11].

Таблиця 1.1

Порівняльні дані щодо джерел біодизельного палива в США

Культура для виробництва олії	Вихід олії, л/га	Необхідна земельна площа, млн га	Відсоток від існуючих
Кукурудза	172	1540	846
Соеві боби	446	594	326
Канола	1190	223	122
Кокосова олія	2689	99	54
Пальмова олія	5950	45	24
Ятрофа	1892	140	77
Мікрводорості (при 70% вмісту олії в біомасі)	136900	2	1,1
Мікрводорості (при 30% вмісту олії в біомасі)	58700	4,5	2,5

Водночас із даних Таблиці 1.1 видно, що мікрводорості є єдиним джерелом біодизельного палива, що має потенціал повної заміни викопних

видів палива в США. На відміну від інших культур, мікроводорості ростуть надзвичайно швидко і подвоюють біомасу за 24 години. Вміст олії не більше 20-50% притаманно багатьом видам водоростей (Табл. 1.2).

Деякі їх види містять до 80% олії. Залежно від виду, мікроводорості містять різні типи ліпідів, вуглеводнів та складних олій.

Таблиця 1.2

Вміст олій у деяких видах водоростей

Мікроводорості	Вміст олії (% від сухої ваги)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nanochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Хлорелла (*Chlorophyta*, *Trebouxiophyceae*), одна з найбільш вивчених мікроводоростей, у промислових масштабах сьогодні культивується більш ніж 70 компаніями світу. Щорічне виробництво біомаси хлорели перевищує 2000 тон, в основному вона використовується для харчових добавок та білково-вітамінних концентратів, а незначна частка призначена для косметичного ринку та аквакультури [14].

Коли стали доступні молекулярні дані, стало ясно, що багато зелених мікроводоростей зі схожими морфо-фізіологічними характеристиками були помилково класифіковані як «хлорела». Таксономія роду все ще знаходиться

в стадії перегляду, але *C.vulgaris* і *C.pyrenoidosa* є двома видами, що найбільш культивуються, в комерційних масштабах.

Хлорелла добре росте в прісних чи солонуватих водах, але відомо й кілька морських штамів. Важливо уникати плутанини з так званою «морською хлорелою», організмом, який намагалися ввести в культуру в 1980-х роках - через високий вміст у ньому ейкозапентаєнової кислоти (це одна з цінних омега-3 поліненасичених жирних кислот. Найбільше цієї речовини міститься у жирних сортах холодноводних риб, таких як лосось). «Морська хлорела» пізніше була правильно ідентифікована як нанохлоропсис, *Nannochloropsis* sp.

Мікрводорослі мають низку переваг перед традиційними культурами. Для їх вирощування не потрібний родючий ґрунт, і вони дуже ефективно використовують поживні речовини, що дозволяє уникнути або обмежити забруднення водойм невикористаними добривами. Деякі водорості можна вирощувати в солонуватій, солоній або навіть морській воді, тому вони не конкурують за ресурси прісної води, що виснажуються [34].

Використання стічних вод як джерела поживних речовин також є привабливою можливістю для вирощування хлорели на біопаливо. Культури мікрводоростей можуть харчуватися CO₂ з диму та смогу; Однак необхідність окремої подачі вуглекислого газу в резервуар вирощування може бути обмеженням - якщо порівнювати з рослинами, що поглинають CO₂ прямо з повітря.

Щоб зробити біомасу мікрводоростей економічно конкурентоспроможною як джерело живлення чи біопалива, потрібно знижувати вартість системи культивування. Зокрема, витрати на освітлення, змішування та охолодження у закритих системах дуже високі; їх можна суттєво скоротити, наприклад, вибираючи штамми з високою плавучістю - або штамми, здатні рости за високих температур. Для стійкого культивування мікрводорості потрібні штамми, здатні рости з високою продуктивністю в морській або солонуватій воді [21].

Ринки продуктів харчування та кормів вимагають великих обсягів біомаси з низькою собівартістю (менше 1 євро/кг). В даний час витрати на виробництво водоростей перевищують 4-5 євро/кг, і хоча економічні прогнози передбачають зниження до 1-2 євро/кг, комерціалізація хлорели як харчового продукту поки що неможлива.

Біопаливо третього покоління має достатній потенціал як альтернативне джерело енергії. Для великомасштабного виробництва цього виду біопалива необхідно розробляти нові штами мікрободоростей, що відповідають вимогам виробництва, удосконалити технології, пов'язані із збільшенням вмісту ліпідів у біомасі мікрободоростей та зниженням витрат енергії з їхнього культивування. Отже, потрібні подальші дослідження в області одержання палива з використанням мікрободоростей [17].

1.2 Біопаливо, як альтернатива викопного палива

Розвиток науки і техніки, зростання світової економіки у ХХ столітті забезпечені широким використанням легкодоступної та дешевої енергії викопного палива. Так звані традиційні види палива – вугілля, нафта, газ та ядерне паливо – стали основою сучасної системи суспільства.

Викопне паливо – невідновлюваний ресурс, його запаси при наростаючих потребах людства швидко вичерпуються. Багато експертів та фахівці-енергетиків зазначають, що за сучасних темпів споживання, запасів нафти вистачить не більше ніж на 40 років, природного газу – на 60, вугілля – на 170 років та урану-235 – на 10 років. Нафта є не лише енергоресурсом, а й сировиною для нафтохімічної промисловості. Вона використовується для отримання широкого спектру продуктів, починаючи від одноразового посуду, закінчуючи корпусом авіалайнера [26].

Біологічне паливо – це пальне рослинного чи тваринного походження. Передбачається, що воно замінить традиційні види палива з вичерпних ресурсів на ті, що виробляються з відновлюваної сировини.

Наприклад, до біопалива можна віднести звичайні дрова або рапсову олію. Однак дизель і бензин витіснили ці види палива, оскільки вони дешевші, а масова автомобілізація вимагала більших обсягів палива.

Наразі інженери активно розробляють нове покоління рідкого біопалива, отриманого за допомогою водоростей. Водорості вирощують у великих басейнах або на фермах, вони перетворюють сонячне світло на енергію і зберігають її у вигляді олії. Олія витягується механічно (при пресуванні біомаси) або за допомогою хімічних розчинників, які руйнують стінки клітин. Подальша переробка та очищення дає біопаливо, що підходить для використання як альтернатива традиційним видам палива [23].

В умовах безперервного зменшення запасів викопного палива перед людством стоїть завдання пошуку нових енергетичних джерел.

Можливість уникнути енергетичної катастрофи, зберегти ресурси та задовольнити зростаючі людські потреби відкриває для використання нетрадиційні джерела енергії.

Хіміки та мікробіологи ще у XIX ст. запропонували використання в якості альтернативного джерела енергії мікроводорості. Згідно сучасної класифікації видів біопалива, отримане з використанням мікроводоростей, називається біопаливом третього покоління. Мікроводорості, що використовуються для отримання біопалива, не повинні застосовуватися для отримання харчового чи кормового продукту, а також не повинні бути відходом будь-якого виробництва.

Можливість використання водоростей як сировини для виробництва палива визначається високим вмістом у них ліпідів. За складом ліпіди водоростей і рослин олійних культур подібні, і містять поліненасичені жирні кислоти. Вміст жирних кислот у мікроводорості, що мешкають у природних умовах, становить близько 40 % загальної маси, а умовах культивування може досягати 80 % [51].

З багатих ліпідами водоростей виготовляють різні види палива, такі як біонафту, біодизель та ін. Найбільш поширеним є біодизельне паливо, для

отримання якого здійснюють реакцію переетерифікації ліпідів мікродоростей із метиловим спиртом у м'яких умовах.

Наведемо основні переваги використання мікродоростей для отримання біопалива:

1. Мікродорості мають високу швидкість зростання. Подвоєння клітин деяких видів може відбуватися кожні 4 год. Характерно для всіх мікроорганізмів і пов'язано з малою величиною особини та інтенсивною взаємодією клітини з довкіллям.

2. Висока продуктивність ліпідів. Мікродорості з потенційного енергетичного виходу в 8-25 разів перевершують пальмову олію і в 40-120 разів – рапсову.

3. Мікродорості не вимагають для свого вирощування високоякісних сільськогосподарських земель, на відміну від різних видів рослин [35].

Однак, здійснення великомасштабних виробництв біопалива третього покоління стримується низькою економічною ефективністю через високі витрати порівняно з виробництвом моторного палива із традиційної сировини.

Одною з причин низької економічної ефективності є те, що у мікродоростей немає властивостей, які задовольняли б критеріям великомасштабного виробництва.

До інших причин низької економічної ефективності відносять відсутність оптимальної економічно обґрунтованої технології культивування, що дозволяє отримувати промислово значущі обсяги олійної біомаси мікродоростей і технології переробки отримуваної сировини.

Для покращення властивостей мікродоростей можливе застосування генетичної та метаболічної інженерії. За допомогою цих методів вдалося отримати низку мікродоростей з підвищеним потенціалом утворення ліпідів.

Таблиця 1.3

Мікрводорослі з підвищеним потенціалом утворення ліпідів

Вид	Вміст ліпідів, % в сухій масі
<i>Ankistrodesmus braunii</i>	73
<i>Chlorella protothecoides</i>	58
<i>Neochloris oleoabundans</i>	54
<i>Pleurochrysis carterae</i>	50
<i>Nannochloropsis</i> spp.	41
<i>Arthrospira (Spirulina) platensis</i>	29
<i>Tetraselmis suecica</i>	25

В даний час розглянутий шлях вирішення проблеми підвищеного потенціалу утворення ліпідів недостатньо досліджено, що ускладнює розвиток генетичної та метаболічної інженерії мікрводоростей.

Для створення оптимальної економічно обґрунтованої технології культивування, що дозволяє отримувати промислово значущі обсяги масловмісткої біомаси мікрводоростей, вдаються до різних методів культивування [48].

Виділяють два основні способи вирощування біомаси водоростей: у відкритих ставках та фотобіореакторах. Головним недоліком застосування відкритого або закритого способу культивування є високі витрати енергії, які пов'язані з такими стадіями виробництва біопалива, як перемішування, переміщення суспензії в реакторі, екстракція, очищення та ін.

Саме до розробки оптимальної технології спрямована увага багатьох зарубіжних компаній. Існує близько 200 компаній у всьому світі, які сфокусовані на виробництві палива з водоростей.

Схема отримання біодизелю:

Культура мікрводоростей – Приготування посівного матеріалу – Інокулят – Культивування – Культуральна рідина – Виділення біомаси мікрводоростей – Біомаса – Сушка – Висушена біомаса – Руйнування клітинних оболонок (подрібнення) – Екстракція ліпідів – Екстракт – Відгонка

екстрагента – Суміш триацилгліцеридів – Синтез біодизельного палива – Біодизель.

Компанії Algenol, Inventure та інші використовують для збору мікроводоростей фільтрацію, центрифугування та флокуляцію. Компанія GreenStar ввела гібридну систему відкритої водойми та закритого біореактора, що поєднує контрольоване середовище закритого фотобіореактора з недорогим будівництвом системи відкритих ставків. Мікроводорослі можна отримувати як відходи очищення стічних вод. На основі такого підходу організовано отримання біопалива фірмою Aquaflow та Bionomic у Новій Зеландії продуктивністю до 1000 т біодизельного палива на рік.

Таким чином, проведений нами аналіз переваг та недоліків використання ліпидовмісних мікроводоростей, а також існуючих технологій отримання біопалива підтверджує, що біопаливо третього покоління має достатній потенціал як альтернативне джерело енергії [40].

Для великомасштабного виробництва цього виду біопалива необхідно розробляти нові штами мікроводоростей, що відповідають вимогам виробництва, удосконалити технології, пов'язані із збільшенням вмісту ліпідів у біомасі мікроводоростей та зниженням витрат енергії з їхнього культивування. Отже, потрібні подальші дослідження в області одержання палива з використанням мікроводоростей. Очікується, що найближчим часом на їх основі будуть розроблені нові продукти, економічно вигідні та екологічно стійкі.

1.3 Методи культивування і збору біомаси, технології переробки біомаси мікроводоростей

Виробництво біомаси мікроводоростей зазвичай є більш витратним, ніж вирощування сільськогосподарських культур. Для процесу фотосинтезу потрібне світло, діоксид вуглецю, вода та неорганічні солі. Температуру необхідно підтримувати не більше 20-30°C. З метою зниження витрат потрібне

доступне сонячне світло. Поживне середовище повинне містити неорганічні елементи для формування клітин мікробіодоростей, серед яких азот, фосфор, залізо та в деяких випадках кремній.

Біомаса мікробіодоростей містить до 50% вуглецю, що повністю утворюється за рахунок поглинання діоксиду вуглецю. При виробництві 100 т біомаси водоростей фіксується 183 т діоксиду вуглецю. При цьому для біодизельного палива може бути використаний діоксид вуглецю, що виділяється на електростанціях при спалюванні палива [21].

При промисловому виробництві біомаси мікробіодоростей у денний час при дії сонячного світла організують безперервну подачу живильного середовища та безперервне відведення з тією ж швидкістю рідкого середовища, що містить мікробіодорості. Подачу припиняють у нічний час, але перемішування для запобігання осіданню біомаси має бути безперервним. Близько 25% біомаси, виробленої вдень, може бути втрачено в нічний час внаслідок дихання мікроорганізмів. Масштаб цих втрат залежить від інтенсивності денного світла, температури у денний та нічний час.

Близько 100 компаній у країнах світу займаються виробництвом біодизельного палива із мікробіодоростей. Серед них Algenol, Algodyne Ethanol Energy, Solazyme, Green Star Products та ін.

В даний час для реалізації процесу використовують в основному системи з виваженою біомасою, що працюють у безперервному, періодичному чи напівперіодичному режимах. До найбільш поширених великомасштабних таких споруд відносяться:

- відкриті ставки у вигляді системи каналів з примусовим рухом живильного середовища;
- трубчасті фотобіореактори;
- стабілізаційні ставки для стічних вод.

Ставки з примусовим рухом є замкненими каналами з циркуляцією живильного середовища глибиною близько 0,3 м.

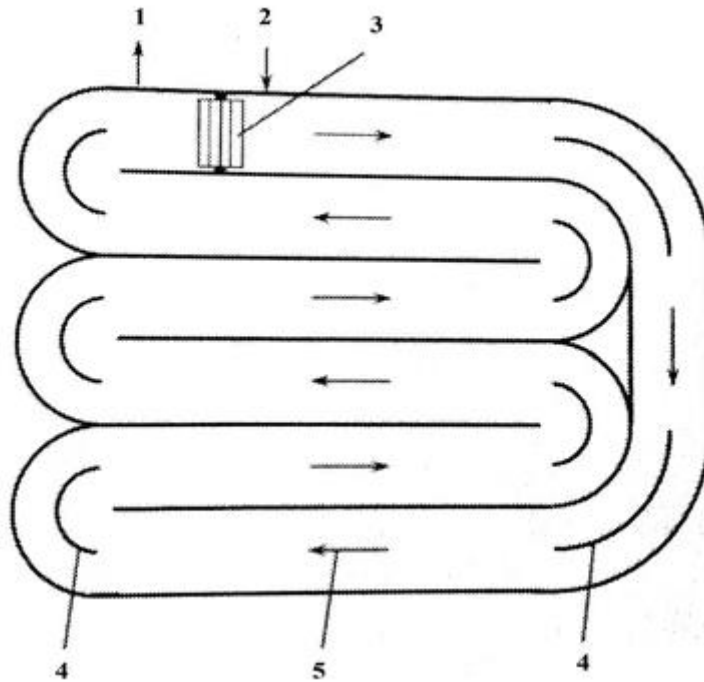


Рис. 1.1 Ставок із примусовим рухом живильного середовища

1 – збір водоростей; 2 – вихідний потік; 3 – гребне колесо; 4 – відбивачі; 5 – напрямок потоку.

Для змішування та циркуляції використовують гребне колесо. Потік рідини спрямовується відбивними перегородками. Канали виконані з бетону або утрамбованої землі, можуть бути вистелені ізолюючим пластиком. Гребне колесо працює постійно для запобігання осіданню біомаси.

Подібні споруди знаходяться в експлуатації з 1950-х років з метою більш ефективної обробки стічних вод (порівняно зі стабілізаційними ставками) та отримання біомаси для потенційного виробництва енергії. Найбільші їх займають площу понад 400 тис. м². Для цієї технології потрібні порівняно невисокі капіталовкладення та експлуатаційні витрати. У цих спорудах, однак, вдається одержувати лише низьку концентрацію біомаси мікр водоростей [25].

Фотобіореактори є іншою широко поширеною технологією культивування біомаси водоростей.

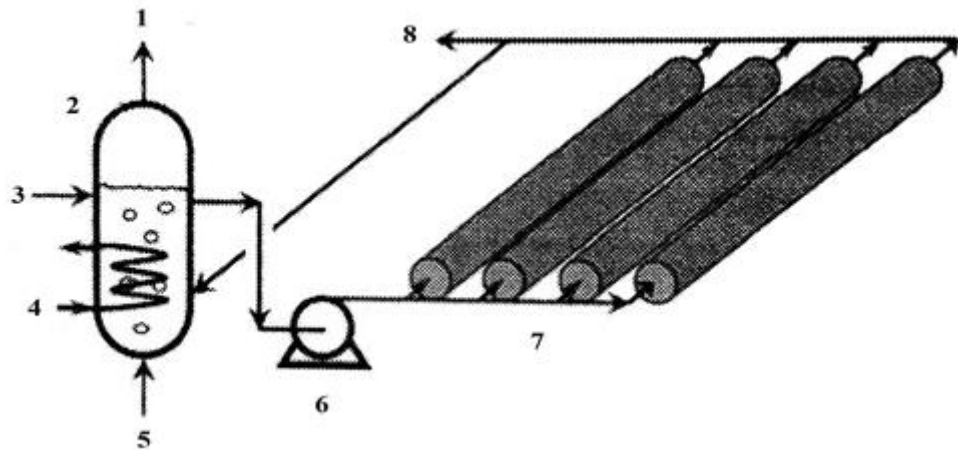


Рис. 1.2 Трубчастий фотобіореактор із серією паралельних горизонтальних труб

1 – відхідні гази; 2 – колона для дегазації; 3 – вихідний субстрат;
4 – охолодна вода; 5 – повітря; 6 – насос; 7 – батарея сонячних елементів; 8 – збір водоростей.

У цих закритих системах існує можливість досягнення високої продуктивності біомаси, а також створення стерильних умов для вирощування монокультури водоростей. У цих системах проведено експерименти з культивування мікрководоростей на стічних водах. Вирощування монокультури завжди доцільно на міських стічних водах. Фотобіореактори в даний час призначені для культивування монокультур з високим ліпідним вмістом і, відповідно, високим енергетичним потенціалом.

Фотобіореактори призначені для тривалого культивування монокультури мікрководоростей і практично використовуються для отримання великої кількості біомаси. Такий реактор складається з батареї прозорих труб, виготовлених зі скла або пластику, що є сонячним колектором. Діаметр труб повинен бути не більше 0,1 м, щоб сонячне світло могло проникати в щільну біомасу водоростей [44].

Субстрат циркулює між резервуаром (колона для дегазування) та батареєю труб. Поверхню майданчика під трубами часто вистилають пластиком збільшення відображення світла. У разі фотобіореактора невеликої продуктивності замість горизонтального розташування труби з гнучкого пластику можуть бути згорнуті спіраллю по зовнішній поверхні вертикальної циліндричної основи. Осіданню мікробіодоростей у трубах перешкоджає висока турбулентність потоку.

У процесі фотосинтезу відбувається виділення кисню. Максимальна швидкість цього процесу досягає $10 \text{ г}(\text{O}_2)/\text{м}^3\text{хв}$. Концентрація розчиненого кисню вище за певну межу інгібує фотосинтез і в поєднанні з інтенсивним освітленням руйнує клітини водоростей. Видалення надлишкового кисню проводять у колоні для дегазації повітря.

У міру просування субстрату трубами відбувається збільшення рН середовища в результаті споживання CO_2 , який дозують в зону дегазації. Додаткові точки дозування можуть бути передбачені по довжині труб. Фотобіореактори вимагають охолодження під час найбільшої інтенсивності сонячного світла. Температурний контроль потрібний і в нічний час. Зокрема, втрати біомаси в нічний час в результаті дихання можуть бути зменшені при зниженні температури [15].

Технологічна схема на базі фотобіореакторів, що забезпечує виробництво 100000 т/рік біомаси, включає 6 незалежних установок, кожна з яких складається із 132 паралельних труб довжиною до 80 м, діаметром 0,06 м. Площа виробничого майданчика становить близько 6000 м². Вихід олії досягає 140 м³/га (при 70% вмісту олії в біомасі). Аналогічна за річною продуктивністю біомаси схема на базі відкритих швидкісних ставків включає 8 водойм площею близько 1000 м² (82x12), глибиною 0,3 м. У цьому випадку виробнича площа досягає 8000 м², а вихід олії – близько 100 м³ / га.

Стабілізаційні ставки найбільш поширені щодо фототрофного технологічного процесу. У США, наприклад, налічується понад 7000 такого

роду очисних споруд, що становлять третину централізованих систем очищення стічних вод [31].

Протягом денного часу фототрофи виробляють розчинений кисень, що посилює зниження ГПК аеробними гетеротрофними бактеріями та сприяє фотоокислювальній інактивації патогенних мікроорганізмів. Стабілізаційні ставки забезпечують економічну обробку стічних вод, але використовуються, переважно, у сільській місцевості через потребу у великих земельних площах. Ці споруди використовують виключно для очищення стічних вод (зниження ГПК, видалення азоту, фосфору, важких металів).

Лише у кількох публікаціях обговорюються перспективи культивування в них біомаси для виробництва енергії. Тим часом саме на базі стабілізаційних ставок є найреальніша перспектива створити очисні споруди, що забезпечують власні енергетичні потреби, або навіть є виробниками енергії.

Отже, у стабілізаційних ставках проводять обробку міських чи сільськогосподарських стічних вод. На сьогодні мета застосування подібних споруд – видалення біогенів (часто поряд з ГПК), але не вилучення біогенів або сировини для виробництва енергії. Більш капіталомісткі системи, такі як фотобіореактори, призначені головним чином для культивування фототрофів. У цьому випадку переслідується переважно мета отримання сировини для виробництва енергії, а не очищення стічних вод [16].

Вартість збору біомаси (включаючи флокуляцію, центрифугування та відстоювання) залишається основною перешкодою реалізації схем з мікродорістю, що перебувають у зваженому стані. Відстоювання відноситься до порівняно недорогих технологічних операцій, але забезпечує вилучення 50-90% біомаси.

Для досягнення вилучення понад 95% біомаси витрати суттєво зростають. У зв'язку з цим привертають увагу процеси з прикріпленою біомасою, яку в міру накопичення знімають з поверхні каналу. У частині культивування мікродоростей з такого роду обладнання відносно поширення отримав ATS (Algal turf scrubber) – скруббер, розташований під

кутом 1-2° канал (1x30 м), викладений ізолюючим матеріалом (0,75 мм) (аналогічним шаром ізоляції полігонів ТПВ), поверх якого укладена нейлонова сітка (товщиною до 5-6 мм). Рідина, що протікає по поверхні скрубера, надходить у бетонний зумпф. На поверхні формується біоплівка, що переробляє біогени. У міру накопичення біомаси кожні 4-12 діб проводять її вакуумне видалення.

Прикладами промислової реалізації цієї технології є процеси Aquafiber Technologies (30 тис. т/добу) та HydroMentia (120 тис. т/добу).

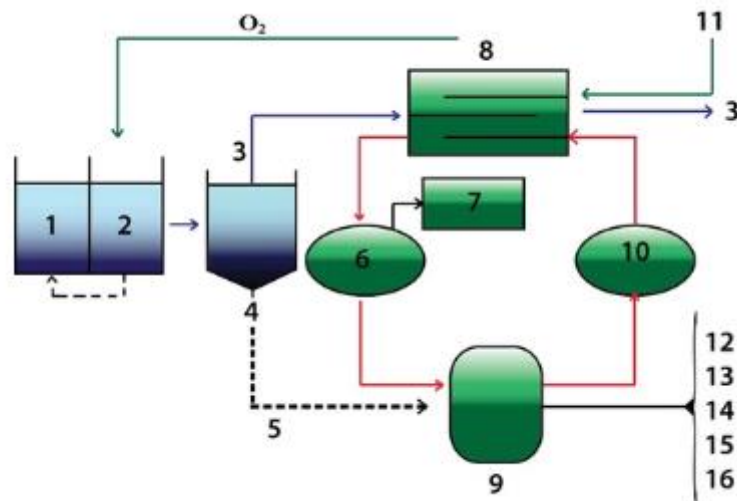


Рис. 1.3 Схема культивування мікробіодоростей

- 1 – аноксидна зона;
- 2 – оксидна зона;
- 3 – стічні води після процесу з активним мулом;
- 4 – вторинний відстійник;
- 5 – осад вторинного відстійника;
- 6 – біомаса водоростей;
- 7 – біопластик;
- 8 – культивація мікробіодоростей;
- 9 – гідротермічне зрідження або анаеробне зброджування;
- 10 – біогени та CO₂;

- 11 – CO₂ з інших систем;
- 12 – біовугілля;
- 13 – протеїнові/харчові добавки;
- 14 – добрива;
- 15 – поліпшувачі ґрунту
- 16 – біопаливо [19].

В останні роки велику увагу дослідників привертає нова біотехнологія – водоросте-бактеріальна культура. Кисень, що виділяється водоростями, зменшує витрати на аерацію, а емісія парникових газів зменшується споживанням CO₂, що виділяється при культивуванні водоростей в результаті фотосинтезу. Крім цього, водоросте-бактеріальна біомаса характеризується гарним відстоюванням, ефективним зниженням ГПК та видаленням біогенів.

Проблемою даного підходу є відокремлення біомаси водоростей від водоросте-бактеріальної суміші для екстракції ліпідів. Також є труднощі ефективного використання кисню, що виділяється водоростями, особливо у відкритому ставку для культивування водоростей. Для подолання цих труднощів останніми роками знайдено оригінальні технічні рішення. У цьому плані повідомляється про схему, що включає біоплівковий реактор з рухомим шаром насадки для аеробної обробки і відкритий ставок для вирощування водоростей в якості реактора, що біологічно аерується. Відповідна пілотна установка працювала 18 місяців та забезпечувала отримання високої ефективності очищення стічних вод без витрат на аерацію.

Крім біопалива та метану нова технологія дозволяє виробляти протеїнові/харчові добавки (для тваринництва та аквакультури), добрива та покращувачі ґрунту. Оскільки для культивування мікроводоростей необхідний CO₂, виникає можливість використовувати його емісію на підприємствах інших галузей промисловості (наприклад електростанції), знижуючи викид в атмосферу [22].

Подібна технологія має ряд дуже привабливих переваг, але її реалізація можлива тільки на очисних спорудах зовсім іншого типу на базі нового технологічного обладнання.

В даний час основний напрямок дослідження творчих робіт у світі пов'язаний зі скринінгом мікробіодорослевих культур з високим вмістом олії та рідких вуглеводнів, розробкою направленої біосинтезу цільового продукту, вдосконаленні технологій широкомасштабного культивування мікробіодоростей та отримання біопалив з них. Тобто мікробіодорості слід розглядати як об'єкти мікробіологічної промисловості.

Чималу увагу приділяється генно-інженерним роботам зі збільшення швидкості зростання перспективних культур (*Botryococcus braunii*) та їх продуктивності (*Chlorella protothecoides*). Одним з можливих шляхів скорочення вартості біопалива з мікробіодоростей є отримання цінних побічних продуктів з них для хімічної, фармацевтичної, медичної, харчової, кормової промисловості (бета-каротин, астаксантин, гліцерол, фікоціанін, хлорофіл і т.д.) і використання відходів виробництва.

Висновок до розділу 1

Таким чином, біопаливо, будучи відновлюваним енергоносієм, безумовно має становити дедалі більшу конкуренцію традиційним вичерпним природним енергетичним багатствам, таким як нафта та природний газ.

Відмінна особливість водоростей, якщо порівнювати їх з сировиною для біопалив першого та другого поколінь, проявляється і в тому, що їх розведення може бути організоване у водоймах, як незадіяних, так і для потреб сільського чи рибного господарства, або – у спеціальних фотобіореакторах, тобто установках, де створюються та підтримуються сприятливі умови вирощування водоростей. Крім цього, водоростева рослинність поглинає при своєму зростанні в процесі фотосинтезу, окрім сонячних променів, ще й вуглекислий газ, що покращує екологічну ситуацію в прилеглих до водойм зонах.

Масляний і жировий склад водоростей за структурою молекул не відрізняються від нафтових.

Проблема, з якою стикається третє покоління біопалива, завжди полягала в урожайності. Концентрація водоростей дуже мала, виробничі витрати дуже високі, а перетворення на паливо вимагає капітальних витрат і втрати частини енергії, що міститься у водоростях.

Будь-яке зараження іншими організмами може знищити врожай і знизити прибуток. Альтернативою було вирощування їх у закритих стерильних контейнерах, але це також збільшувало витрати.

Крім того, перша спроба виробництва біопалива з водоростей у 2010-х роках вимагає збору водоростей – складного процесу, який також призупинив виробництво.

У результаті собівартість виробництва залишається вищою на 5–8 доларів за галон, що робить його неконкурентоспроможним порівняно з викопним паливом.

Нині різними вченими колективами у світі розробляються десятки різних сценаріїв організації ферм з виробництва біопалива з біомаси морських водоростей. Так, поряд з проектами закачування солоної морської води в садки на великих територіях сонячних пустель та ідеями прокачування через водорості виробничих і каналізаційних відходів, вчені вже мають навіть такі екзотичні проекти як будівництво дрейфуючих і стаціонарних платформ з вирощування водоростей безпосередньо у відкритому морі. Все, що необхідно для зростання водоростей – сонце, вода, вуглекислий газ, поживні речовини, є у необмежених кількостях.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ В УКРАЇНІ

2.1 Оцінка ринку біопалива в Україні

Обсяг ринку біопалива оцінюється в 1,89 мільйона барелів нафтового еквівалента на день у 2024 році і, як очікується, досягне 2,44 мільйона барелів нафтового еквівалента на день до 2029 року, при цьому середньорічний темп зростання становитиме 5,20% протягом прогнозованого (2024-2029 роки). Очікується, що в середньостроковій перспективі зростання попиту на безпечну, стійку і чисту енергію в поєднанні з урядовими мандатами на збільшення частки змішування автомобільного палива стимулюватиме попит на біопаливо в усьому світі. З іншого боку, висока собівартість виробництва біопалива, навіть за всіх пов'язаних із ним вигод, швидше за все, стримуватиме зростання ринку. Проте завдяки недавнім технологічним досягненням виробництво біопалива збільшилося, що стане можливістю для розширення ринку. Північна Америка домінує на ринку, і протягом прогнозованого періоду тут, ймовірно, спостерігатиметься найвищий середньорічний темп зростання. Зростання пояснюється швидким збільшенням виробничих потужностей разом із збільшенням попиту біопаливо у регіоні [10].

Очікується, що протягом прогнозованого періоду 2020-2025 років ринок перспективного біопалива з водоростей GCS зростатиме в середньорічному темпі більш ніж на 1%. Такі фактори, як побоювання з приводу піку видобутку нафти, енергетичної безпеки, різноманітності палива та стійкості, а також значний інтерес у країнах Перської затоки до відновлюваних джерел біопалива, ймовірно, стимулюватимуть ринок біопалива з водоростей. Однак вартість виробництва енергії за рахунок біопалива з водоростей набагато вища, ніж за рахунок викопного палива, що може бути стримуючим фактором для ринку. Нафта є найбільш використовуваним викопним паливом, і її виробляють усі країни Ради співробітництва країн Перської затоки.

Однак проблеми стійкості та енергетичної безпеки навколишнього середовища, а також старіння нафтових родовищ можуть зробити біопаливо з водоростей реальною альтернативою.

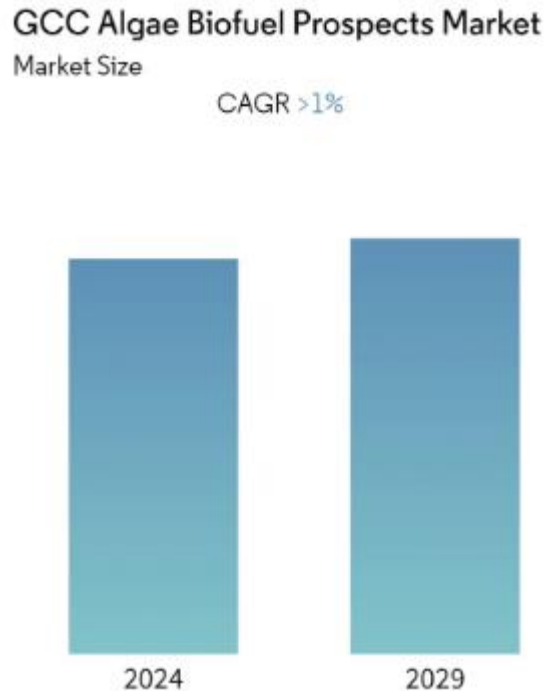


Рис. 2.1 Перспектива росту ринку біопалива

Період дослідження - 2020 – 2029

Базовий Рік для оцінки - 2023

Період прогнозних даних - 2024 – 2029

Період Історичних даних - 2020 - 2022

CAGR > 1.00%

Концентрація ринку - Високий

У 2019 році команда інженерів-хіміків розробила нову технологію струминного змішувача, яка унеможливорює енергоємні процеси сушіння. Новий реактор-змішувач випускає струмені розчинники у струмені водоростей у рідкій суспензії, створюючи турбулентність, необхідну для переходу ліпідів у потік розчинника. В даний час розробляються подальші дослідження в галузі великомасштабного використання, які можуть надати нові можливості гравцям ринку.

Очікується, що Катар стане найбільшим ринком біопалива з водоростей, оскільки він інвестує у дослідження та розробки біопалива у співпраці з різними організаціями, що може призвести до широкомасштабного вирощування та виробництва біопалива з водоростей.

Хоча регіон має величезні запаси нафти і газу, залежність від одного джерела енергії може стати причиною занепокоєння, якщо будь-яка криза, така як ціни на нафту нижча за собівартість видобутку або старіння родовищ, може вдарити по галузі. Таким чином, диверсифікація палива для забезпечення енергетичної безпеки та стійкості стає оптимальним вибором і, як очікується, стимулюватиме ринок біопалива з водоростей. Мікрowodорослі є відмінними кандидатами для стійкого виробництва біопалива і пов'язаних з ним біопродуктів завдяки природним маслам, що утворюються, які мають хороший біодизельний потенціал.

Водорості також виробляють інші ліпіди, які потенційно можуть використовуватися як авіаційне паливо, а сама біомаса мікрowodоростей може бути перетворена на паливо або використана безпосередньо як паливо, а вирощування мікрowodоростей з високою біомасою може зменшити викиди вуглекислого газу та інших парникових газів. Ці якості роблять біопаливо з водоростей чудовою альтернативою викопному паливу.

Оман має великий потенціал для надання водоростей для синтезу біопалива. Країна з її озерами та морями є чудовим джерелом водоростей, які можна вирощувати для отримання ліпідів або жирів, з яких потім можна отримувати біопаливо. В Омані спостерігається великомасштабне утворення водоростей, через їхню присутність навіть колір води стає червоним. Уряд шукає способи перетворити їх на корисне біопаливо для використання на транспорті та у виробництві електроенергії. У 2018 році регіон спожив близько 506,3 млн тон нафтового еквівалента, що приблизно на 0,12% вище, ніж у 2017 році.

Регіону потрібна велика кількість енергії, яка значною мірою забезпечується за рахунок використання нафти. Через проблеми глобального

потепління та диверсифікації палива, необхідно знайти стійкіші та ефективніші механізми виробництва енергії. Біопаливо з водоростей може стати альтернативою промисловості викопного палива.

Отже, перспектива виробництва біопалива з водоростей у регіоні є дуже сприятливою, оскільки в регіоні вже є джерела водоростей, а реальна пропозиція щодо виробництва біопалива з водоростей може швидко змінити енергетичний баланс у регіоні.

Катар є великим виробником нафти та газу у світі у 2018 році було видобуто 1879 тисяч барелів нафти на день. Однак країна інвестує у промисловість з виробництва біопалива з водоростей, оскільки в майбутньому вона може стати найкращою альтернативою викопному паливу. Оскільки біопаливо з водоростей у 2020 році є економічно нежиттєздатним, у країні проводяться дослідження з пошуку природного джерела водоростей, що дозволить зробити виробництво водоростей комерційно стійким та перетворити водорості на біопаливо з низьким вмістом невикористаних побічних продуктів.

У 2019 році Total та Центр сталого розвитку Катарського університету ініціювали два дослідницькі проекти з вивчення катарських мікроводоростей для виробництва біопалива. Водорості є стійким джерелом біомаси, яку можна використовувати для багатьох цілей, включаючи виробництво біопалива та уловлювання CO₂ на неорних землях. Дослідницький проект намагається знизити собівартість виробництва та збільшити використання біопалива з водоростей, тим самим сприяючи зростанню ринку.

Катар є найбільшим споживачем біомаси для виробництва електроенергії у регіоні. Методи, що використовуються для біомаси, можуть бути використані для виробництва біопалива на основі водоростей. У 2018 році встановлена потужність біомаси в країні становила 38 МВт. Встановлена потужність, ймовірно, збільшиться у прогнозований період, оскільки технологія стане більш життєздатною.

Отже, перспективи виробництва біопалива з водоростей у Катарі багато в чому залежить від створення економічно стійкої ланцюжка поставок. Більш того, очікується, що увага уряду до досліджень та розробок біопалива з водоростей принесе позитивні результати для ринку.

Qeshm Microalgae Biorefinery Co., Total SA, Exxon Mobil Corporation, Royal Dutch Shell PLC, Chevron Corporation є основними компаніями, що працюють на ринку перспектив біопалива з водоростей GCC.

2.2 SWOT – аналіз підприємства з виробництва біопалива

Проведемо огляд основних підприємств виробників біопалива:

Algenol (США): Algenol є одним із провідних світових виробників біопалива з водоростей. Вони розробляють та комерціалізують технології для виробництва етилового спирту (етанолу) з водоростей, використовуючи свою патентовану технологію довгих мікроволокон (LMF).

Sapphire Energy (США): Sapphire Energy також є відомим виробником біопалива з водоростей. Вони спеціалізуються на виробництві синтетичного дизельного палива з мікрводоростей, використовуючи сонячне світло, вуглекислий газ та воду.

Solazyme (США): Solazyme займається виробництвом олій та палива з мікрводоростей. Вони розробляють та комерціалізують технології для виробництва біодизелю та біогазів з водоростей.

Neste (Фінляндія): Neste є найбільшим у світі виробником біодизеля із різних сировинних матеріалів, включаючи водорості. Вони активно досліджують та розробляють технології для виробництва біопалива з водоростей.

GreenFuel Technologies Corporation (США): GreenFuel Technologies Corporation розробляє технології для промислового виробництва біопалива та інших водоростей. Їхні системи використовують фотобіореактори для

виращування водоростей з метою виробництва біомаси для виробництва палива.

Ці підприємства є провідними у галузі та продовжують розвивати інноваційні технології для виробництва біопалива з водоростей, що сприяє зниженню залежності від нафти та зменшенню вуглецевого сліду.

На сьогоднішній день в Україні виробництво біопалива з водоростей лише починає розвиватися, проте вже є кілька підприємств, які активно працюють у цій галузі. Ось деякі з них:

Український біоенергетичний холдинг (УБХ): Це одне з найбільших підприємств в Україні, яке спеціалізується на виробництві біопалива. УБХ включає кілька компаній, що працюють в галузі біоенергетики, в тому числі і у виробництві біопалива з водоростей.

EcoSunPower: Ця компанія займається виробництвом біопалива з різних джерел, включаючи водорості. Вони розробляють та впроваджують інноваційні технології для виробництва біопалива та інших біоенергетичних продуктів.

Ukrainian Biofuel Portal (UBP): Це інтернет-портал, який надає інформацію про виробників біопалива та інших біоенергетичних продуктів в Україні. На цьому порталі можна знайти контактну інформацію про різні компанії, у тому числі й про ті, що займаються виробництвом біопалива з водоростей.

Eco Wave: Ця компанія спеціалізується на розробці та впровадженні технологій для виробництва біопалива з водоростей. Вони також займаються дослідженнями в галузі біоенергетики та екологічно чистих технологій.

Ці підприємства представляють різні аспекти виробництва біопалива з водоростей в Україні. З розвитком ринку біоенергетики очікується появи нових компаній та збільшення інвестицій у цю область.

Таблиця 2.1

SWOT-аналіз розвитку галузі виробництва біодизельного палива в
Україні

Сильні сторони	Слабкі сторони
<p>С1. Порівняно низька конкуренція в галузі; С2. Велика кількість відходів та зернових культур, що є сировинною базою; С3. Відносно низька вартість сировини для біомаси на місцевих ринках; С4. Екологічні властивості; С5. Високий науковий та інтелектуальний потенціал; С5. Ухвалено Закон про додавання біоетанолу в бензин, який підтримує внутрішнє споживання біопалива; С6. Податкові пільги для виробників біопалива та біоенергії; С7. Невисока вартість людських ресурсів.</p>	<p>Сл1. Недостатня кількість фінансових ресурсів та капітальних вкладень; Сл2. Значні початкові інвестиції; Сл3. Низький рівень інновацій; Сл4. Сезонний дефіцит постачання сировини для виробництва біомаси; Сл5. Висока вартість транспортування та логістичних послуг; Сл6. Слабо розвинена інфраструктура біопалива; Сл7. Можливе підвищення цін на сировину у зв'язку зі зростанням попиту, що перетворює біопаливо на менш конкурентоспроможне; Сл8. Погане поширення інформації про переваги біоенергії; Сл9. Значні обсяги продуктів біомаси експортуються як сировина, а не як кінцевий продукт біоенергії або біопалива; Сл10. Деградація земельних та водних ресурсів, спричинена інтенсивною обробкою.</p>
Можливості	Загрози/небезпеки
<p>М1. Високий рівень зовнішнього ринку та внутрішнього ринку, що розвивається, піднімають попит на біоенергетичну промисловість; М2. Збільшення врожайності сільськогосподарських культур; М3. Експортування сертифікованої сировини на зовнішні ринки; М4. Введення у виробництво земель, що не обробляються; М5. Створення нових робочих місць; М6. Сприяння розвитку сільських територій; М7. Поліпшення енергетичної безпеки: Україна імпортує понад 80% нафтових палив.</p>	<p>З1. Відсутність державної підтримки; З2. Відсутність інтересу кінцевих користувачів; З2. Не є достатньо конкурентоспроможними по відношенню до традиційних видів палив; З3. Надання переваги традиційним нафтовим видам палива; З4. Політична та соціальна нестабільність; З5. Корупція: Україна знаходиться на 117 місці зі 180 країн у рейтингу корумпованості країн.</p>

Ситуаційний план підприємства з виробництва біопалива з водоростей допоможе описати поточний стан справ, виділити ключові фактори та

проблеми, а також визначити стратегічні напрями розвитку. Наведемо приклад ситуаційного плану для такого підприємства:

1. Аналіз довкілля:

- Оцінка ринку біопалива та водоростей, включаючи попит, пропозицію, конкурентів та тенденції розвитку галузі.

- Аналіз законодавства та нормативних актів, що стосуються виробництва та використання біопалива та водоростей.

- Ідентифікація можливостей та загроз, пов'язаних із зовнішнім середовищем.

2. Аналіз внутрішнього середовища:

- Оцінка поточних виробничих потужностей, технологій та обладнання.

- Аналіз кадрового складу, навичок та компетенцій персоналу.

- Ідентифікація сильних та слабких сторін підприємства.

3. Визначення стратегічних цілей:

- Визначення ключових цілей та пріоритетів розвитку підприємства у середньо- та довгостроковій перспективі.

- Встановлення заходів для досягнення поставленої мети.

4. Формулювання стратегії:

- Розробка стратегічного плану, визначального основних напрямів розвитку підприємства.

- Вибір стратегії розвитку (наприклад, розширення виробництва, вдосконалення технологій, розвиток нових ринків).

5. Планування дій:

- Розробка конкретних планів та програм дій для реалізації стратегії.

- Визначення ресурсів, необхідні здійснення планів.

6. Оцінка та контроль:

- Встановлення системи моніторингу та оцінки виконання планів.

- Внесення коригувань у стратегію та плани залежно від ситуації, що змінюється.

7. Інновації та розвиток:

- Підтримка інновацій та пошук нових технологій у галузі виробництва біопалива з водоростей.

- Розвиток співпраці з науковими та дослідницькими установами для просування нових технологій.

Хоча конкретна структура Українського біоенергетичного холдингу (УБГ) з виробництва водоростей може змінюватись в залежності від його розміру, організаційної моделі та стратегічних цілей.

Організаційна структура підприємства:

Топ-менеджмент та керівництво:

- Виконавчий директор (CEO) - відповідає за загальне управління підприємством та реалізацію стратегічних цілей.

- Головний технічний директор (CTO) – відповідає за технічний бік виробництва водоростей, включаючи розробку технологій та процесів.

- Головний фінансовий директор (CFO) – відповідає за фінансове планування, управління бюджетом та фінансову звітність.

Відділ досліджень та розробок (R&D):

- Наукові дослідники та інженери, які працюють над розробкою нових технологій та методів виробництва водоростей.

- Лабораторні техніки та фахівці з аналізу біологічних зразків.

Відділ виробництва:

- Інженери та техніки, що відповідають за виробничий процес, включаючи вирощування, збирання та обробку водоростей.

- Робочі виробничої лінії.

Відділ якості та контролю:

- Фахівці з контролю якості, які забезпечують дотримання стандартів якості на всіх етапах виробництва.

- Інспектори та аналітики, які проводять аналіз продукції та сировини.

Відділ продажу та маркетингу:

- Менеджери з продажу, що відповідають за залучення клієнтів та розвиток ринку для продукції водоростей.

- Маркетологи, які займаються розробкою маркетингових стратегій та просуванням бренду.

Відділ кадрів та адміністрації:

- HR-фахівці, які займаються наймом, навчанням та розвитком персоналу.

- Адміністративний персонал, що забезпечує організаційну підтримку та адміністративні процеси.

Відділ закупівель та постачання:

- Фахівці із закупівель, які відповідають за придбання необхідних матеріалів та обладнання для виробництва водоростей.

Відділ безпеки та екології:

- Фахівці з охорони праці та безпеки, які забезпечують дотримання норм та стандартів безпеки.

- Екологи та фахівці з охорони навколишнього середовища, які займаються мінімізацією екологічного впливу виробництва.

Це лише загальна структура підприємства, і конкретні підрозділи можуть змінюватись в залежності від специфіки бізнесу та стратегічних цілей Українського біоенергетичного холдингу (УБГ).

2.3 Дослідження технології процесу виробництва біопалив з мікроводоростей

Ферментворчість водоростей, також відома як алгакультура, є практикою культивування водоростей для різних цілей, включаючи харчові продукти, паливо та екологічне відновлення. Проте, вирощування водоростей для комерційних цілей включає кілька методів, які використовуються для вирощування водоростей.

1. Відкриті ставки

Відкриті ставки є найбільш поширеним методом, що використовується для вирощування водоростей. Це неглибокі басейни, які піддаються впливу

сонячного світла і повітря. Ставки вимагають багато води і схильні до забруднення з боку інших організмів.

2. Photobioereactors

PhotoBioReactors – це закриті системи, які дозволяють контролювати вирощування водоростей. Вони призначені для максимізації кількості світла, яке досягає водоростей і може використовуватися для вирощування різних видів. PhotoBioReactors більш ефективні, ніж відкриті ставки, але їх також дорожче побудувати та підтримувати.

3. Гібридні системи

Гібридні системи є комбінацією відкритих ставків і фотобіореакторів. Вони використовують переваги обох систем для створення більш ефективного та економічно ефективного методу вирощування водоростей. Гібридні системи можуть бути розроблені для задоволення конкретних потреб та адаптуються до різних середовищ.

4. Проблеми

Є кілька проблем, пов'язаних з фермерством водоростей. Однією з найбільших проблем є забруднення. Водорості схильні до забруднення з боку інших організмів, таких як бактерії та гриби. Забруднення може знизити врожайність і якість водоростей, що робить їх непридатним для комерційного використання.

Ще одна проблема – це вартість фермерства водоростей. У той час як водорості є багатообіцяючим відновлюваним ресурсом, вартість вирощування все ще відносно висока.

Нарешті, існує завдання збільшення сільського господарства водоростей. У той час як сільське господарство водоростей було успішним у невеликих масштабах, масштабування для задоволення комерційного попиту все ще є проблемою.

Фермоводство водоростей може стати основним джерелом відновлюваних ресурсів. Існує кілька методів вирощування водоростей, кожен з яких має свої перевагами та недоліки. Хоча існують проблеми, пов'язані з

фермерством водоростей, дослідження та розробки продовжуються, щоб створити більш ефективні та економічно ефективні методи вирощування.

Cultivation Methods and Challenges



Рис. 2.2 Методи культивування мікробіодоростей

Водорості є багатообіцяючим джерелом відновлюваного біопалива через його високу продуктивність і здатність рости в різних середовищах. Переваги і недоліки.

1. Механічний видобуток:

Механічна екстракція включає фізичне відділення водоростей від води з використанням центрифуг або фільтрів. Ця техніка відносно проста і недорога, що робить її привабливим варіантом для невеликих операцій, екстракції.

2. Вилучення розчинника:

Вилучення розчинника включає використання розчинника, такого як гексан або етанол, для розчинення ліпідів у водоростях. Потім розчинник відокремлюється від суміші, залишаючи позаду, багата ліпідами олія, яка може бути додатково оброблена в біопаливо. Ця техніка більш ефективна.

Після збору біомаси водоростей наступним кроком є обробка та вдосконалення її в біопаливі. Цей процес був серйозною проблемою для галузі біопалива водоростей через високу вартість виробництва та низьку ефективність.

1. Сушіння і вилучення олії:

Першим кроком в обробці водоростей в біопаливо є вилучення олії з біомаси водоростей. Найбільш поширеним методом екстракції олії є сушіння водоростей, а потім з використанням розчинника для вилучення олії. Цей процес називається вилученням розчинника.

2. Переетерифікація:

Після вилучення олії з біомаси водоростей наступним кроком є перетворення його в біодизель. Найбільш поширеним методом перетворення нафти на біодизель є процес, званий переетерифікацією.

3. Гідротермальне розрідження:

Іншим методом обробки водоростей в біопаливо є гідротермальне розрідження. Цей процес включає в себе перетворення біомаси водоростей в рідку біо-олію шляхом нагрівання в присутності води при високому тиску і температурі.

4. Рафінування та оновлення:

Після того, як біодизель або біо-олія виробляється, їх необхідно вдосконалити і оновлювати для відповідності стандартам палива. Процес переробки включає видалення домішок і забруднюючих речовин з біопалива. Оновлення включає в себе поліпшення якості біопалива для відповідності бажаним специфікаціям.

5. Сопродукти:

Обробка біопалива водоростей та переробка також виробляють цінні супутні виробництва, які можна використовувати для інших цілей. Наприклад, гліцерин, побічний продукт переетерифікації, може використовуватися при виробництві косметики, мила та інших продуктів. Інші біомаси водоростей також можна використовувати як корм для тварин, добрива або навіть як джерело біопластики.

Обробка та переробка біопалива водоростей є важливим кроком у виробництві біопалива. Вибраний метод залежить від різних факторів, таких як тип водоростей, вартість виробництва та ефективність процесу. Проте з розвитком технологій процес став більш ефективним.

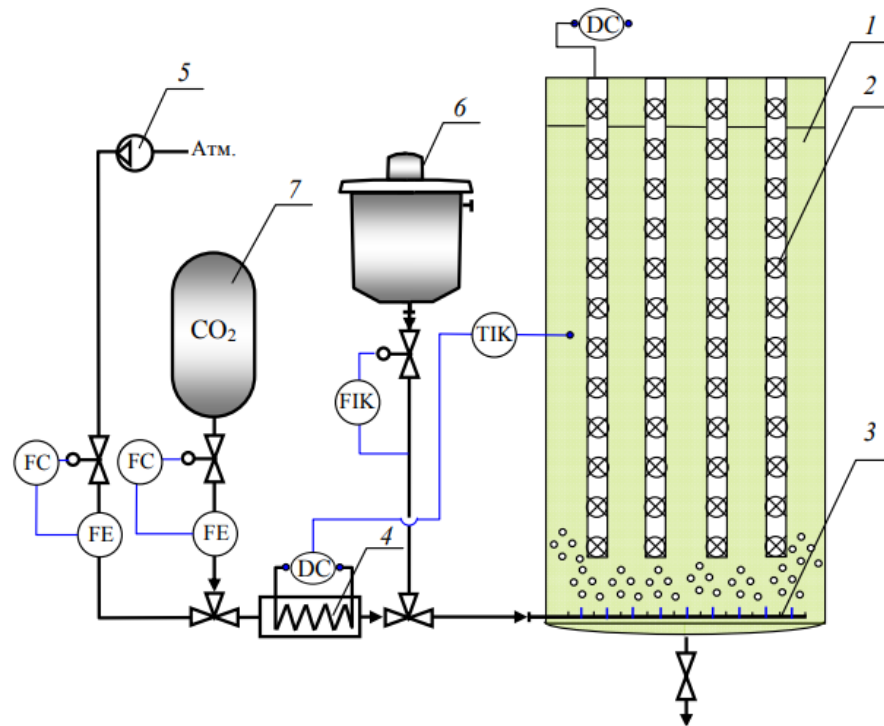


Рис. 2.3 Принципова схема лабораторної установки культивування біомаси мікробіодорості *Chlorella vulgaris*:

1 – фотобіореактор, 2 – світлодіодний кабель, 3 – пристрій для подачі живильного середовища та барботажу; 4 – нагрівач; 5 – компресор; 6 – ємність для подачі живильного середовища; 7 – балон із CO₂

Проведені останнім часом дослідження показали, що фотосинтетичні мікробіодорості – найбільш очікуваний кандидат для виробництва біопалива (біодизельного палива та етанолу), їм не потрібна чиста вода, родючий ґрунт, та вони можуть зробити значний внесок у видалення надлишку CO₂ із атмосфери. Нещодавно американська авіакомпанія Continental Airlines провела успішний демонстраційний політ Boeing 737-800, використовуючи як паливо суміш (50% на 50%) біодизельного палива з водоростей та рослин.

Декілька нафтових компаній (Chevron, Shell) проводять нині спільні дослідження з вченими низки державних інститутів та університетів США з одержання біопалива з водоростей.

Мільйони доларів виділяються на дослідження водоростей урядом США та інших країн.

Однак, незважаючи на значні зусилля та виділені кошти, ефективного впровадження в промисловому масштабі технологій отримання біопалива з мікроводоростей, як і раніше, буксує в у зв'язку з нездатністю цих організмів генерувати значну кількість біопалива за задовільними цінами.

Технологія виробництва біодизельного палива та етанолу у відкритих ставках або фотобіореакторах поки що не готова для впровадження у промислове виробництво, а знаходиться на рівні наукових розробок.

Існує кілька проблем на шляху широкого запровадження цієї технології.

Одна з цих проблем – це повільне зростання мікроводоростей з найбільшим вмістом олії, а також недостатньо вивчена біологія, включаючи генетику цих видів, що не дозволяє генетично покращити ці мікроводорості. Також недостатньо знань про кінетику продукування олії або крохмалю з мікроводорості та залежності цієї кінетики від наявності води, світла та поживних речовин, що робить аналіз промислових виробництв біопалива з мікроводоростей практично неможливим.

Конструкція фотобіореакторів та їх ціна також потребує поліпшень. Можуть виникнути і інші проблеми на шляху масового впровадження водоростевої технології для одержання біопалива.

Так, наприклад, азот та фосфор – одні з необхідних водоростям елементів. Як і рослинам, водоростям знадобиться велика кількість цих елементів у вигляді азотних та фосфорних добрив. Виробництво азотних добрив в даний час споживає до 50% енергії, що витрачається у сучасному сільському господарстві.

Висновки до розділу 2

У 2023 році світовий ринок водоростей оцінювався в 20.94 мільярда доларів США, а до 2030 року, за прогнозами, він досягне 45.55 мільярдів доларів США. Прогнозується, що світова індустрія водоростей зростатиме і демонструватиме сукупний річний темп зростання (CAGR) 10.20% за прогнозований період.

Ключовим фактором, що сприяє зростанню світового ринку водоростей протягом прогнозованого періоду, є попит, що зростає, на надійні, стійкі і доступні джерела енергії для скорочення ланцюжків поставок нафти і задоволення зростаючого попиту в авіаційній та автомобільній галузях. Ще одним фактором, що сприяє розширенню ринку водоростей, є попит на водорості в індустрії пластмас, які використовуються для біорозкладних пластиків. Очікується, що протягом прогнозованого періоду використання водоростей збільшиться у різних сферах, включаючи фармацевтику, виробництво продуктів харчування та напоїв, добрив, косметики та ін.

Проекти з використання біомаси водоростей як біопалива є в США, Іспанії, Португалії, Голландії, Японії, Новій Зеландії та Німеччині. Україна також займається розробкою проектів у цій галузі.

Експерименти, що проводилися в США в рамках програми «Aquatic Species Program» показали, що оптимально для вирощування водоростей у відкритих водоймах підходить Каліфорнія, Нью-Мексико і Гавайї. Урожайність водойми в Нью-Мексико склала 50 грам водоростей з одного квадратно метра. Крім того, на сьогоднішній день не розроблено ефективний метод збору водоростей, які вирощуються у великих водоймах. Вчені підраховали, що для покриття потреби США в дизельному паливі водорості необхідно вирощувати на загальній площі, яка дорівнює площі штату Монтана.

Альтернативою вирощування водоростей у відкритих водоймах може стати використання спеціальних біореакторів, які можна розташовувати біля теплових чи атомних станцій. Тепло, що вони скидають, до 75% може покрити потребу в теплі, яке необхідне для вирощування водоростей. Подібна технологія дозволяє отримувати біодизель з водоростей практично в будь-якій частині планети, а не тільки в умовах жаркого пустельного клімату.

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БІОПАЛИВ

3.1 Захист атмосфери та поверхневих вод від забруднення

Успішне виробництво біопалива з мікродоростей залежить від надійного та недорогого водопостачання. Залежно від виду мікродоростей, прісну або солону воду необхідно додавати в земляний ставок, канали, наземні культурні резервуари, систему оборотного водопостачання або фотобіореактори (PBR). Крім того, регулярне доливання води потрібно в культурних системах для компенсації втрат випаровування. Іноді воду також можна використовувати для охолодження деяких системи PBR.

Однак потреба у воді для вирощування водоростей дуже чутлива та залежить від географічного положення та зміни потреб у воді через специфічні для даного місця швидкості випаровування та атмосферні опади. Більшість прямих потреб у воді виникає через втрату води під час збору водоростей і випаровування води, що створює водний стрес в інших секторах.

Попит на воду може бути знижений за рахунок використання рециркуляційної системи вирощування водоростей. Однак є ризик використання цієї системи. Велика концентрація інфекційного агента (бактерій, вірусів і грибів), метаболіти, що залишаються від зруйнованих клітини водоростей та неживі інгібітори (такі як органічні та неорганічні хімічні речовини) залишаються у рециркулюючій воді, яка може заразити чи інгібувати зростання цільової біомаси водоростей. Цей ризик можна знизити, регулярно видаляючи частину загальної кількості води, оскільки цей процес допоможе очистити ці компоненти [13].

Дослідження показали, що використання культури морських водоростей можуть зменшити водяний слід водоростей [12,14].

Виробництво біопалива з використанням мікродоростей може вплинути на якість води залежно від ресурсів та управління.

Практика, що використовується при вирощуванні, збиранні та переробці водоростей для виробництва водоростевих продуктів та біопродуктів, переробка відпрацьованої води, цілісність інфраструктури культурної системи та погодні явища також можуть впливати на якість води. Коли культивуються види морських водоростей або для культивування водоростей використовується солоний водонесний горизонт, стічні води, що викидаються, можуть підвищити рівень солоності приймаючих водойм [15].

Вирощування водоростей на промисловому рівні потребує великої кількості макро- та мікроелементів для забезпечення високого рівня вирощування водоростей.

Вихід біомаси водоростей: ці поживні елементи включають вуглець (C), азот (N), фосфор (P), залізо і, в деяких випадках, кремній, кальцій, магній, калій, залізо, марганець, сірку, цинк, мідь та кобальт [10,16,17].

Біомаса водоростей використовує ці поживні речовини для клітинних компонентів для свого зростання. Навіть ці поживні речовини не перебувають у надлишку води, загальна концентрація поживних речовин у біомасі водоростей буде високою. Випадкове чи навмисне вивільнення значного обсягу цієї культурної води разом із надходженням органічних речовин у довкілля може призвести до небажаних змін у структурі екосистем та функціонуванні нижчого прісноводного та морського середовища [13, 15].

Вони також можуть забруднювати підземні води та підвищувати солоність ресурсної води [15]. Однак якщо водорості культивують у міських стічних водах або стічних водах тваринницьких підприємств вони можуть покращити якість води за рахунок виділення живильних компонентів. Виробництво біогазу зі стічних вод, що утворюються після аеробного зброджування водоростей, екстрагованих ліпідами, може також покращувати якість води [18]. Випадкове скидання води може статися через перелив ставків, канали чи культурні резервуари, спричинені сильними дощами чи пошкодженням культурних систем екстремальними погодними умовами., наприклад, торнадо, ураган і т. д. Випадковий викид може також статися через

прорив глиняного або пластикового облицювання ставків або траси за умов нормальних погодних умов чи екстремальних погодних умов.

Отже, водоростеві культурні системи мають бути спроектовані та протестовані для протистояння стихійним лихам. Кількісна оцінка втрат води із системи культивування вказує на необхідність усунення невеликих витоків чи ремонту інфраструктури.

Технологічні схеми очищення стічних вод:

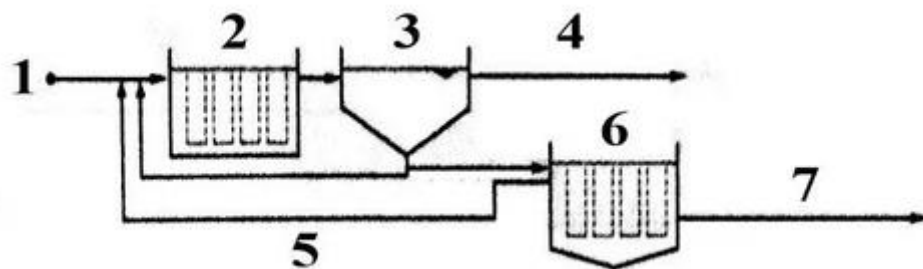


Рис. 3.1 1-вихідні стічні води; 2-аеротенк; 3-вторинний відстійник; 4-стічні води після відстійника; 5-поворотний розчин аеробного зброджування; 6-аеробне зброджування; 7-осад після аеробного зброджування.

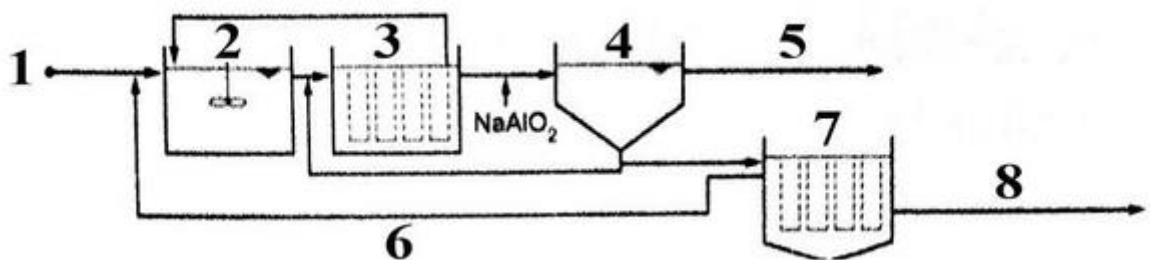


Рис. 3.2 1-вихідні стічні води; 2-аноксидний реактор; 3-аеротенк; 4-вторинний відстійник; 5-стічні води після відстійника; 6-поворотний розчин аеробного зброджування; 7-аеробне зброджування; 8-осад після аеробного зброджування.

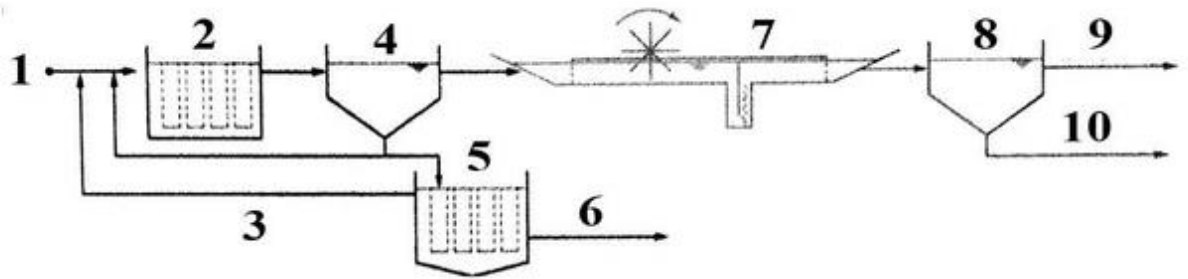


Рис. 3.3 1-вихідні стічні води; 2-аеротенк; 3-поворотний розчин аеробного зброджування; 4-вторинний відстійник; 5- аеробне зброджування; 6-осад після аеробного зброджування; 7-альгакультура; 8-відстійник водоростей; 9-стічні води після обробки; 10-біомаса водоростей.

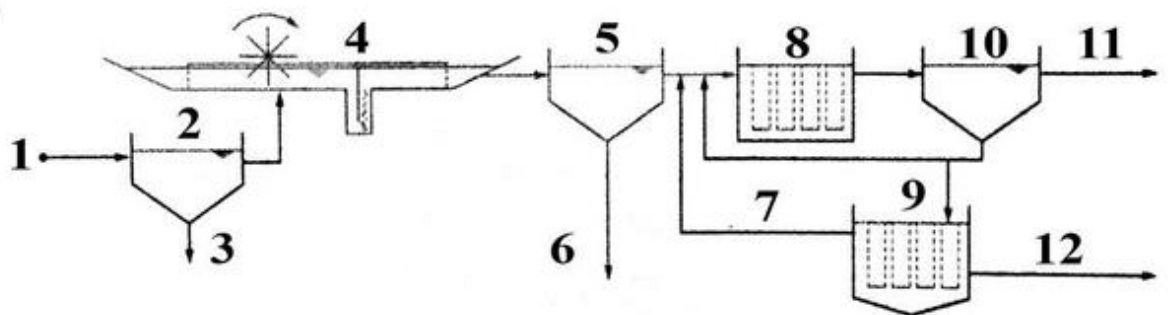


Рис. 3.4 1-вихідні стічні води; 2-первинний відстійник; 3-первинний осад; 4-альгакультура; 5-відстійник водоростей; 6-біомаса водоростей; 7-зворотний розчин аеробного зброджування; 8-аеротенк; 9-аеробне зброджування; 10-вторинний відстійник; 11-стічні води після відстійника; 12 осад після аеробного зброджування.

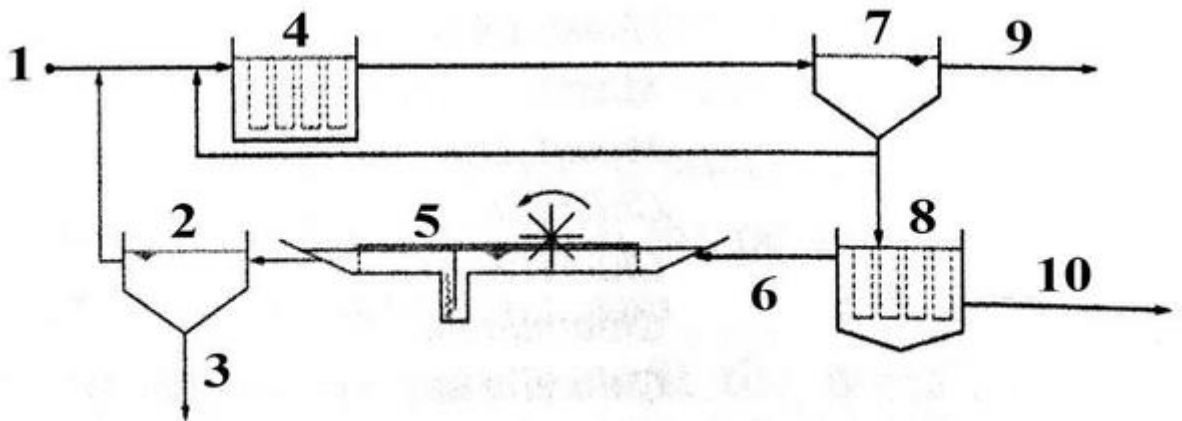


Рис. 3.5 1- вихідні стічні води; 2-відстійник водоростей; 3-біомаса водоростей; 4-аеротенк; 5-альгакультура; 6- зворотний розчин аеробного зброджування; 7-вторинний відстійник; 8-аеробне зброджування; 9-стічні води після відстійника; 10 осад після аеробного зброджування.

Базова схема передбачає процес з активним мулом та вторинне відстоювання. У цьому випадку передбачено нітрифікацію для переведення амонійного азоту в нітрати (час затримки твердої фази становить 18 діб), при цьому не передбачається повне видалення азоту в результаті денітрифікації. Надлишковий активний мул стабілізують аеробним зброджуванням, освітлений розчин повертають у голову процесу.

Друга схема розглядається як традиційна схема видалення біогенів (далі «Базова-У»), яка зазвичай використовується на очисних спорудах невеликої потужності. Тут перед аеротенком встановлений аноксидний реактор з рециркуляцією мулової суміші для часткової денітрифікації. Перед відстоюванням до мулової суміші додають алюмінат видалення фосфору.

У трьох інших схемах у процес очищення стічних вод інтегрована культивування мікр водоростей на різних етапах технологічної схеми. До них відносяться:

- альгакультура як третинна обробка стічних вод для видалення біогенів після процесу з активним мулом (далі «третинна»);

- альгакультура як вторинна обробка для видалення біогенів перед процесом з активним мулом (далі «вторинна»);
- альгакультура для локальної обробки зворотного концентрованого за біогенами розчину після зневоднення осаду аеробного зброджування (далі «локальна»).

Всі представлені схеми забезпечують видалення азоту та фосфору, що є перевагою по відношенню до традиційних схем (особливо на очисних спорудах невеликої потужності), де, в основному, практикується видалення або азоту, або фосфору. У цьому нова технологія забезпечує видалення фосфору у процесі синтезу клітин.

Встановлено, що біогени у складі біомаси більш біодоступні, ніж після хімічного осадження традиційних схемах. Схеми вторинної обробки та обробки зворотного потоку аеробного зброджування підвищують ефективність процесу з активним мулом. У разі їх використання відбувається видалення органічного вуглецю та амонію, що знижує їх вміст у стічних водах, що надходять у процес з активним мулом. Це, у свою чергу, зменшує витрати кисню для зниження БПК та нітрифікації. Крім цього, дані схеми дозволяють здійснювати узгодження параметрів біологічного та фототрофного процесів, тоді як при третинній обробці фототрофний процес не пов'язаний з технологічними потоками з вторинною обробкою (процес з активним мулом).

Також наголошується на можливості видалення важких металів у фототрофному процесі (поряд з біогенами), які можуть негативно впливати на склад мікрофлори в процесі з активним мулом.

Поряд з потенційними перевагами нині існує низка перешкод для практичної реалізації даних схем. Одним із основних є потреба у значних земельних площах. Оскільки для розвитку мікробіоти потрібне сонячне світло, реактори для фототрофного процесу повинні мати висоту не більше 1 м (порівняно з 4 м для біореактора). У зв'язку з цим підвищується доцільність використання схеми обробки зворотного потоку. Також при вбудовуванні фототрофного процесу в схеми очисних споруд треба враховувати, що в

процесі активного мулу для ефективного видалення органічного вуглецю потрібно азот і фосфор. Їх недолік веде до розвитку нитчастих бактерій та позаклітинних речовин, що значно збільшує муловий індекс та зумовлює погане відстоювання.

У всіх випадках продуктивність очисних споруд зі стічних вод становить 7570 м³/сут. У кожному сценарії розглядаються опції обробки низькоконцентрованих, проміжних та висококонцентрованих стічних вод на очисних спорудах.

Як обговорювалося раніше, коли стічні води від культур водоростей досягають природного водного доквілля, це може викликати евтрофікацію у приймальних водоймах. Одним із значних наслідків евтрофікації є скорочення біорізноманіття в одержаній воді внаслідок гіпоксії, аноксії та токсичності. Розкладання мертвої біомаси водоростей споживає кисень, що призводить до задухи водних організмів, дихання яких залежить від розчиненого кисню.

Отже, може статися загибель морських організмів та їх заміна іншими домінуючими видами. Тим самим водні біорізноманіття можна змінити. Крім того, матеріал, що розклався, виробляє сірководень (H₂S) в анаеробному середовищі водойм [20]. H₂S високотоксичний для риб, безхребетних та інших водних організмів у концентраціях часто зустрічається в природних та забруднених умовах. Однак рекомендовано використовувати H₂S у концентрації 0,002 мг/л. це вважається безпечною межею для захисту всіх видів риб та донних безхребетних [30].

Група морських водоростей відіграє життєво важливу роль у стабілізації відкладень та забезпеченні доквілля та джерел їжі для багатьох морських організмів. Дрібноводні морські води, багаті на поживні речовини, можуть призвести до скорочення сукупності морських водоростей, оскільки підвищена концентрація азоту та навантаження негативно впливають на морську траву [20,28].

3.2 Поводження з відходами

Раніше паливо, отримане в результаті обробки водоростей, змішувалося з біопаливом другого покоління, проте через можливості забезпечити надзвичайно високу врожайність, що перевищує таку в інших видів сировини, паливо на основі водоростей є сенс виділити в окреме покоління. Так, деякі види водоростей здатні накопичувати більше 60% ліпідів у сухій вазі, забезпечуючи врожайність рівня 90000 л/га [11].

У цьому контексті водорості є великою групою. фотосинтетичних організмів, що живуть, залежно від виду, у прісній, солонуватій або солоній воді [17].

Однією з головних переваг водоростей як сировини для виробництва палива є широкий спектр можливих кінцевих продуктів їх переробки. Наприклад, з цього виду сировини можна виробляти біодизель, бутанол, метанол, етанол, залежно від генетичних модифікацій конкретного виду водорості [10].

Також до переваг можна віднести і різні можливі способи вирощування паливних водоростей.

Відриті ставки – найпростіші системи, в яких водорості вирощуються на свіжому повітрі. Вони прості в будівництві та встановленні, вимагають низьких капітальних витрат, але менш ефективні за інші системи вирощування водоростей. Крім того, необхідно враховувати можливість попадання в ставок інших організмів, здатних завдати істотної шкоди паливним водоростям, що вирощуються. Відкриті ставки для вирощування водоростей представлені на рис. 3.1 [18]



Рис. 3.6 – відкриті ставки для вирощування водоростей

Закриті ставки – ставки, що не піддаються впливу атмосфери та використовують закриту систему подачі вуглекислого газу.

До переваги таких систем можна віднести можливість безпосередньо зв'язати їх з джерелом вуглекислого газу, наприклад, димовими трубами, і, таким чином, запобігти чи послабити забруднення атмосфери.

Фотобіореактори – біореактор, що використовує джерело світла для культивування фототрофних мікроорганізмів. Ці організми використовують фотосинтез для отримання біомаси зі світла та вуглекислого газу.

Фотобіореактори можуть використовуватися для вирощування, крім різних водоростей, ще й деякі види рослин, мохів, бактерій.

Така система вирощування водоростей є найбільш капіталомісткою та складною в технічному відношенні, але вона має найвищу врожайність серед описаних варіантів. На Рис. 3.2 представлений один із фотобіореакторів [19].

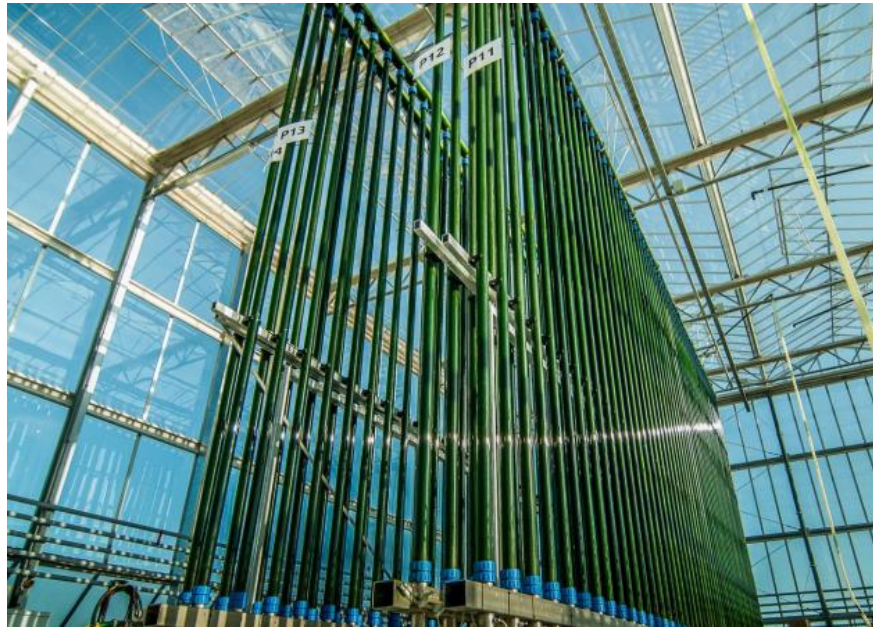


Рис. 3.7 – Фотобіореактор для вирощування водоростей

Усі три системи мають важливу особливість – їх можна експлуатувати у місцях, не призначених для ведення сільського господарства. І якщо відриті ставки вимагають для свого успішного функціонування комфортні кліматичні умови, то закриті ставки та фотобіореактори здатні встановлюватися практично будь-де. Більше того, паливні водорості можна вирощувати в стічних водах, що означає, що вони здатні частково переробляти муніципальні відходи та покращувати функціонування міської каналізаційної системи.

Водночас водорості як джерело сировини для виробництва авіаційного біопалива мають і негативні сторони.

До них відноситься надзвичайно велика потреба у воді, а також фосфорних та азотних добрив. Виробництво останніх також призводить до викиду парникових газів, що робить неоднозначною екологічну вигоду виробництва біопалива саме із цього джерела сировини.

Крім того, неоднозначними є перспективи використання водоростей. Висока ціна виробництва водоростевої олії, що коливається у досить широкому діапазоні (від 2 до 24 \$ / л) [11].

На даний момент ведеться активна наукова діяльність, спрямована на підвищення ефективності вирощування водоростей, проте поки що не зрозуміло, яка революційна технологія має різко підвищити економічну конкурентоспроможність цього виду сировини.

На даний момент ведуться наукові дослідження в галузі альтернативних шляхів переробки олій, що містяться у водоростях, в альтернативне паливо, проте найбільш вивченим і обкатаним є спосіб, подібний до переробки рослинних олій, камелінів та ятрофів, ліпідна конверсія.

Слід зазначити і паливо, отримане в результаті ліпідної конверсії. Маючи більш високі оцінки виділення парникових газів протягом життєвого циклу, воно, тим не менш, виготовляється з більш стійкої сировини. Виражається це, головним чином, у можливості вирощувати, наприклад, камеліну, ятрофу та водорості на землях, що мають низьку з точки зору сільського господарства цінність.

У той же час слід враховувати невелику кількість досліджень оцінок життєвого циклу для авіаційного біопалива. Як згадувалося раніше, зважаючи на методологічні відмінності оцінка виділення парникових газів для конкретного виду палива змінюється від дослідження до дослідження, що ускладнює порівняння різних паливних сумішей. Крім того, через загальну незрілість як технологій виробництва сталого альтернативного палива, так і методів його оцінки, отримані значення мають тенденцію до певних змін у майбутньому.

Проте очевидна можливість зниження викидів парникових газів при використанні альтернативних видів палива біологічного походження, внаслідок чого дослідження в галузі їх виробництва, безперечно, продовжуватимуться, що призведе до більш точних оцінок різних їх характеристик.

3.3 Перспективи впровадження сучасних технологій на підприємствах України

Оскільки світ продовжує боротися з проблемами зміни клімату і необхідністю переходу до відновлюваних джерел енергії, розвиток біопалива водоростей став багатообіцяючою альтернативою традиційному викопному паливу, яке може бути перетворено на біопаливо. Тим не менш, майбутні перспективи розвитку біопалива водоростей залежать від різних факторів, включаючи технологічні досягнення, державну політику та ринковий попит.

1. Технологічні здобутки. Одним з ключових факторів, що сприяють майбутнім перспективам розвитку біопалива водоростей, є подальший розвиток технології в цій галузі. Компанії використовують генетичну інженерію для створення штамів водоростей, які виробляють більш високу прибутковість нафти або стійкіші до стресових факторів навколишнього середовища.

2. Урядова політика. Іншим важливим фактором, який буде формувати майбутнє розвитку біопалива водоростей, є державна політика та правила. Багато країн встановили цілі для збільшення використання відновлюваних джерел енергії, а деякі мають спеціальні мандати для біопалива. Наприклад, стандарт відновлюваного палива (RFS) у Сполучених Штатах вимагає, щоб певна кількість біопалива була замішена в транспортне паливо щороку. Ця політика може створити ринковий попит на біопаливо водоростей і забезпечити стимули для компаній інвестувати в цю технологію.

3. Ринковий попит: майбутні перспективи розвитку біопалива водоростей також залежать від ринкового попиту на цей тип палива. Від того, як технологія покращується та знижуються виробничі витрати, біопаливо водоростей може стати більш конкурентоспроможним на ринку. Крім того, можуть бути нішеві ринки для біопалива водоростей, наприклад, в авіації чи морському транспортуванні, де необхідне біопаливо для відповідності стандартам викидів.

4. Порівняння з іншими варіантами біопалива: Біопаливо водоростей – не єдиний варіант для поновлюваного транспортного палива, і майбутні перспективи цієї технології залежатимуть від того, як вона порівнюється з іншими варіантами біопалива. Наприклад, вже використовується біопаливо з таких культур, як кукурудза або цукрова тростина, і деякі компанії досліджують використання відходів, таких як харчові відходи або сільськогосподарські залишки для виробництва біопалива. Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки, і найкращий варіант буде залежати від таких факторів як вартість, доступність та стійкість.

5. Висновок. Майбутні перспективи розвитку біопалива водоростей є багатообіцяючими, але успіх залежатиме від продовження досягнення в галузі технологій, що підтримується державною політикою та ринковим попитом. В той час як біопалива водоростей не єдиний варіант для відновлюваного транспортного палива, вони пропонують ряд переваг, включаючи здатність рости в різних місцях і потенціал для отримання високої прибутковості нафти. У міру того, як технологія покращується, і витрати на виробництво знижуються, біопаливо водоростей може стати конкурентним варіантом для задоволення наших потреб в енергетиці.

Оцінка захисту навколишнього середовища під час виробництва біопалива є важливим етапом, щоб зрозуміти вплив цього процесу на екологію. Ось кілька ключових аспектів, які зазвичай враховуються за такої оцінки:

Використання сировини: Оцінюється кількість ресурсів, таких як земля і вода, що потрібні для вирощування сировини для біопалива. Також враховується потенційний вплив на біорізноманіття та використання пестицидів та добрив.

Енергетичний баланс: Оцінюється, скільки енергії витрачається на виробництво біопалива порівняно з кількістю енергії, яку може замінити в результаті спалювання.

Викиди: Вивчається, скільки парникових газів та інших забруднювачів викидається під час виробництва, транспортування та використання біопалива.

Забруднення ґрунту та води: Аналізується, як виробництво біопалива може вплинути на якість ґрунту та води через використання добрив, пестицидів та інших хімічних речовин.

Ландшафтні зміни: Вивчається, який вплив може мати вирубка лісів або зміна використання землі на ландшафт та біорізноманіття.

Стійкість: Оцінюється, наскільки стійке виробництво біопалива з метою забезпечення його доступності у довгостроковій перспективі та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Ці фактори та багато інших враховуються при проведенні комплексної оцінки впливу на довкілля для біопалива. Комплексна оцінка дозволяє виявити потенційні проблеми та розробити заходи щодо їх запобігання або пом'якшення.

Висновок до розділу 3

Таким чином, мікрководорості відводять важливу роль у вирішенні ряду глобальних проблем, що хвилюють все людство: продовольчої, медичної, енергетичної, охорони навколишнього середовища, освоєння космічного простору та ін. Можливості широкомасштабного промислового виробництва біомаси мікрководоростей та розширення спектру їх використання висувають ряд завдань перед екологами, мікробіологами та біотехнологами в області пошуку високопродуктивних штамів та оптимізації умов їх культивування. Охорона та раціональне використання корисних видів та запобігання небажаним біологічним явищам, що викликаються водоростями, можливі лише за умови глибокого пізнання альгофлори, вивчення закономірностей розподілу та розвитку водоростей у наземних та водних екосистемах з урахуванням їх фізіолого-біохімічних та еколого-біологічних особливостей.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Техніка безпеки – це комплекс заходів організаційно-технічного характеру, спрямованих на створення безпечних умов праці для підприємства, дозволяючи знизити чи виключити виробничий травматизм. Для цього перевіряють справність діючого обладнання, захисних пристроїв до машин, верстатів, нагрівальних установок.

Оптимізують з метою безпеки умови роботи, забезпечуючи хорошу освітленість робочих місць та виробничих приміщень, гарну вентиляцію, своєчасне видалення пилю та відходів виробництва, підтримання нормальної температури у приміщеннях.

Особою, відповідальною за виконання умов безпеки праці на підприємстві, проводиться інструктаж за правилами техніки безпеки на підприємстві в цілому та при роботі з конкретним обладнанням, навчання персоналу та перевірка знань про правила безпеки.

Також охорона праці на підприємстві включає забезпечення персоналу інструкціями з техніки безпеки, оснащення робочих місць плакатами і наочними посібниками по роботі з обладнанням і зображеннями, що візуалізують найбільш небезпечні місця на виробництві та дії, що запобігають виробничому травматизму.

Щоб знизити виробничий травматизм, співробітники також зобов'язані дотримуватись певних вимог та правил поведінки на робочому місці, які передбачає техніка безпеки:

- одягати спецодяг, який має бути в повному порядку, а також робоче взуття;
- перед початком роботи підготувати робоче місце, звільнити його для роботи, перевірити освітленість та справність обладнання;
- переконатися, що підлога на робочому місці у справності не ковзає, і немає на підлозі сторонніх предметів, об які можна спіткнутися;

- під час роботи з конкретним видом обладнання користуватися захисними пристроями – рукавичками, окулярами, сітками та іншими;
- не нахилятися близько до працюючого обладнання та користуватися технологічними картами.

Роботодавець зобов'язаний розробити внутрішню нормативну документацію, проводити інструктажі та перевірки знань відповідно до вимог законодавства, інформувати працівників про всі обставини, від яких залежить безпека на виробництві.

Також роботодавець має створити для працівників безпечні умови праці. Для цієї мети передбачається комплекс вимог:

- використання обладнання та конструкцій, що відповідають вимогам стандартів та іншої нормативної документації;
- дотримання термінів періодичних ремонтів та обслуговування обладнання;
- дотримання вимог пожежної та електробезпеки при оснащенні виробничих та офісних приміщень;
- встановлення необхідних захисних пристроїв та конструкцій;
- забезпечення достатньої освітленості, вентиляції, підтримання оптимального температурного режиму на робочих місцях;
- своєчасне усунення пилу та відходів виробництва;
- забезпечення працівників спецодягом та спецвзуттям, а також іншими засобами індивідуального захисту відповідно до специфіки виробництва;
- забезпечення працівників актуальними інструкціями з ТБ, наочними матеріалами;
- створення на робочих місцях та у виробничих приміщеннях всіх необхідних систем сигналізації, розміщення знаків безпеки тощо.

Вимоги щодо безпеки на робочих місцях:

Одним із пріоритетних завдань охорони праці та техніки безпеки є підтримання робочих місць та виробничих приміщень у безпечному стані. З цією метою пред'являються такі вимоги:

- кожен працівник, незалежно від посади та місця роботи, несе відповідальність за підтримання порядку на своєму робочому місці;
- необхідно своєчасно прибирати сміття та утримувати робоче місце у чистоті;
- проходи, коридори, шляхи евакуації мають залишатися вільними;
- прокладання кабелів у межах робочих місць має виконуватися з дотриманням вимог електробезпеки;
- при розливі або розсипанні будь-яких речовин на робочому місці або у виробничих приміщеннях прибирання повинно бути негайно.

Вимоги техніки безпеки до працівників підприємства:

Забезпечення безпеки праці неможливе без безпосередньої участі самих співробітників. Значна частина аварій та нещасних випадків на виробництві відбувається через порушення, які допускаються працівниками.

Усі працівники, незалежно від посади, зобов'язані:

- знати особливості технологічного процесу на своєму робочому місці;
- знати та дотримуватись усіх чинних вимог щодо безпечної експлуатації обладнання на своєму робочому місці;
- мати в повному обсязі знання в рамках інструктажів з охорони праці;
- носити прийняту на підприємстві уніформу, спецодяг, використовувати засоби індивідуального захисту;
- дотримуватись вимог техніки безпеки, що діють у виробничому підрозділі;
- знати та дотримуватись вимог, що наказуються знаками безпеки, встановленими на робочому місці;
- дотримуватись вимог пожежної безпеки та електробезпеки.

Охорона праці при виробництві біопалива з мікрводоростей відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки працівників та дотриманні нормативних вимог. Ось деякі основні аспекти охорони праці, які слід враховувати:

1. Навчання та забезпечення інформацією: Працівники повинні бути навчені правилам безпеки та процедурам роботи з обладнанням та хімічними речовинами, що використовуються при виробництві біопалива з водоростей.

2. Використання захисного екіпірування: Працівники повинні бути забезпечені необхідним захисним екіпіруванням, таким як захисні окуляри, маски, рукавички та чоботи, для запобігання можливим травмам і впливу шкідливих речовин.

3. Моніторинг шкідливих речовин: Проведення регулярного моніторингу шкідливих речовин у повітрі робочої зони, а також контроль рівня шуму та вібрації, щоб звести до мінімуму ризик різних захворювань та травм.

4. Проектування безпечних робочих місць: Забезпечення правильного розташування обладнання, гарного освітлення та вентиляції на виробничій ділянці для запобігання травмам та зменшення ризику професійних захворювань.

5. Аналіз та запобігання ризикам: Проведення регулярних аналізів ризиків та розробка заходів щодо їх запобігання або мінімізації, таких як покращення процесів безпеки, впровадження нових технологій або навчання персоналу.

6. Аварійна підготовка та евакуація: Розробка планів дій у разі аварійних ситуацій, включаючи евакуацію персоналу, забезпечення доступу до засобів першої допомоги та своєчасну реакцію на надзвичайні ситуації.

7. Дотримання законодавства: Важливо дотримуватись усіх вимог щодо охорони праці, встановлених законодавством, а також стандартів безпеки та професійних рекомендацій.

Ці заходи допоможуть забезпечити безпеку працівників на виробництві біопалива з мікрowodоростей та знизити ризик виникнення нещасних випадків та професійних захворювань.

ВИСНОВКИ

1. Виробництво біопалива з мікродоростей – це нова технологія, яку багато хто вважає дуже перспективним джерелом енергії, головним чином через зниження конкуренції за землю. Однак оцінка впливу та енергетичний баланс показують, що біодизельне паливо з водоростей має низку недоліків на нинішньому рівні зрілості технології. Порівняно зі звичайними енергетичними культурами, високі фотосинтетичні врожаї мікродоростей значно скорочують використання землі та пестицидів, але не потребу у добривах.

Більше того, виробництво, збирання врожаю та видобуток палива потребують високого енергоспоживання, що може поставити під загрозу загальний енергетичний баланс. Схоже, що навіть якщо біопаливо із водоростей не є екологічно конкурентоспроможним згідно з поточними техніко-економічними обґрунтуваннями, існує кілька шляхів поліпшення, які могли б сприяти зниженню більшої частини його впливу. Великомасштабне виробництво може бути серйозно розглянуто за умови досягнення наступних поліпшень: вибір видів мікродоростей, що підтримують високий вміст ліпідів та низький вміст білка зі стійкими темпами росту (наприклад, культура з низьким вмістом азоту, відбір штамів або модифікація), створення енергетично ефективного методу екстракції та відновлення енергії та поживних речовин.

2. Біодизель з водоростей – біопаливо третього покоління, яке отримують шляхом переробки рослинної сировини. З водоростей видобувається рослинний жир, з якого в подальшому виробляється біодизель. Водорості дуже дешева і одночасно – високопродуктивна сировина. Один гектар водоростей дозволяє отримати в 30 разів більше біопалива, ніж гектар сої. При цьому біодизель з водоростей на 5-10% більш енергоємний, ніж біодизель з рослинного (тваринного) масла. Крім того, водорості ростуть досить швидко – водорість, що на 80% складається з речовин, аналогічного

нафті, виростає за 10 днів. Аналогічна водорість, у якій відсоток вмісту «нафти» становить 30% – всього за 3 дні.

3. Вирощування мікрководоростей може мати різноманітні позитивні та негативні наслідки для навколишнього середовища та розташування.

Уловлювання вуглецю за допомогою виробництва мікрководоростей є новою спробою знизити концентрацію CO₂ в атмосфері. Щоб пом'якшити проблему викидів CO₂ в атмосферу з димових газів під час виробництва електроенергії, біопаливна промисловість з'явилася як галузь, що розвивається, з потенціалом зниження викидів CO₂ поряд з виробництвом вуглецево-нейтрального біопалива. Ця галузь також продемонструвала потенціал заміни частини необхідної паливної сировини для вироблення електроенергії на електростанції.

4. У 2023 року світовий ринок водоростей оцінювався в 20.94 мільярда доларів США, а до 2030 року, за прогнозами, він досягне 45.55 мільярдів доларів США. Прогнозується, що світова індустрія водоростей зростатиме і демонструватиме сукупний річний темп зростання (CAGR) 10.20% за прогнозований період.

5. Таким чином, біопаливна промисловість може грати позитивну роль в поліпшенні довкілля. Виробництво біомаси та ліпідів є головним пріоритетом для перетворення біопалива з мікрководоростей на комерційну реальність.

Зростання виявлення фармацевтично активних сполук і важких металів у водному середовищі ставить значну загрозу для водних тварин та людини. Багато з цих забруднювачів не піддаються біологічному розкладу і стають частиною харчового ланцюга. В даний час доступні технології видалення цих токсичних компонентів з водного середовища є дорогими та нестійкими. У цьому відношенні мікрководорості пропонують рішення, оскільки вони мають більш високу здатність видаляти ці компоненти із екосистеми.

Однак не всі види мікрководоростей мають однакову здатність ефективно видаляти забруднюючі речовини із навколишнього середовища. В даний час

не існує жодного виду мікродоростей, здатного видаляти всі види забруднюючих речовин шляхом біорозкладання, абсорбції та біоаккумуляції.

6. Таким чином, проводяться масштабні дослідження, необхідно знайти більш толерантні мікродорості для економічного та ефективного видалення широкого спектру забруднень. Для вирощування, збору, сушіння та переробки мікродоростей потрібні величезні витрати енергії.

7. При роботі на виробництві водоростей потрібно враховувати всі заходи безпеки та охорони праці для зниження ризику виникнення нещасних випадків та професійних захворювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боднар, О. І. Біотехнологічні перспективи використання мікроводоростей: основні напрями (огляд) / О. І. Боднар // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. – 2017. – Вип. 1(68) : Тернопільські біологічні читання - Ternopil Bioscience - 2017. – С. 138– 146 [Режим доступу : <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/8030/1/Bodnar.pdf>]
2. Використання рослинних олив і палив на їх основі у якості палива для дизелів авіаційної наземної техніки : дипломна робота на випускника освітнього ступеня магістр / Черненко К. І., керівник д. т. н. проф. Тамаргазін О. А. – Національний авіаційний університет, 2020. – 106 с. [Режим доступу : https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/46577/1/%D0%90%D0%9A%D0%A4_2020_272_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%9A%D0%86.pdf]
3. Дії у разі виникнення пожежі / [Режим доступу : <https://old.kyivcity.gov.ua/content/pamyatka-shchodo-diy-u-razi-vynyknennyarozhezhi.html>]
4. Золотарьова О. Куди прямує біопаливна індустрія? / Золотарьова О., Шнюкова Є. //Вісник НАН України, 2010. – №
5. Інструкція з охорони праці «Про заходи пожежної безпеки» / [Режим доступу : <https://oppb.com.ua/docs/instrukciya-z-ohorony-praci-pro-zahodypozhezhoiyi-bezpeky-v-prymishchennyah-garazh>]
6. Культивування мікроводоростей з подальшим одержанням біодизельного палива : дипломна робота на випускника освітнього ступеня бакалавр / Астахова В. І., керівник левтун І. І. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інституті ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 106 с. [Режим доступу : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28657/1/Astakhova_bakalavr.pdf]

7. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. [за заг. ред. В. І. Д'яконова] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 136 с
8. Організація і економіка використання біоресурсів: підручник: 2-ге видання, перероблене і доповнене – Вінниця: ТОВ «Друк», 2020. – 372 с.
9. Охорона праці (Законодавство. Організація роботи): Навч. посіб. / За заг. ред. к.т.н., доц. І. П. Пістуна. – Львів: “Тріада плюс”, 2010. – 648 с.
10. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / О.К. Золотарьова, Є.І. Шнюкова, О.О.Сиваш, Н.Ф. Михайленко; пфд редак. О.К. Золотарьової. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 С. [Режим доступу : https://www.botany.kiev.ua/doc/zolot_monog_2008.pdf]
11. Перспективи виробництва біопалива третього покоління / Скорук О. П., Токарчук Д. М., Всемирнова В. М.. – Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки.№ 1 (48) – Вінниця, 201. – 171-176 с. [Режим доступу : <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/284.pdf>]
12. Ткачук К.Н., Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф., Зацарний В.В., Полукаров О.І. та ін. Виробнича санітарія: Навчальний посібник. – Рівне: 2012. – 443 с.
13. Чернова Н.И., Коробкова Т.П. //Современное состояние и перспективы использования микроводорослей в энергетических целях//Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова// Москва, 2010
14. Чернова, Н. И. Использование биомассы для производства жидкого топлива: современное состояние и инновации / Н. И. Чернова, Т. П. Коробкова, С. В. Киселева // Теплоэнергетика. – 2012. – № 11. – С. 28 – 35. 11.Державне підприємство «УКРСPIRT» [Режим доступу : <http://ukrspirt.com/cms/production>]

15. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae, Golden, CO / J. Sheehan, T. Dunahay, J. Benemann and P. Roessler. National Renewable Energy Institute, NREL/TP58024190, 1998.
16. Abis K. L. and Mara D. D. (2003). Research on waste stabilisation ponds in the United Kingdom – Initial results from pilot-scale facultative ponds. *Water Science and Technology*. 2003. 48 (2), 1–7.
17. Abis K. L. and Mara D. D. (2003). Research on waste stabilisation ponds in the United Kingdom – Initial results from pilot-scale facultative ponds. *Water Science and Technology*. 2003. 48 (2), 1–7.
18. Alabi A.O., Tampier M., Bibeau E. Microalgae technologies for biofuels/bioenergy production in British Columbia: current technology and barriers to implementation: Final Report to the British Columbia Innovation Council. *Seed Science*. Jan.,14, 2009. http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0901_Seed_Science_Microalgae_technologies_and_processes_for_biofuelsbioenergy_production_in_British_Columbia.pdf.
19. Carvalho A.P., Meireles L.A., Malcata F.X. Microalgal reactors: a review of enclosed system design and performances. *Biotechnology Progress*. 2006, 22, 1490-1506.
20. Carvalho A.P., Meireles L.A., Malcata F.X. Microalgal reactors: a review of enclosed system design and performances. *Biotechnology Progress*. 2006, 22, 1490-1506.
21. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 2007, 25, 294-306.
22. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 2007, 25, 294-306.
23. Falkowski P.-G., Dubinsky Z., Wyman K. Growth irradiance relationships in phytoplankton // *Limnology and Oceanography*. 1985. № 30 (2). P. 311–321.

24. Gao H., Scherson Y.D., Wells G.F. Towards energy neutral wastewater treatment: methodology and state of the art. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1223-1246.
25. Gao H., Scherson Y.D., Wells G.F. Towards energy neutral wastewater treatment: methodology and state of the art. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1223-1246.
26. Gavrilesco M., Chisti Y. Biotechnology – a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*. 2005, 23, 471-499.
27. Gavrilesco M., Chisti Y. Biotechnology – a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*. 2005, 23, 471-499.
28. Goldman J. Outdoor algal mass cultures–II. Photosynthetic yield limitations // *Water Res.* 1979. № 13. P. 119–136.
29. High algal production rates achieved in a shallow outdoor flume / E.A. Laws, S. Taguchi, J. Hirata, L. Pang // *Bio technology and Bioengineering*. 1986. № 28. P. 191– 197.
30. Huntley M., Redalje D. CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2007. V. 12. P. 573–608. 7. Chisti Y. Biodiesel from Microalgae // *Biotechnology Advances*. 2007. V. 25. P. 294–306.
31. Langdon C. The significance of respiration in production measurements based on oxygen // *ICES J. Mar. Sci. Symp.* 1993. № 197. P. 69–78.
32. Liu K., Li J., Qiao H. et al. Immobilization of *Chlorella sorokiniana* GXNN 01 in alginate for removal of N and P from synthetic wastewater. *Bioresource Technology*. 2012, 114, 26-32.
33. Liu K., Li J., Qiao H. et al. Immobilization of *Chlorella sorokiniana* GXNN 01 in alginate for removal of N and P from synthetic wastewater. *Bioresource Technology*. 2012, 114, 26-32.
34. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances / Q. Hu, M. Sommerfeld, E. Jarvis, M. Ghirardi, M. Posewitz, M. Seibert, A. Darzins // *Plant J.* 2008. № 54. P. 621–639.

35. Molina Grima E., Acien Fernandez F.G., Garcia Camacho F. et al. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. *Journal of Biotechnology*, 1999, 70, 231-247.
36. Molina Grima E., Acien Fernandez F.G., Garcia Camacho F. et al. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. *Journal of Biotechnology*, 1999, 70, 231-247.
37. Mulbry W., Kondrad S., Pizzaro C., Kebede-Westhead E. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: Algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. *Bioresource Technology*. 2008, 99, 8137-8142.
38. Mulbry W., Kondrad S., Pizzaro C., Kebede-Westhead E. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: Algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. *Bioresource Technology*. 2008, 99, 8137-8142.
39. REN21. 2013. Renewables 2013 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>.
40. Shoener B.D., Bradley I.M., Cusick R.D., Guest J.S. Energy positive domestic wastewater treatment: the roles of anaerobic and phototrophic technologies. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1204-1222.
41. Shoener B.D., Bradley I.M., Cusick R.D., Guest J.S. Energy positive domestic wastewater treatment: the roles of anaerobic and phototrophic technologies. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1204-1222.
42. Shurin J.B., Abbott R.L., Deal M.S. et al. Industrial-strength ecology: trade-offs and opportunities in algal biofuel production. *Ecology Letters*. 2013, 16, 1393-1404.
43. Shurin J.B., Abbott R.L., Deal M.S. et al. Industrial-strength ecology: trade-offs and opportunities in algal biofuel production. *Ecology Letters*. 2013, 16, 1393-1404.

44. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E. et al. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Biotechnology*. 2006, 101, 87-96.
45. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E. et al. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Biotechnology*. 2006, 101, 87-96.
46. Steele M.M., Anctil A., Ladner D.A. Integrating algaculture into small wastewater treatment plants: process flow options and life cycle impacts. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1387-1400.
47. Steele M.M., Anctil A., Ladner D.A. Integrating algaculture into small wastewater treatment plants: process flow options and life cycle impacts. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 2014, 16, № 6, c. 1387-1400.
48. The Oilgae Digest – Home of Algal Energy. http://www.oilgae.com/ref/report/digest/Oilgae_Digest_Preview. 3. Algae 2020 – V. 2: Global Biofuels, DropIn Fuels, Biochems and Commercial Market Forecasts (2011 Update). <http://www.emergingmarkets.com/algae/Algae2020StudyandCommercializationOutlook>.
49. Theoretical maximum algal oil production / K.M. Weyer, D.R. Bush, A. Darzins, B.D. Willson // *Bioenergy Res.* 2010. № 3. P. 204–213.
50. Yuan X., Wang M., Park C. et al. Microalgae growth using high strength wastewater followed by anaerobic co-digestion. *Water Environ. Res.* 2012, 84, 396-404.
51. Yuan X., Wang M., Park C. et al. Microalgae growth using high strength wastewater followed by anaerobic co-digestion. *Water Environ. Res.* 2012, 84, 396-404.
52. Zhang X., Hu Q., Sommerfeld M. et al. Harvesting algal biomass for biofuels using ultratration membranes. *Bioresource Technology*. 2010, 101, 5297-5304.

53. Zhang X., Hu Q., Sommerfeld M. et al. Harvesting algal biomass for biofuels using ultrafiltration membranes. *Bioresource Technology*. 2010, 101, 5297-5304.

54. Zhu X.-G., Long S.P., Ort D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? // *Current Opinion in Biotechnology*. 2008. № 19. P. 153–159.

55. Биотехнология топлива: учеб. пособие / А.В. Виноградова, Г.А. Козлова, Л.В. Аникина. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 212 с.