

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ
ФАКУЛЬТЕТ НАФТИ, ГАЗУ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ, ТЕРМОДИНАМІКИ ТА ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

СВО «Магістр»

на тему

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В БІОЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЕ-464

Напряму підготовки (спеціальності)

14 «Електрична інженерія»

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр та назва напряму підготовки, спеціальність)

Пономарьов К.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Бошков Л.З.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пуленко О.Л.

(прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20____ р., протокол № ____.

Завідувач кафедри ЕТтаПЕ _____ Юрій СЕМЕНЮК
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Одеса – 2022

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ нафти, газу та екології
Кафедра _____ екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології
Ступінь вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
Освітня програма _____ «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри Юрій СЕМЕНЮК

« _____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Пономарьов Кирило Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз методів підвищення ефективності використання сонячної енергії в біоенерготехнологіях із застосуванням мікроводоростей

затверджена наказом ЗВО від 04.10.2021 року № 833-03

2. Термін здачі здобувачем (здобувачкою) закінченої роботи 15.12.2022 р.

3. Вихідні дані роботи використання природних штамів мікроводоростей, розмір інсоляційної поверхні 100x100 см, температурний режим 18 – 35 °С, отримання двоокісу вуглецю – місцеве, за допомогою апарату Кіппа, подача двоокісу вуглецю - через вбудований колектор, віддалення кисню – через спеціальні отвори, циркуляція субстрату – за допомогою електричного насосу.

4. Перелік питань, які потрібно розробити 1. Теоретичні основи виробництва біопалива з мікроводоростей. 2. Технології для отримання біопалива з мікроводоростей. 3. Порівняльний аналіз сучасних технологій культивування мікроводоростей. 4. Опис розробленої установки. 5. Розрахунок параметрів біореактора. 6. Техніко-економічні показники проєкту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
5.1. Науково-технічна презентація MS Power Point з 24 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Бошков Л.З., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні основи виробництва біопалива з мікроводоростей	16.10.2022 р.	
2	Технології для отримання біопалива з мікроводоростей	20.10.2022 р.	
3	Порівняльний аналіз сучасних технологій культивування мікроводоростей.	02.11.2022 р.	
4	Опис розробленої установки	13.11.2022 р.	
5	Розрахунок параметрів біореактора	27.11.2022 р.	
6	Техніко-економічні показники проєкту	29.11.2022 р.	
7	Приготування пояснювальної записки	11.12.2022 р.	
8	Приготування матеріалів до захисту в <u>MS Power Point</u>	12.12.2022 р.	

Здобувач

_____ **Пономарьов К.А.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Бошков Л.З.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота магістра: «Аналіз методів підвищення ефективності використання сонячної енергії в біоенерготехнологіях із застосуванням мікроводоростей»

Кваліфікаційна робота магістра присвячена вивченню сучасного стану розробок в новітньому напрямку розвитку біоенергетики: використанню мікроводоростей.

Зроблено огляд теоретичних основ виробництва біопалива з мікроводоростей. Розглянуто стан технологій для отримання біопалива з мікроводоростей і проаналізована їх ефективність. Проведено порівняльний аналіз сучасних технологій культивування мікроводоростей і розрахунок параметрів біореактору.

Розроблено працездатну конструкцію експериментальної установки для моделювання і дослідження процесів у фотосинтезуючому колекторі сонячної енергії з використанням мікроводоростей.

Обсяг пояснювальної записки: 132 сторінок, 90 рисунків, 11 таблиць, 37 джерел інформації, 1 додаток.

Аннотация

Квалификационная работа магистра: «Анализ методов повышения эффективности использования солнечной энергии в биоэнергетических системах с применением микроводорослей».

Квалификационная работа магистра посвящена изучению современного состояния разработок в новейшем направлении развития биоэнергетики: использованию микроводорослей.

Сделан обзор теоретических основ производства биотоплива из микроводорослей. Рассмотрено состояние технологий получения биотоплива из микроводорослей и проанализирована их эффективность. Проведен сравнительный анализ современных технологий культивирования микроводорослей и расчет параметров биореактора.

Разработана работоспособная конструкция экспериментальной установки для моделирования и исследования процессов в фотосинтезирующем коллекторе солнечной энергии с использованием микроводорослей.

Объем пояснительной записки: 132 страниц, 90 рисунков, 11 таблиц, 37 источников информации, 1 приложение.

Abstract

Master thesis: «Analysis of methods to improve the efficiency of solar energy use in bioenergy technologies based on microalgae»

The master thesis is devoted to study of state-of-the-art development in newest direction of bioenergy conversion: the microalgae applications.

An overview of theoretical basics of biofuel production from microalgae has been carried out. State of the art of biofuel production from microalgae technologies has been considered and their effectiveness has been compared. Comparative analysis of modern microalgae cultivation technologies and design calculations for a bioreactor has been carried out.

A workable design of an experimental installation was developed for modeling and studying of processes in a photosynthetic solar energy collector using microalgae.

The volume of the explanatory note: 132 pages, 90 figures, 11 tables, 37 literature sources, 1 attachment.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ	10
1.1 Загальні властивості сонячного випромінювання на Землі	10
1.2 Основні характеристики мікробіодоростей	18
1.3 Хлорела як ще один вид водоростей	19
1.4 Значення мікробіодоростей у світі	21
1.5 Приклади світових установок з виробництва біонафти з мікробіодоростей	22
1.6 Система вирощування мікробіодоростей, що розроблена японськими вченими	25
1.7 Концепція виробництва палива з мікробіодоростей	26
1.8 Енергетична безпека	29
1.9 Синергія вугілля і мікробіодоростей	30
1.10 Водна біомаса на Землі	32
1.11 Дослідження з фотосинтетичної ефективності маси водоростей	33
1.12 Aquatic Species Program мікробіодоростей масової культури	36
1.13 Вирощування мікробіодоростей на прикладі АРПС проекту на Гаваях	38
1.14 Проектування та експлуатація мікробіодоростей Відкритим фондом випробувань (УПН) у Нью-Мексико	40
2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ	42
2.1 Піроліз	42

					КРМ.ЕТтаПЕ.1.833-03.1.7					
Зм.	Арк.	№ Документа	Підпис	Дата						
Розробив	Пономарьов				Лім.		Арк.	Аркушів		
Перевірів	Бошков						5	127		
Затв.	Семенюк				Розрахунково– пояснювальна записка			ОНТУ група ЕЕ-464		

2.2	Газифікація	44
2.3	Перетворення водоростей у екстракти	47
2.4	Біохімічні каталізатори	50
2.5	Хімічний каталіз	52
2.6	Надкритичні обробки	53
2.7	Перехід до поновлюваного дизельного палива, бензину і палива для реактивних двигунів	55
3	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КУЛЬТИВУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ	59
3.1	Характеристика та переваги мікроводоростей в якості енергоджерела	59
3.1.1	Характеристика та перспективи використання мікроводоростей в енергетиці	59
3.1.2	Обґрунтування вибору виду мікроводоростей для подальшого отримання біомаси	67
3.2	Характеристика технологій культивування мікроводоростей	70
3.3	Характеристика фотобіореакторів	80
3.4	Висновки до розділу	89
4	ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ УСТАНОВКИ	91
4.1	Постановка задачі	91
4.2	Опис технологічного процесу	92
4.3	Опис конструкції фотобіореактора	94
4.4	Перспективні комплексні проекти використання ФСК	96
5	РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БІОРЕАКТОРА	99
5.1	Вихідні дані	99
5.2	Конструкторський розрахунок	99
5.3	Розрахунок на міцність	103
5.4	Підбір насосів	104
5.5	Тепловий розрахунок	105
5.5.1	Розрахунок тепла, одержуваного від перетворення кислот в	105

метан	
5.5.2 Втрати реактора в навколишнє середовище (щомісячні)	106
5.5.3 Розрахунок втрат на підігрів біомаси на вході в реактор	107
5.6 Тепловий баланс установки	107
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ	120
6.1 Розрахунок капітальних витрат	120
6.2 Витрати на оплату праці персоналу	122
6.3 Розрахунок енерговитрат	124
6.4 Розрахунок амортизаційних відрахувань	125
6.5 Розрахунок економічного ефекту	126
ВИСНОВКИ	127
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	128
ДОДАТОК. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ)	132

					<i>КРМ.ЕТтаПЕ.1.833-03.1.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

В останні роки прискорений розвиток біоенергетики став глобальною та загальносвітовою тенденцією. Більше 100 провідних компаній з 17 країн світу займаються дослідженнями та розробками технологій, а також проектуванням та будівництвом об'єктів для біопаливної промисловості і виробництва відновлювального палива [1].

Постановка проблеми: В умовах зростаючих цін на традиційні види палива та постійне зменшення кількості їх запасів, у світі проявляється енергетична криза. В якості основної тенденції розвитку паливного ринку міжнародними експертами заявлена саме біоенергетика, що повинна стати фундаментом для початку нової ери енергетики задля вирішення даної проблеми. На першому етапі розвитку технологій отримання моторних палив з біомаси усі зусилля були сконцентровані на удосконаленні технології виробництва етанолу з рослинної (харчової) сировини, потім біоетанолу та біобутанолу з нехарчової лігніно-целюлозної сировини. Тим часом, стало зрозумілим, що спирти для заправки в існуючих двигунах можна використовувати тільки як добавки до традиційного палива, але вони не можуть замінити його повністю. Спроби укомплектувати паливну базу за рахунок спиртів для більшості країн виявились технічно та економічно неефективними як через необхідність державних дотацій на виробництво біопалива, переробку двигунів та модифікацію інфраструктури, так і через недостатню теплотворну здатність спиртів. Паралельно з розвитком промисловості паливного біоетанолу були здійснені спроби по створенню дизельного палива з рослинних олій, в основному – на основі ріпаку. Проте низька урожайність даної культури та пониження розвитку даної галузі сільського господарства в якості харчового напрямку виявилась вагомою перепорою. Сьогодні людство є свідком нової революції в області отримання з нехарчової відновлюваної сировини палив, що практично за своїми властивостями не відрізняються від традиційних палив та здатні в

					<i>KPM.ETmaPE.1.833-03.1.7</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

майбутньому замінити їх. Дане паливо не потребує конструкційної дорогобюджетної переробки двигунів, що пристосовані до роботи на паливі нафтового походження. Йдеться про створення промисловості традиційного моторного палива на основі нового типу відновлюваної сировини, в якості якої були обрані водорості. [2]

Актуальність. Можливість використання біопалива (біодизелю) в якості вирішення як економічних, так і екологічних проблем сучасності: заміщення викопних ресурсів, диверсифікація джерел енергії для забезпечення країн-імпортерів енергетичною безпечністю, додаткове виробництво в аграрному секторі економіки конкурентоспроможної експортної продукції, скорочення емісії парникових газів в атмосферу. Також, використання саме мікроводоростей, в якості сировини, дозволяє уникнути проблеми конкуренції з сільськогосподарською промисловістю (у випадку з використанням соняшника, рапса, тощо в якості сировини для отримання олії). Використання закритих систем культивування (біореакторів) дозволяє уникнути проблеми впливу сезону, залежності від природнього освітлення та умови росту на культивування.

Мета і задача роботи. Метою роботи є проектування технології культивування мікроводоростей. Для досягнення мети передбачено виконання таких задач:

1. Провести літературний огляд стосовно існуючих видів мікроводоростей у якості енерго-джерела, умов, параметрів та технологій їх культивування.
2. Обґрунтувати вибір раціональних параметрів культивування мікроводоростей.
3. Розрахувати технічні показники обраного типу фотобіореактора для культивування мікроводоростей.
4. Розробити схему отримання вуглекислого газу.
5. Розробити технологічну і апаратурну схеми культивування мікроводоростей.

					<i>KPM.ETmaPE.1.833-03.1.7</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горин А.Н., Смынтына В.А., Дорошенко А.В., Глауберман М.А. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 364 с.
2. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н.И. Богданов. – Пенза, 2-е изд. перераб. и доп., 2007. – 48 с. ISBN 5-88035-015-0
3. Белянин В. Н. Светозависимый рост низших фототрофов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 96 с.
3. Геворгиз Р. Г., Шахматов А. П. Установка для культивирования морских микроводорослей // Экология моря. – Вып. 67. – С.44-47.
4. Клешнин А. Ф. Растения и свет. – М., АН СССР. -- 1954. -- 456 с.
5. Леман В. М. Культура растений при электрическом свете. М.: Колос, 1971. – 320 с.
6. Чернова Н.И., Коробкова Т.П. //Современное состояние и перспективы использования микроводорослей в энергетических целях//Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова// Москва, 2010-С.1.
7. Золотарьова О. Куди прямує біопаливна індустрія? / Золотарьова О., Шнюкова Є. //Вісник НАН України, 2010. – № 4.
3. Чернова, Н. И. Эффективность производства биодизеля из микроводорослей / Н. И. Чернова, С. В. Киселева, О. С. Попель // Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии. – 2014. – С. 14 – 21.
4. 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.
5. Chisti Y. Biodiesel from microalgae / Y. Chisti // Biotechnology Advances. - 2007. – Vol. 25. – № 3. – P. 294–306.
6. Schenk P. M. Second generation biofuels: High-efficiency microalgae for biodiesel production / P.M. Schenk, S.R. Thomas-Hall, E. Stephens, U. Marx, J.

					<i>KPM.ETmaPE.1.833-03.1.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

Mussnug, C. Posten, O. Kruse, B. Hankamer // BioEnergy Res. – 2008. Vol. 1. – № 5. – P. 20–43.

7. Am. Soc. Механіка. Eng., Нью-Йорк. Раймонд, Л. (1981) "Маса водоростей системи культури". Патент США 4253, 271.

8. Ayhan Demirbas, Use of algae as biofuel sources, Energy Conversion and Management, Volume 51, Issue 12, December 2010.

9. J.Singh. Renewable and sustainability energy. Reviews 14 (2010).

10. Sh.shaishow and Coworkers. Biohydrogen from algae: fuel of the future. Int.Res.J. of Environment Sci. 2013, V.2 (4). 44-47.

11. Gouveia, Luisa. Microalgae as a Feedstock for Biofuels / Luisa Gouveia. – Springer, 2011. – 69 p.

12. Jegathese, S. J. P. & Farid, M. Microalgae as a renewable source of energy: A niche opportunity. Journal of Renewable Energy 2014.

13. Lam MK, Tyusoff MI, Uemura Y, Lim JW, Khoo CG, Lee KT, Ong HC 2017 Cultivation of Chlorella vulgaris using nutrients source from domestic wastewater for biodiesel production : growth condition and kinetic studies Renew: 197-207.

14. Kawaroe M, Prartono T, Rachmat A, Sari D, and Augustine D 2012 Laju pertumbuhan spesifik dan kandungan asam lemak pada mikroalga Spirulina platensis dan Porphyridium cruentum Ilmu Kelautan.- 125-131.

15. Yang IS, Salama ES, Kim JO, Govindwar SP, Kurade MB, Lee M, Roh HS, Jeon B.H. 2016. Cultivation and harvesting of microalgae in photobioreactor for biodiesel production and simultaneous nutrient removal. Energ Conver Manage. - 54–62.

16. Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: a review/ Halim Ronald [et al.] // Biotechnology Advances. – 2012. – Vol. 30. – P. 710 – 731.

17. McConnell, B. Kinetics Study of the Solvent Extraction of Lipids from Chlorella vulgaris / B. McConnell, I. H. Farag // nternational Journal of Engineering and Technical Research (IJETR). – 2013. – N 1(10). – P. 28 – 38.

18. Упитис В.В. Макро- и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей/ Отв. Ред. А.Ф.Ноллендорф. – Риг; Зинатне, 1983. – 240с.

					<i>КРМ.ЕТмаПЕ.1.833-03.1.7</i>	Арк.
						131
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Tamiya, H. Mass culture of algae / H. Tamiya // Ann Rev Plant Physiol. – 1957. – N 8. – С. 309 – 334.

20. Музафаров, А. М. Культивирование и применение микроводорослей / А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев – Ташкент : Изд-во «Фан» Узбекской ССР, 1984. – 136 с.

21. Vonshak, A. Laboratory techniques for the cultivation of microalgae In: A. Richmond (ed.) / A. Vonshak // Handbook of microalgal mass culture. – CRC Press, Boca Raton FL, 1986. – P. 117 – 145.

22. Ramkumar, K. Mandalam. Elemental Balancing of Biomass and Medium Composition Enhances Growth Capacity in 88 High-Density *Chlorella vulgaris* Cultures / K. Mandalam Ramkumar, Bernhard Ø. Palsson // John Wiley & Sons, Inc. – 1998. – P. 605 – 611.

22. Held, P. Determination of Algal Cell Lipids Using Nile Red – Using Microplates to Monitor Neutral Lipids in *Chlorella Vulgaris*.//2015.

23. Held, P. Monitoring of Algal Growth Using Their Intrinsic Properties// 2015.

24. Ауджанова, В. К. Морфологические и систематические характеристики хлореллы. Ее производство и применение / В. К. Ауджанова // Научный вестник. – 2014. – № 1 (1). – С. 113 – 126.

25. Araujo, S. G. Bioprospecting for oil producing microalgal strains: Evaluation of oil and biomass production for ten microalgal strains//2015.

26. Волова Т.Г. Биотехнология/ Отв.ред. И.И. Гительзон. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 252 с.

27. Жаворнков В.А., Махоткина Т.А., Макеев П.П.// 4 Всес.конф. Управляемое культивирование микроорганизмов. Тез. Докл. ОНТИ НЦБИ – 1986 – С.113 (цит. по А.А. Циганкову, 2001).

28. Ждан-Пушкина С.М. Основы роста культур микроорганизмов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983.- 187с.

29. Перт С.Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. – Мир; 2000 – 331С.

					<i>КРМ.ЕТтаПЕ.1.833-03.1.7</i>	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30. 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.

31. Рустамов Н. А. Биомасса как источник энергии // Энергия: Экономика. Техника. Экология. — 2005. — № 6. — С. 20–23.

32. Ugwu C. U. et al. Photobioreactors for mass cultivation of algae // Bioresource Technology. — 2008. — V. 99. — P. 4021–4028.

33. Цоглин Л.Н. , Габель Б.Н., Фалькович Т.Н. Семененко В.Е. Фотобиореакторы закрытого типа для культивирования микроводорослей // физиол.раст. -1996. –С.149-155.

34. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review / С. Y. Chen, К. L. Yeh, R. Aisyah [et al.] // Bioresource Technology. – 2011. – N 102. – P. 71 – 81.

35. Цыганков А.А. Лабораторные фотобиореакторы // приклад. Биохим. И микробиол. – 2001. - №4.- С.387-397.

36. Патент України на винахід № 110770 UA, МПК (2006.01), С12N1/12, С12M1/42, С12R1/89. Спосіб культивування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* / Голуб Н.Б., Левтун І.І. № а201509805; Заявл. 09.10.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. № 2, 2016 р.

37. Коротких, А. А. Мировой рынок биотоплива: состояние и перспективы /А. А. Коротких // Электронный научный журнал Россия и Америка в XXI веке – 2008.

					<i>КРМ.ЕТтаПЕ.1.833-03.1.7</i>	Арк.
						133
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		