

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ІСАЮК ОЛЕКСАНДРА ІВАНІВНА

УДК 502.3:556

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИНЬО-ЗЕЛЕНИХ
ВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГОНОСІЇВ ТА
БІООРГАНІЧНОГО ДОБРИВА**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2018

Дипломною роботою магістра є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Тарасенко Микола Григорович,
завідувач кафедри «Електричної інженерії»
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Рецензент кандидат фізико-математичних наук, доцент
Габрусєв Григорій Валерійович,
доцент кафедри вищої математики
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Захист відбудеться «24» грудня 2018 р. о 17 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 38 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитися в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою <http://elartu.tntu.edu.ua/>

Секретар
Екзаменаційної комісії № 38

Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Галузь біоенергетики в Україні має чи не найбільший потенціал розвитку. Це обумовлено особливостями клімату, потенціалом аграрного сектору і наявністю необхідної робочої сили. Найбільший енергетичний потенціал в Україні мають такі види біомаси, як сільськогосподарські культури, відходи деревини, рідкі види палива з біомаси, біологічна складова твердих побутових відходів, біогаз. За різними оцінками потенційна встановлена потужність у сегменті біоенергетики становить 15 ГВт.

Проте реалізація наявного потенціалу біоенергетики ускладнюється тим, що не розвинуті інфраструктура та сировинна база, які необхідні для забезпечення безперебійних поставок сировини, низький рівень розвитку галузей - постачальників устаткування, а також малий обсяг генерації кожного окремого об'єкта. У зв'язку з цим динаміка виробництва електричної енергії з біомаси відстає від електрогенерації на базі інших відновлюваних джерел енергії. Однак використання біомаси може стати важливою складовою у балансі виробництва теплової енергії.

У зв'язку з вищезазначеним актуальною проблемою та перспективним напрямом науково-практичних досліджень стало вивчення можливості розробки та впровадження в національну економіку екологічної біотехнології виробництва метану із синьо-зелених водоростей.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є забезпечення енергетичної безпеки України в умовах неконтрольованого розвитку ціано-бактерій водосховищ України, шляхом розроблення науково-технологічного забезпечення організації збору цих водоростей та використання їх як сировини для виробництва енергоносіїв.

Для досягнення зазначеної мети у роботі вирішувались такі завдання:

- провести аналіз джерел екологічної небезпеки та здійснити їх оцінювання у акваторіях водосховищ України;
- науково обґрунтувати доцільність одержання біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей (хімічні, мікробіологічні та біохімічні закономірності процесу);
- встановити ефективність попередньої обробки біомаси ціанобактерій (ультразвукова та гідродинамічна кавітація) для інтенсифікації процесу розділення фаз вода – ціанобактерії та для збільшення повноти розкладу біомаси;
- дослідити ефективність вилучення із ціанобактерій ліпідів;
- дослідити кінетику синтезу біогазу із біомаси ціанобактерій;
- обґрунтувати технологічну схему збирання ціанобактерій для переробки їх на біогаз та добриво;
- дослідити доцільність використання відпрацьованого субстрату ціанобактерій як біоорганічного добрива;
- розробити раціональну стратегію уникнення екологічної небезпеки від ціанобактерій шляхом використання їх у енергетичних та сільськогосподарських технологіях.

Об'єктом дослідження є енергетична безпека України в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій водосховищ.

Предметом дослідження є процеси отримання енергоносіїв та біоорганічного добрива із використанням як сировини ціанобактерій.

Методи дослідження включають в себе аналітичні дослідження із використанням провідних методик в галузях енергетичних досліджень та математичного моделювання досліджуваних процесів. Застосовувались методи статистичної обробки експериментальних даних, для теоретичних досліджень використовувався системний науково обґрунтований аналіз.

Новизна проведеного дослідження.

В роботі вперше запропонована стратегія комплексного використання біомаси ціанобактерій із отриманням ліпідів, біогазу та біоорганічного добрива на практиці що забезпечує безвідходну утилізацію ціанобактерій;

Практичне значення одержаних результатів.

Результати роботи можуть бути використані державним науково-дослідними інститутами для виготовлення дослідно-промислових партій комплексного органо-мінерального добрива.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення та результати дипломної роботи магістра доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені Івана Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (28-29 листопада 2018 року, м. Тернопіль).

Структура і обсяг роботи.

Дипломна робота магістра складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 126 сторінок, 7 таблиць і 43 рисунка; список літератури з 60 найменувань на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ «Літературний огляд» присвячений аналізу науково-технічної літератури за темою дисертації. Проведена оцінка стану досліджень сучасних проблем екологічної безпеки, розглянуті проблеми забезпечення енергетичної безпеки держави. Проаналізовані проблеми неконтрольованого розвитку синьо-зелених водоростей, їх негативного впливу на довкілля та світовий досвід уникнення екологічної небезпеки від цього впливу. Наведено критичний огляд технологій, фізико-хімічного механізму та обладнання для отримання біогазу, розглянуто перспективи використання ціанобактерій як сировини для виробництва палива. На основі аналізу цієї інформації сформульовані цілі та завдання досліджень.

У другому розділі «Основна частина» наведені характеристики ціанобактерій, які неконтрольовано розмножуються у акваторіях штучних водосховищ і викликають надмірне «цвітіння» води. Розглянуто різні комплексні технології очищення водойм від синьо-зелених водоростей, як показано на рис.1.

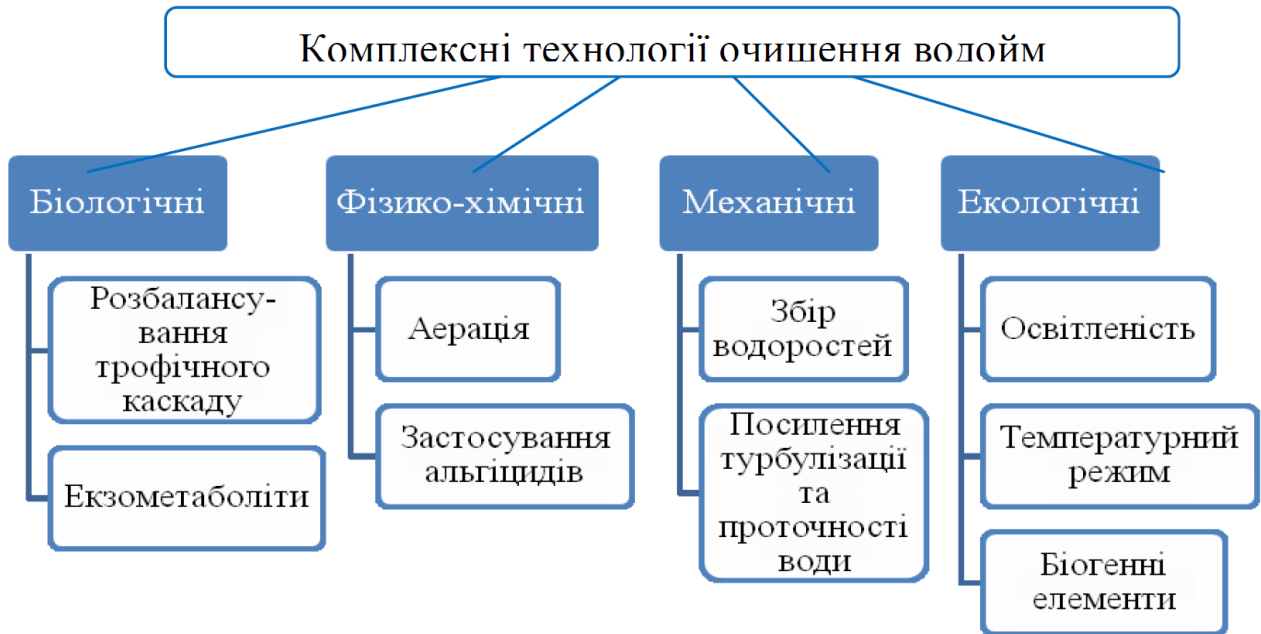


Рис. 1. Шляхи комплексної технології очищення водойм від синьо-зелених водоростей

Запропоновано різні способи і методи збирання біомаси СЗВ: зі стаціонарних берегових станцій і за допомогою спеціально обладнаних суден з використанням переливного порогу, що дозволяє мінімізувати екологічно небезпечні наслідки «цвітіння» води – досягти зменшення її евтрофікації.

Визначено паливно-енергетичний потенціал біомаси СЗВ за вегетаційний період (70-120 днів) під час «цвітіння», який складає до 28,98 млн м³ біогазу ($\approx 18,837$ млн м³ метану), що еквівалентно 20 тис. т нафти або 17 тис. т дизельного палива.

На підставі результатів досліджень специфіки ферментативних реакцій біометаногенезу субстрату синьо-зелених водоростей (СЗВ), визначення видового складу ціано- і метанобактерій, вивчення технологічних умов виробництва біогазу (клар-газу) розроблено проект комплексної екологічної біоенергетичної технології, що забезпечує рентабельне виробництво метану і добрива з біомаси СЗВ, зібраної під час «цвітіння» акваторії водосховищ (Рис.2).

Технологічна схема отримання біогазу яка наведена на рис.3 передбачає періодично-безперервне отримання біогазу як із біомаси СЗВ, так і з твердих і рідких відходів техно- й агрогенної діяльності, зокрема зі стічних вод підприємств кондитерської, м'ясо-молочної, фармацевтичної, хімічної, нафтохімічної галузей промисловості. За необхідності, до рідких відходів або

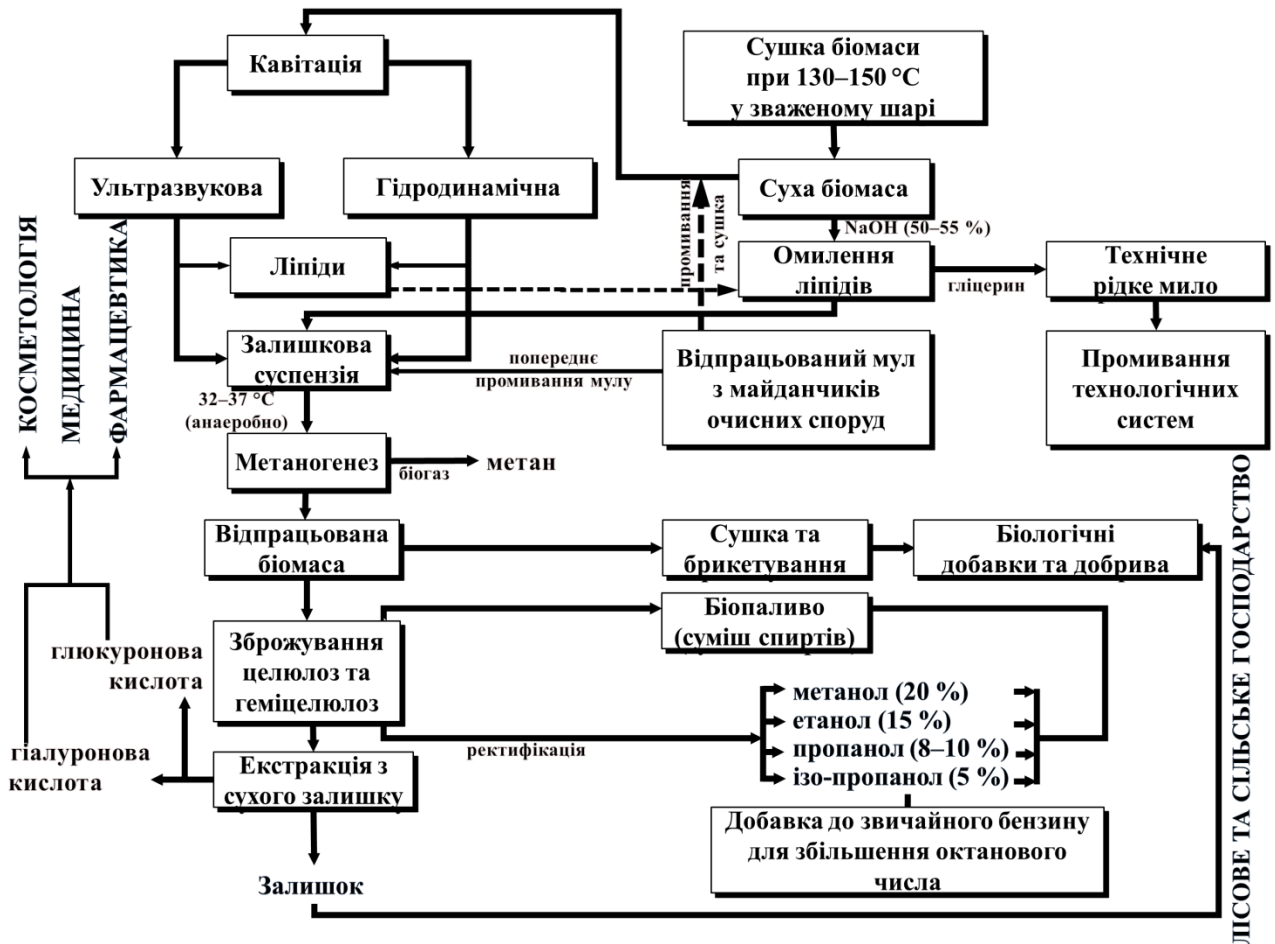


Рис. 2. Біотехнологічні шляхи комплексної переробки синьо-зелених водоростей та галузі застосування її продуктів

біомаси ціанобактерій можна додавати восени сухе опале листя, зібране з озеленених територій населених пунктів, яке заборонено зпалювати, що сприятиме збільшенню об'ємів отримання біогазу під час застосування не тільки мезофільних, але й термофільних метаногенних співтовариств.

Ексклюзивність розробки полягає у застосуванні для отримання біогазу біомаси СЗВ, чого до теперішнього часу ніде не робилось. При цьому досягнуто збільшення вмісту метану за рахунок майже повного зникнення сірководню, який є у складі біогазу, отриманого з інших (зоогенних) субстратів викликає корозію металевих конструкцій.

Завдяки проведеним дослідженням виявлено, що попередня обробка субстрату (біомаси СЗВ) із застосуванням гідродинамічної кавітації, яка викликає руйнацію клітинних стінок ціанобактерій, дозволяє суттєво збільшити вихід біогазу – у 1,3 рази за рахунок екстракції ліпідів (до 80 %).

Створено математичні моделі біологічної продуктивності СЗВ і процесу біометаногенеза їх біомаси. Установлено і апробовано експериментальну модель стаціонарного комплексу з концентраційної колони й анаеробної камери для виробництва метану із СЗВ. Проведено біотестування нового продукту – мінералорганічного добрива упровадження якого у національну економіку забезпечуватиме три функції – енергетичну, екологічну й аграрну.

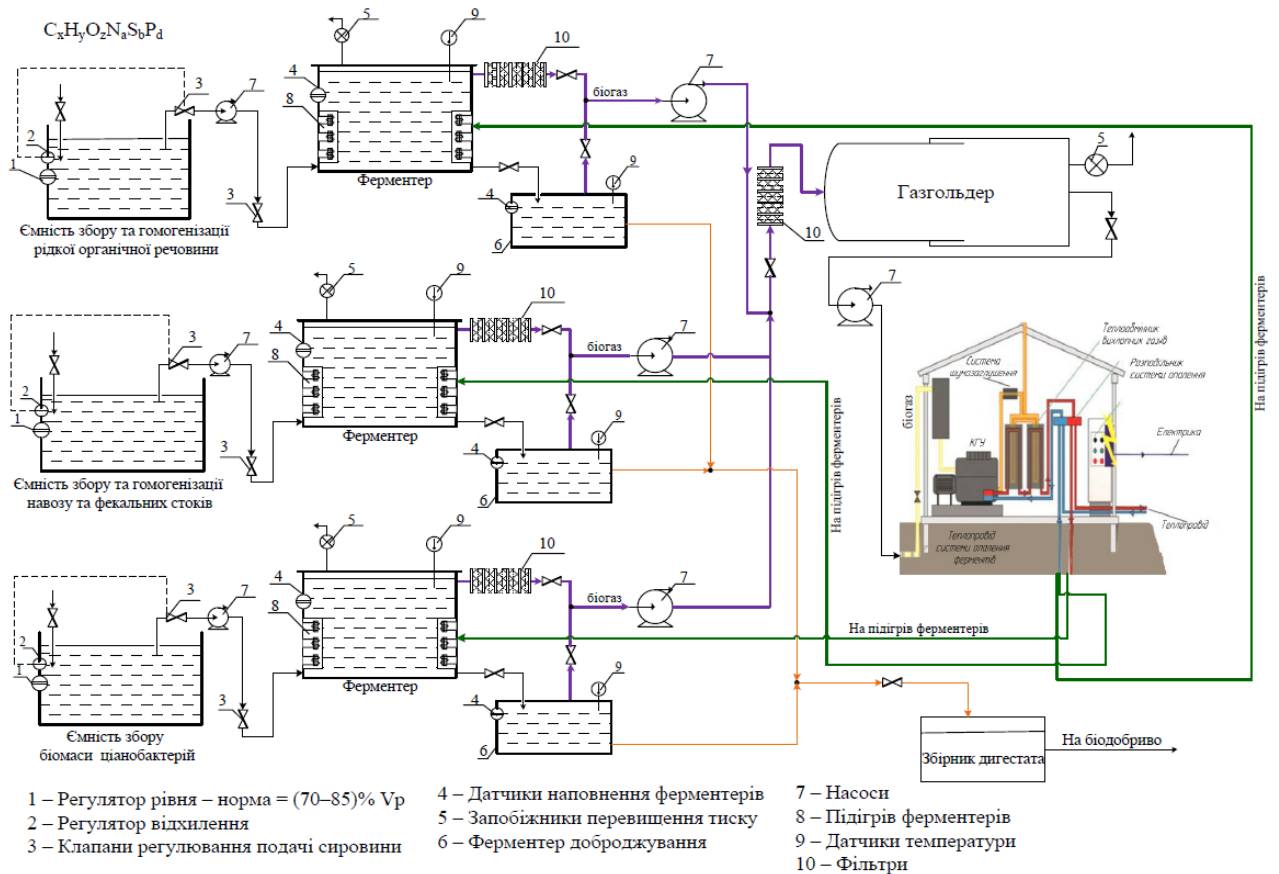


Рис. 3. Технологічна схема отримання біогазу з синьо-зелених водоростей

Отже, необхідним є поглиблення наукових досліджень шляхом пошуку нових і найбільш ефективних субстратів (сировинних ресурсів), розробки новітніх технологій виробництва та очистки біогазу, технологій газифікації та метанізації з отриманням синтез-газу (суміші H_2 , CO і CH_4) з подальшою його метанізацією, очищенням і доведенням до якості природного газу, розробки пілотних інноваційних проектів у галузі біоенергетики, створення відповідних стартапів, конструкційних розробок для промислового виробництва вітчизняного обладнання для біогазових станцій, створення довготермінових програм щодовиробництва біогазу в кожному регіоні України.

У перспективі, на підставі проведених досліджень і отриманих результатів, убачається за доцільне розбудова мережі стаціонарних і пересувних комплексів з утилізації СЗВ та іншої надлишкової біомаси (вищої водної рослинності, відходів рослинництва і тваринництва, листяного опаду із населених пунктів тощо).

У третьому розділі «Спеціальна частина» представлено розрахунки теплового балансу метантенків біогазової установки та опис ліцензійного програмного забезпечення, яке використано для проведення розрахунків та представлення їх результатів.

У четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» обґрунтовано ефективність виробництва біогазу в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій водосховищ.

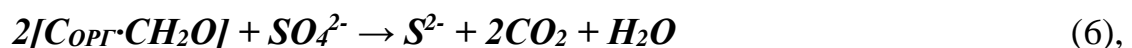
Питанням отримання біогазу із різних джерел присвячена значна кількість наукових публікацій, але хіміко-кінетичні та хімічні особливості перебігу реакцій його анаеробного утворення практично не досліджувались. Відомо лише що ферментативна деструкція біополімерів в процесі синтезу біогазу на 9-13 порядків вища від ферментативної деструкції, яка спостерігається в процесі проходження хімічних реакцій. На основі цього можна констатувати, що інтервал зміни температури лежить в границях (17 – 80°C), оскільки за температури 80°C процес припиняється.

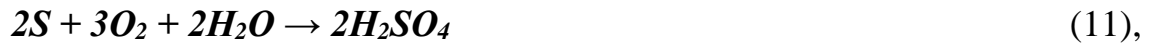
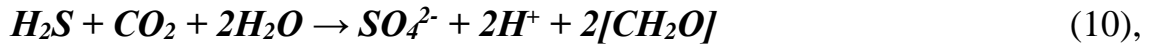
На нашу думку процес біологічного розкладу біомаси синьо-зелених водоростей можна розділити на 2 стадії.

Перша стадія. Під впливом анаеробних бактерій проходить ферментативний гідроліз та бродіння білків, полісахаридів та ліпідів. В результаті утворюються спирти, нижчі карбонові кислоти, кетони, альдегіди, вуглекислий газ та вода. Всі ці продукти є водорозчинними.

Друга стадія. Вторинні анаероби (гетеротрофи, метаноутворюючі бактерії, хемоавтотрофи, сульфатредуючі бактерії) використовують метаболіти первинних анаеробів як субстрат для вторинних перетворень. Хімізм перетворень під впливом перших трьох груп анаеробних бактерій описується рівняннями (1 – 5). Сульфат-редукція (рівняння 6 та 7) є основним процесом не тільки анаеробної мінералізації біомаси ціанобактерій, завдяки сульфат-редукції проходить і метаморфізація донних відкладень водосховищ. Друга стадія включає процес метаногенезу, детально розглянутий нижче.

Прості цукри, ацетат, спирти, низькомолекулярні карбонові кислоти проходять бактеріальний розклад. Сірководень виділяється тільки після того, як все реакційноздатне залізо, яке накопичене у донних відкладеннях, відновиться. Виділення діоксиду вуглецю (рівняння 8) у порівнянні з фотосинтезом енергетично вигідніше на 2 порядки. За умови дифузії у придонну воду із відкладень газів - продуктів реакцій та слабовідновних або нейтральних умов на поверхні біомаси, створюються умови для розвитку фотоавтотрофів, в більш глибоководних частинах водойм розвиваються хемоавтотрофи, як метаноокиснючі (рівняння 13) так і тіонові (рівняння (9 – 12).





Біогазова технологія дозволяє отримати в найкоротші терміни за допомогою анаеробного зброджування натуральне біодобриво, яке містить біологічно активні речовини та мікроелементи.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги безпеки при виробництві біогазу та експлуатації біогазових установок. Запропоновані заходи з пожежної безпеки та забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт на енергетичних об'єктах.

У шостому розділі «Екологія» розглянуто заходи по зменшенню шкідливого впливу ціанобактерій шляхом використання їх у енергетичних та сільськогосподарських технологіях. Запропоновано блок-схему стратегії уникнення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій та їх негативного впливу на довкілля.

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу динаміки неконтрольованого розвитку ціанобактерій в акваторіях водосховищ. Встановлено, що головними чинниками, які спричинили цей неконтрольований розвиток є затоплення водами новостворених водосховищ територій, де були розміщені населені пункти, сільськогосподарські угіддя, тваринницькі ферми, життєвий простір населення, утворення обширних мілинних територій у акваторіях штучних водосховищ, які добре прогріваються сонцем та значне зменшення швидкості течії.

2. Показано, що дієвим методом зниження рівня неконтрольованого розвитку ціанобактерій в акваторіях штучних водосховищ може бути збір ціанобактерій і використання їх як сировини для виробництва кондиційного біогазу. Відпрацьована зброджена біомаса може бути використана як органічні добрива.

3. Обґрунтована доцільності одержання біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей (хімічні, мікробіологічні та біохімічні закономірності процесу).

Встановлено, що попередня підготовка біомаси (подрібнення, делігніфікації і т.п.) дозволять отримати більш високе значення коефіцієнту газифікації.

4. Запропоновано технологічну схему збирання ціанобактерій, що ґрунтується на збиранні насиченого ціанобактеріями поверхневого шару. Дана схема включає послідовну реалізацію таких стадій: збір ціано-бактерій, обробка біомаси в полі гідродинамічної кавітації та транспортування її до біостанцій \Rightarrow концентрування біомаси \Rightarrow екстрагування із біомаси ліпідів \Rightarrow біорозклад біомаси із отриманням біогазу \Rightarrow використання відпрацьованої біомаси як біодобрива.

5. Проаналізовано оптимальні умови реалізації біометаногенезу в системі, куди входить органічний субстрат ціанобактерій, розглянуто вплив різних факторів (температура, рН, вміст окремих органічних та неорганічних компонентів) на життєздатність різних типів бактерій та перебіг процесу синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей.

6. Встановлена ефективність попередньої обробки біомаси ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації для збільшення повноти розкладу біомаси (кількість екстрагованих ліпідів збільшується в 3,2 рази, кількість синтезованого біогазу – в 1,4 рази).

7. На основі рекомендацій по визначенню економічної ефективності використання нової техніки та винаходів у будівництві і комунальному господарстві проведені техніко-економічні розрахунки виробництва біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей, в результаті яких економічний ефект від впровадження запропонованої технології очищення водосховищ від ціанобактерій складе 1530 тис. грн., окупність 0,42 року, при капітальних витратах – 800 тис. грн.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

Ісаюк О.І. Ефективність застосування синьо-зелених водоростей для виробництва енергоносіїв та біоорганічного добрива. // О.І. Ісаюк, М.Г. Тарасенко // Збірник тез доповідей. Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 28 - 29 листопада 2018р.) / М-во освіти і науки України, Тернопіль-ський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2018. – С. 28.

АНОТАЦІЯ

Ісаюк О.І. Ефективність застосування синьо-зелених водоростей для виробництва енергоносіїв та біоорганічного добрива. – **Рукопис.**

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дипломна робота присвячена науково-технологічному забезпеченню організації збору синьо-зелених водоростей як сировини для виробництва енергоносіїв.

В роботі вперше запропонована стратегія комплексного використання біомаси ціанобактерій із отриманням ліпідів, біогазу та біоорганічного добрива на практиці що забезпечує безвідходну утилізацію ціанобактерій.

Ключові слова: енергетична безпека, ціанобактерії, синьо-зелені водорості, енергоносії, біогаз, біоорганічне добриво.

ANNOTATION

Isaiuk Oleksandra. System efficiency of blue-green algae for the production of energy and bio-organic manure. – **Manuscript.**

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2018.

The thesis is devoted to the scientific and technological support of the organization of collection of blue-green algae as raw material for the production of energy carriers.

In the work for the first time a strategy of integrated use of biomass of cyanobacteria with the production of lipids, biogas and bioorganic fertilizers in practice has been proposed, which provides non-waste utilization of cyanobacteria.

Keywords: energy security, cyanobacteria, blue-green algae, energy carriers, biogas, bio-organic manure.