

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

СИНЕЛЬНІКОВ ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ

УДК 502.3:556

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДОС-
ХОВИЩ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОС-
ТЕЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГОНОСІЇВ**

Спеціальність 21.06.01 - екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та збалансованого
природокористування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шмандій Володимир Михайлович,
Кременчуцький національний університет
ім. М. Остроградського
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екологічної безпеки та організації
природокористування

доктор технічних наук, професор
Челядин Любомир Іванович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри хімії

Захист відбудеться 30 листопада 2016 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою:

76057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «28» жовтня 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 35.052.22. к.т.н., доцент

В.В. Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Екологічна та енергетична безпека держави є пріоритетним завданням, вирішення якого важливе для забезпечення функціонування державних інституцій та існування держави взагалі. І в цьому ракурсі перспективним є організація збору синьо-зелених водоростей (СЗВ, ціанобактерій) та виробництва з них енергоносіїв. Це дасть змогу мінімізувати екологічну небезпеку Дніпровського каскаду водосховищ від неконтрольованого їх розвитку та використовувати зібрану біомасу як сировину для виробництва енергії (що стане ще одним кроком енергетичної незалежності України). На сьогодні людство використовує лише частину енергетичного потенціалу наземної біомаси рослинного походження (шосту частину споживаної енергії отримують із сільськогосподарської та іншої фітомаси, що еквівалентне щоденному використанню понад 4 млн. т нафти), разом з тим, біомаса гідробіонтів взагалі та фітопланктону зокрема для виробництва енергії практично не використовується. Попри численні дослідження щодо використання ціанобактерій для виробництва енергії (які проте не носять систематичного та закінченого характеру), технології збору та переробки синьо-зелених водоростей не набули масового застосування, це пов'язано із відсутністю даних щодо перспектив попередньої обробки біомаси ціанобактерій з ціллю збільшення повноти та інтенсифікації їх біорозкладу, відсутністю інформації щодо оптимальних режимів виробництва біогазу, відсутністю раціональної стратегії та технології збору і переробки ціанобактерій. Тому проведення комплексу узагальнюючих досліджень, які б дали змогу використовувати ціанобактерії із акваторій водосховищ Дніпровського каскаду в період їхньої вегетації як сировину для виробництва енергії, дасть змогу не лише здійснювати управління екологічною безпекою регіону, але й отримати додаткову кількість необхідної державі енергії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету "Львівська політехніка", основні положення дисертаційної роботи виконувались згідно із науково-технічною програмою Міністерства освіти та науки України «Застосування біологічних методів для очищення промислових вод та твердих відходів» (№ держреєстрації 0114U001222).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення екологічної безпеки водосховищ Дніпровського каскаду в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій шляхом розроблення науково-технологічного забезпечення організації збору цих водоростей та використання їх як сировини для виробництва енергоносіїв.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз джерел екологічної небезпеки та здійснити їх оцінювання у акваторіях Дніпровських водосховищ;
- 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;
- побудувати математичну модель процесу синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей, перевірити її адекватність та визначити значення кінетичних констант процесу;
- 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 цілях.

Об'єкт дослідження – екологічна небезпека штучних водосховищ Дніпровського каскаду, що спричинена неконтрольованим розвитком ціанобактерій.

Предмет дослідження – процеси отримання енергоносіїв та біоорганічного добрива із використанням як сировини ціанобактерій.

Методи досліджень включають в себе аналітичні та експериментальні дослідження із використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури, використання провідних методик в галузях екологічних досліджень та математичного моделювання досліджуваних процесів. Застосовувались методи статистичної обробки експериментальних даних, для теоретичних досліджень використовувався системний науково обґрунтований аналіз.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів підтверджена коректним використанням сучасних методів теоретичних досліджень, значним об'ємом дослідних даних, отриманих у реальних умовах роботи обладнання; застосуванням сучасних засобів вимірювань та методів експериментальних досліджень; експериментальним підтвердженням моделей та методик розрахунків. Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів За результатами виконаних досліджень із забезпечення екологічної безпеки в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій у водосховищах Дніпровського каскаду ди-

сертантом отримані такі найбільш важливі наукові результати:

- вперше теоретично обґрунтована та підтверджена експериментально ефективність попередньої обробки біомаси ціанобактерій (гідродинамічна кавітація), використання якої дає можливість інтенсифікувати процес розділення фаз вода – ціанобактерії та збільшити повноту розкладу біомаси;

- дістали подальший розвиток наукові засади високоефективного вилучення із ціанобактерій ліпідів, що сприяє більш повному використанню органічної частини біомаси водоростей для виробництва енергоносіїв;

- вперше побудована адекватна математична модель процесу синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей та визначені значення кінетичних констант процесу, що дало можливість проводити розрахунок реальних процесів;

- дістали подальший розвиток наукові засади одержання біогазу на основі встановлення закономірностей (хімічних, мікробіологічних та біохімічних) цього процесу для синьо-зелених водоростей, використання яких надає можливість підвищити рівень як екологічної, так і енергетичної безпеки;

- уточнено наукові дані щодо перспектив використання відпрацьованого субстрату ціанобактерій, що дає можливість застосувати його як біоорганічне добриво.

Практичне значення одержаних результатів

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

- за умови використання на практиці розробленого способу попередньої обробки біомаси ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації (захищений патентом України) ступінь розкладу біомаси зростає;

- наукові результати дисертаційного дослідження використовуються у ДП "Сумський ДержНДІ МІНДІП" (м. Суми), що підтверджується відповідним актом;

- наукові та практичні результати дисертаційної роботи використані у лекційних курсах та практичних роботах з дисципліни «Техноекологія» на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 6.04010601 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела, розроблено методологію досліджень, проведено лабораторні дослідження, систематизовано й узагальнено результати експериментів, сформульовано та науково обґрунтовано висновки, отримано патент України на корисну модель. Постановка задач та їх обговорення проводились під керівництвом д.т.н. проф. Мальованого М.С.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародних та українських конференціях: науково-технічній конференції «Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбунівські читання» (м. Чернівці; 2014 р.); 5 Міжнародному екологічному форумі «Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета» (Херсон, 2013 р.); 3-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2014 р.); V Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Вінниця, 2015 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчуг, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні особливості формування і управління інноваційним потенціалом регіонального розвитку туризму та рекреації із залученням молодіжного ресурсу» (Тернопіль, 2015 р.); 5 Міжнародній науковій конференції молодих вчених та студентів «Екологія. Довкілля. Молодь» (Полтава, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 18 друкованих наукових праць, в тому числі співавторство у колективній монографії, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 1 стаття у виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях з технічних наук, 2 статті у інших наукових виданнях, 7 доповідей на міжнародних та національних наукових конференціях та отримано 1 патент України.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 144 сторінках друкованого тексту, ілюстровано 37 рисунками, текст містить 13 таблиць, у бібліографії наведено 158 літературних джерел, дисертація містить 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, висвітлено наукове та практичне значення отриманих результатів, поставлено мету та визначено напрямки її досягнення, дано загальну характеристику дисертаційної роботи.

Перший розділ 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 біодизельного палива. На основі аналізу цієї інформації сформульовані цілі та завдання досліджень.

У другому розділі наведені характеристики матеріалів та об'єктів досліджень, методів та методик проведення експериментальних досліджень, описано експериментальні установки. Розроблено схему логічного взаємозв'язку об'єкта та предмета досліджень, наведено характеристики ціанобактерій, які неконтрольовано розмножуються у акваторіях штучних водосховищ Дніпровського каскаду і викликають надмірне «цвітіння» води. Розроблено методику досліджень кавітаційної обробки синьо-зелених водоростей гідродинамічним та акустичним методами та наведено схеми експериментальних установок для реалізації цих методів. Розроблено методики експериментальних досліджень отримання енергоносіїв із синьо-зелених водоростей: екстрагування ліпідів, які можуть використовуватись для виробництва біодизеля та синтезу біогазу із біомаси водоростей. Наведено методику дослідження елементного складу ціанобактерій.

Третій розділ присвячений оцінці ступеня екологічної небезпеки, що формується внаслідок неконтрольованого розвитку ціанобактерій. Результати аналізу джерел екологічної небезпеки у акваторіях Дніпровських водосховищ у Кременчуцькому територіально-виробничому комплексі свідчать, що окрім очікуваного результату – виробництва дешевої електроенергії, побудова ГЕС спричинила і загрозливий для екологічної безпеки України результат – значне погіршення екологічного стану Дніпра. Побудова та експлуатація Дніпровського каскаду ГЕС необоротно змінила гідростатичний та гідродинамічний режим Дніпра та радикально погіршила якісні показники води Дніпра. Такі негативні для навколишнього природного середовища наслідки викликані двома головними причинами:

- затопленням водами новостворених водосховищ територій, де були розміщені населені пункти, сільськогосподарські угіддя, тваринницькі ферми, життєвий простір населення;
- значним зменшенням швидкості течії Дніпра.

Такі радикальні зміни зрештою радикально змінили біоту ріки. Результатом створення нових взаємозв'язків у новій біоті та створення нової біотичної ієрархії і став бурхливий неконтрольований розвиток синьо-зелених водоростей, які заповнили новостворені водосховища Дніпра. Залежно від гідродинамічних умов, форми берегової лінії, сили та напрямку вітру синьо-зелені водорості у різні періоди концентруються у різних частинах Дніпровських водосховищ. Цей факт і спричинив втрату Дніпром здатності до самоочищення, що викликало прогресуючий неконтрольований розвиток синьо-зелених водоростей. Питома густина ціанобактерій дещо менша за густину води, тому навіть після сильного шторму вони за незначний час спливають на поверхню та інтенсивно розвиваються,



Рисунок 1 - Скупчення синьо-зелених водоростей біля Кременчуцької ГЕС

споживаючи сонячну енергію. Досить швидко утворюється щільний поверхневий шар із синьо-зелених водоростей, який зменшує коефіцієнт відбивання сонячного проміння. Це в свою чергу сприяє додатковому прогріванню поверхневого шару (де скупчені ціанобактерії), а отже і прискоренню розвитку водоростей – процес стає

автокаталітичним. Сприяє неконтрольованому розвитку ціанобактерій і відсутність біологічних видів, для яких вони були б кормом. Внаслідок коливань рівня води в штучних водосховищах досить часто відбувається затоплення широких прибережних смуг Дніпра, на затоплені акваторії (плавні, озера, рукави та стариці Дніпра) потрапляють ціанобактерії. Результат – замулення та практично повна загибель відомих піщаних Дніпровських пляжів – гордості та окраси Дніпра, відомих рекреаційних зон. Неприємний нудотний запах водоростей, які розкладаються, значно зменшив популярність та масовість водного туризму, а сама акваторія ріки у літню пору перетворюється на джерело небезпечного мікробіологічного забруднення.

Аналіз можливості оцінювання ступеня екологічної небезпеки водоймищ від впливу синьо-зелених водоростей з допомогою узагальнених показників засвідчив, що розрахункові інтегральні методи у цьому випадку застосовувати проблематично і некоректно. Методи біоіндикації дають змогу отримати тільки якісну оцінку, яка і так є очевидною. Єдиним способом кількісної оцінки екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій є диференційні методи оцінки опосередкованого впливу на довкілля шляхом моніторингу якісних показників води в водосховищі (вміст кисню, іонів амонію, марганцю).

Показано, що дієвим методом зниження рівня екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій в акваторіях штучних водосховищ Дніпровського каскаду може бути збір ціанобактерій і використання їх як сировини для виробництва кондиційного біогазу. Відпрацьована заброджена біомаса може бути використана як органічні добрива. Пропонований метод зменшення екологічної небезпеки підтверджений успішною апробацією інших дослідників.

У четвертому розділі науково обґрунтовано доцільність одержання біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей. Досліджені хіміко-кінетичні закономірності процесу утворення біогазу. В процесі біологічного розкладу біомаси синьо-зелених водоростей виділено 2 стадії: 1 – ферментативний гідроліз та бродіння білків, полісахаридів та ліпідів з утворенням спиртів, нижчих карбонових кислот, кетонів, альдегідів, вуглекислого газу та води; 2 – перетворення вторинними анаеробами метаболітів первинних анаеробів із отриманням метану та вуглекислого газу. Хіміко-кінетичні закономірності процесу можуть бути описані рівнянням Михаеліса – Ментена. Встановлено, що у випадку отримання біогазу із сільськогосподарської сировини попередня підготовка субстрату методом подрібнення та делігніфікації (внаслідок чого проходить деградація лігнінової сітки та зростає поверхня масообміну) дає змогу отримати більш високе значення коефіцієнта газифікації. На основі цього зроблене припущення, що у випадку біорозкладу біомаси ціанобактерій, їх подрібнення і розрив оболонки будь-яким методом (наприклад кавітацією) також повинні привести до інтенсифікації процесів біорозкладу. Запропонована модель кінетичних перетворень в процесі метаногенезу, яка включає 3 етапи: 1 – зв’язування CO_2 із переносником вуглецю із утворення карбоксіпохідного (X1-COOH), яке відновлюється до формілпохідного (X1-CHO); 2 - перенесення формільної групи на другий переносник (X2) через дві послідовні відновлювальні реакції до утворення метилпохідного (X2-CH_3); 3 - відновлення метил-КоМ, із розпадом комплексу та вивільненням метану та гетеросульфідів коферментів В та М. Встановлено, що на інтенсивність метаногенезу в значній мірі впливають рН середовища та температура. Оптимальними значеннями цих параметрів є рН – 7,5-7,8 та $t = 26-37^\circ\text{C}$

Результати хроматографічного аналізу біогазу наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад біогазу, отриманого із біомаси синьозелених водоростей

№ з/п	CH_4	CO_2	O_2	N_2	CO	Σ
1	65,8	10,7	2,3	21,1	н/о	99,9
2	64,5	10,9	2,5	20,5	< 1,0	98,4
3	65,1	11,9	2,4	22,0	н/в	100,0

Густина газу становить $0,914-0,922 \text{ кг/м}^3$, теплота згоряння $Q = 5100-5200 \text{ кДж/м}^3$. Тому є підстави стверджувати, що за своїми параметрами біогаз, отриманий із ціанобактерій, наближається до природного газу (пропан-бутанової суміші).

Склад амінокислот та вітамінів у біомасі синьо-зелених водоростей дає підстави порівнювати їх із такими висококалорійними продуктами, як риба та соєва мука, дріжджі, сухе молоко. Тому, після закінчення процесу синтезу із біомаси біогазу, залишкова органічна складова може бути використана як вітамінна харчова добавка або як висококондиційне органічне біодобриво.

Детально розглянуті мікробіологічні та біохімічні закономірності процесу одержання біогазу. Проведений аналіз відомої інформації щодо етапності біометаногенезу та штамів бактерій, які можуть його забезпечувати у біомасі синьо-зелених водоростей. 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.

П'ятий розділ присвячений дослідженням технологій збору та переробки синьо-зелених водоростей. Досліджено вплив гідродинамічної кавітаційної обробки на ефективність розділення фаз вода – ціанобактерії. Залежність ступеня концентрування (K) від тривалості обробки біомаси в кавітаційному полі після 24 год відстоювання в полі гравітаційних сил представлена на рис.2.



Рисунок 2 - Залежність K від тривалості обробки біомаси в кавітаційному полі

Значення ступеня концентрування обчислювалось за формулою

$$K = \frac{\Delta h}{h} 100\%$$

(1)

де K – ступінь концентрування біомаси, %; Δh – висота стовпа відділеної води після розподілу фаз; h – початкова висота стовпа біомаси ціанобактерій (30 мм). Як видно із рис.2, вже після 7,5 хвилин обробки біомаси ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації досягається здатність до розділення фаз біомаса: освітлена вода.

Для досліджень отримання із ціанобактерій енергоносіїв (ліпідів - сировини для виробництва біодизеля та біогазу) використовувались ціано-

бактерії, відібрані на Кременчуцькому водосховищі у м. Світловодськ. Перед початком експериментів приготувлялась суспензія водоростей із вмістом сухої речовини 17,1 г/л, що відповідає реальній концентрації водоростей у місцях скупчення. На першому етапі досліджень визначався вміст органічної частини водоростей шляхом спалювання наважки висушених водоростей у печі за 550⁰С впродовж 15 хв. За результатами досліджень органічна частина становила 94% від загальної маси водоростей.

Досліджувались два варіанти використання ціанобактерій для отримання енергії:

- екстрагування ліпідів, які надалі можуть використовуватись для виробництва біодизелю;
- отримання біогазу.

Оскільки ціанобактерії мають досить щільну клітинну мембрану, процес екстрагування та біорозкладу може проходити з низькою інтенсивністю. Для руйнування клітинної мембрани було обрано метод кавітації, в процесі якої утворюються зони високого та низького тисків, які і руйнують клітинні мембрани. У цій роботі досліджувався вплив на процеси використання водоростей для виробництва енергії двох видів кавітації – акустичної та гідродинамічної.

Для проведення акустичної кавітації суспензія ціанобактерій вводилась в ультразвуковий реактор. Ультразвукові коливання (частота – 22кГц, потужність – 35 Вт, інтенсивність – 1,65 Вт/см³ на одиницю об'єму) від генератора УЗДН-2Т передавались за допомогою магнітострикційного випромінювача, зануреного в досліджуване середовище (V=150см³). Протягом всього процесу через досліджувану суспензію барботували СО₂. Реактор безперервно охолоджувався проточною водою. Умови проведення ультразвукової обробки: T=298 К, P= 1·10⁵ Па, v_{уз}=22 кГц за умов дії газ/УЗ.

Визначення ефективності обробки суспензії ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації проводилось у реакторі, де як кавітуючий орган використовувалась трилопатева крильчатка клиноподібного профілю з гострою передньою та тупою задньою кромками, частота обертів робочого колеса становила 4000 об/хв. У робочу ємність кавітатора заливали 1 л суспензії ціанобактерій.

Надалі досліджувались 3 види суспензій ціанобактерій:

Проба №1 – без будь-якої обробки; Проба №2 – оброблені у ротаційному кавітаторі-мішалці, який працював протягом 10 хв, Проба №3 – оброблені у ультразвуковому кавітаторі, який створював поле кавітації протягом 15 хв. Для визначення загального вмісту ліпідів у зібраній культурі водорості висушували за 80⁰С та перемелювали у ступці, з отриманої маси проводили екстрагування ліпідів гексаном.

Для визначення впливу кавітації на кількість екстрагованих ліпідів, які потенційно можна екстрагувати із досліджуваних ціанобактерій, проводи-

ли екстракцію гексаном із суспензії водоростей (проби №1, №2 та №3). Результати досліджень представлено на рис.3.

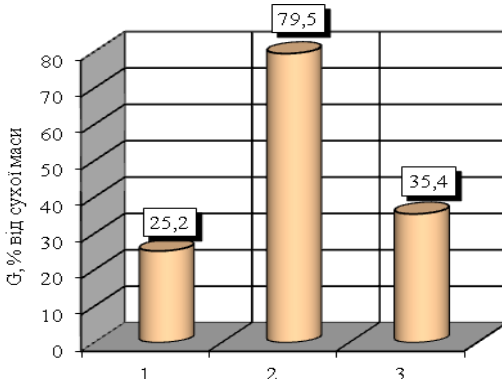


Рисунок 3 - Залежність ступеня екстрагованих із ціанобактерій ліпідів (в відсотках від загальної кількості) від виду попередньої обробки

і використання їх без обробки для отримання енергії є ускладненим. З проби №2 вдалося екстрагувати 1,01%, а з проби №3 – 0,45% ліпідів. Таким чином, обробка в кавітаційному полі розриває мембранні стінки та приводить до більш повного екстрагування. Особливо значним є ефект у випадку використання гідродинамічної кавітації, адже після обробки проби вдається екстрагувати майже 80% від всіх наявних ліпідів.

Для проведення експериментів з виробництва біогазу з ціллю імітації складу верхнього шару водосховища, в якому знаходиться невелика кількість анаеробних бактерій, для інтенсифікації процесу анаеробного розкладу, проби №1, №2 та №3 змішувались з первинним мулом очисних споруд, у якому міститься значна кількість анаеробних бактерій, та поміщали в окремі реактори експериментальної установки. Для того, щоб знати яка частина біогазу виділяється з мулу, а яка з водоростей, готували нульову пробу шляхом змішування 50 мл мулу з 900 мл води та поміщали у реактор 1. Отримані розчини водоростей мали рН=4,57-4,78, що пояснюється початком фази ацетогенезу.

Оптимальним для анаеробного розкладу є рН в межах 7-7,5, тому рН в реакторах коригували до 7,5 шляхом добавляння невеликої кількості розчину NaOH. Реактори закривались герметичними корками з газовідвідними корками. Утворений біогаз збирався у градуйовані колби, які були занурені у воду, рН води підтримувався нижче 5. Оскільки за низьких рН неорганічний вуглець знаходиться у формі CO₂, це дало змогу уникнути

Дослідження показали, що загальний вміст ліпідів у відібраній пробі ціанобактерій становив 1,27% від сухої маси. З проби №1 вдалося екстрагувати ліпіди у кількості, що відповідає 0,32% сухої маси водоростей. Цей результат підтверджує, що клітинні мембрани необроблених водоростей є важкопроникними,

розчинення вуглекислого газу, присутнього у біогазі, у воді. В реакторах

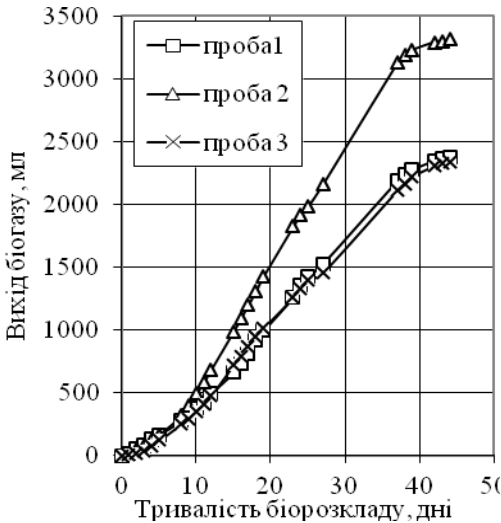


Рисунок 4 - Кінетика біорозкладу біомаси ціанобактерій в мезофільних умовах

підтримувалась температура 34 °С (мезофільні умови). Вміст реакторів перемішували впродовж 1 хв кожних 2 дні. Результати досліджень представлені на рис.4.

Результати порівняння загального об'єму добутого біогазу за час досліджень із досліджуваних проб показали, що для проб №1 та №3 кількість добутого біогазу була приблизно однаковою, а для проби №2 (біомаса оброблена в полі гідродинамічної кавітації) ця кількість була більша приблизно на 30%.

Математичний опис процесу синтезу біогазу розглядався з позиції аналізу ланцюгових реакцій методами фізичної хімії, виходячи із яких кінетика синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей може бути представлена у вигляді (рис.5.):

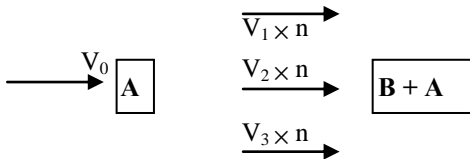


Рисунок 5 - Схема ланцюгового процесу біохімічних перетворень, де V_0 – швидкість зародження активних центрів процесу синтезу біогазу, A ; n – концентрація активних центрів анаеробного метанового зброджування; V_1 – константа швидкості продовження ланцюгового процесу; V_2 – константа швидкості обриву ланцюгового процесу; V_3 – константа швидкості стадії розгалуження ланцюгового процесу.

Кінцеві рівняння побудованої із використанням представленої на рис.5 схеми біохімічних перетворень мають вигляд:

$$V_{bio} = \Psi \times \phi(t), \text{ де } \Psi = \frac{\varepsilon \times V_0}{\varphi}; \quad \phi(t) = \exp(\varphi \times t) - 1 \quad (2)$$

де: Ψ – комплексна кінетична константа синтезу біогазу, $\phi(t)$ – функція часу t , ε – константа пропорційності між концентрацією активних центрів біохімічних реакцій та виходом біогазу, φ – константа наростання активних центрів, V_{bio} – вихід біогазу в системі.

Згідно з рівняннями (2), між V_{bio} та $\phi(t)$ повинна існувати прямо пропорційна залежність. Результати перевірки адекватності розробленої математичної моделі реальному процесу показали, що для всіх досліджуваних масивів залежність між V_{bio} та $\phi(t)$ описується прямою лінією, а коефіцієнти детермінації цієї лінійної залежності, які встановлені із використанням програми Microsoft Excel (0,9958 та 0,9954), підтверджують лінійність отриманої залежності. Лінійність отриманих залежностей дає змогу підтвердити коректність розробленої математичної моделі та дає можливість визначити значення комплексних кінетичних констант синтезу біогазу, значення яких для досліджуваних масивів даних становлять: $\Psi_1 = 316,25$ мл. – для біомаси ціанобактерії, оброблених в полі гідродинамічної кавітації. $\Psi_2 = 263,95$ мл. – для об'єднаного масиву проб (без обробки і з обробкою в полі ультразвуку)

Дослідження елементного складу відпрацьованої біомаси ціанобактерій показало, що жодного із елементів, вміст яких у сировині для виробництва добрив лімітований (кадмію, свинцю та арсену), у висушеній відпрацьованій біомасі ціанобактерій не знайдено. Найбільший вміст у відпрацьованій біомасі кальцію і значний вміст сірки (ці елементи є олігоелементами, вміст яких в складі добрив доцільний). Значний вміст фосфору і калію – основних елементів живлення рослин. Аналіз результатів експериментів щодо динаміки кількісного проростання гороху та пшениці за умови використання відпрацьованого субстрату біомаси ціанобактерій як органічного добрива свідчить про те, що оптимальним є розведення відпрацьованого субстрату 1:200 для пшениці та 1:100 для гороху.

Запропонована технологія збору ціанобактерій із акваторій із застосуванням маломірного флоту – малопотужного буксира із приймачем біомаси та накопичувальними ємностями.

На основі проведених досліджень розроблена раціональна стратегія уникнення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій та їх негативного впливу на довкілля, яка представлена на рис.6.

Стратегія передбачає збір ціанобактерій з допомогою маломірного флоту і кавітаційну обробку зібраної біомаси вже безпосередньо після збору з допомогою кавітатора, розташованого на баржі для зберігання зібраної біомаси. Це дасть змогу збільшити ступінь концентрування біомаси вже на першому етапі її утилізації.

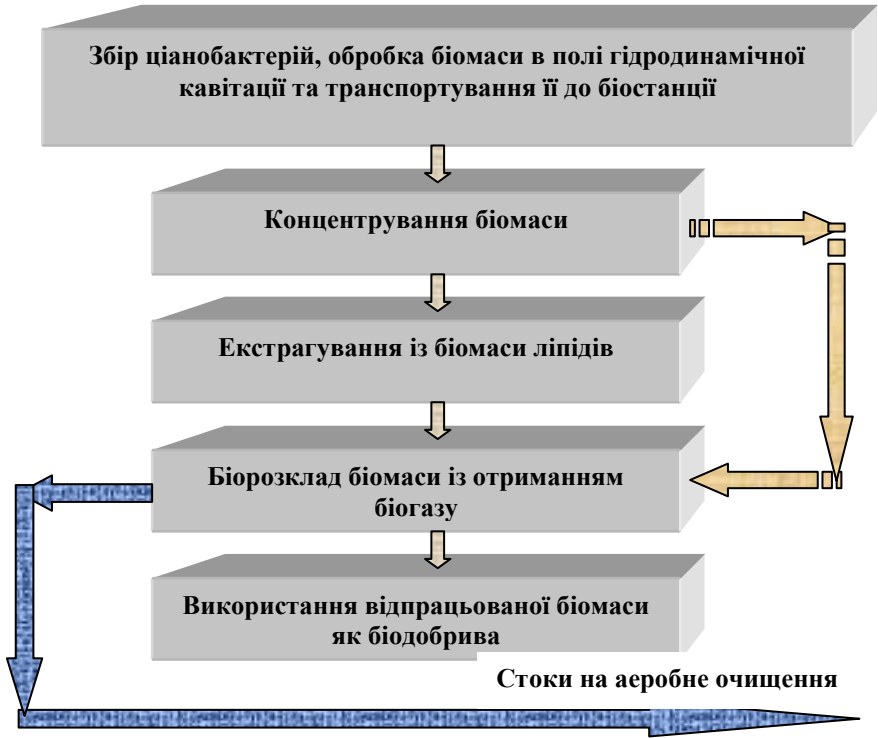


Рисунок. 6 - Блок-схема стратегії уникнення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій

Концентрована біомаса скеровується або на стадію екстрагування ліпідів, або на стадію отримання біогазу. Доцільність отримання ліпідів (сировини для виробництва біодизеля) визначається техніко-економічним аналізом. Відпрацьована після виробництва біогазу біомаса може використовуватись як біодобриво. Стоки після відділення від них відпрацьованої біомаси подаються на аеробне очищення. Технічне рішення щодо ефективності попередньої обробки біомаси ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації захищено деклараційним патентом України.

Таким чином, розроблена нами стратегія утилізації ціанобактерій дає змогу не тільки уникнути екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку синьо-зелених водоростей, але й отримати необхідні для забезпечення енергетичної незалежності держави енергоносії та ефективні біодобрива.

ВИСНОВКИ

У дисертації теоретично узагальнено і по-новому вирішена наукова задача, яка полягає у забезпеченні екологічної безпеки водосховищ Дніпровського каскаду в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій шляхом розроблення науково-технологічних заходів щодо організації збору цих водоростей та використання їх як сировини для виробництва енергоносіїв та як біодобрива. В результаті узагальнення даних дисертаційних досліджень отримані такі найбільш вагомі результати.

1. На основі проведеного аналізу джерел екологічної небезпеки у акваторіях Дніпровських водосховищ Кременчуцького територіально-виробничого комплексу встановлено, що одним із визначальних її чинників є неконтрольований розвиток синьо-зелених водоростей та їх негативний вплив на довкілля.

2. Науково обґрунтована доцільність одержання біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей (хімічні, мікробіологічні та біохімічні закономірності процесу). Встановлено, що попередня підготовка біомаси (подрібнення, делігніфікації і т.ін.) дає змогу отримати більш високе значення коефіцієнта газифікації. 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.

3. Обґрунтована технологічна схема збору ціанобактерій, що ґрунтується на збиранні насиченого ціанобактеріями поверхневого шару води у занурену баржу-приймач, що транспортується буксиром.

4. 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). Технічне рішення захищено деклараційним патентом України.

5. Експериментально доведена перспективність екстрагування із біомаси ціанобактерій ліпідів, максимальна екстрагована кількість яких становить 1,01% від сухої маси ціанобактерій.

6. Теоретично та експериментально досліджена кінетика синтезу із біомаси ціанобактерій біогазу, встановлено що кінетична крива має S- подібну форму, що свідчить про багатостадійність процесу біорозкладу.

7. На принципі представлення процесу синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей, як ланцюгового процесу біохімічних перетворень, побудована математична модель процесу. Ідентифікація експериментальних даних кінцевим рівнянням математичної моделі підтвердила її адекватність (мінімальне значення коефіцієнта кореляції $R^2 = 0,9954$) та дала змогу встановити значення комплексних кінетичних констант

синтезу біогазу, які становлять 316,25 мл (для біомаси ціанобактерії, оброблених в полі гідродинамічної кавітації) та 263,95 мл (для об'єднаного масиву проб – без обробки і з обробкою в полі ультразвуку).

8. Аналіз результатів експериментів щодо динаміки кількісного проростання гороху та пшениці за умови використання відпрацьованого субстрату біомаси ціанобактерій як органічного добрива свідчить про те, що оптимальним є розведення відпрацьованого субстрату 1:200 для пшениці та 1:100 для гороху.

9. Розроблена блок-схема стратегії уникнення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій та їх негативного впливу на довкілля, яка включає послідовну реалізацію таких стадій: збір ціанобактерій, обробка біомаси в полі гідродинамічної кавітації та транспортування її до біостанцій ⇒ концентрування біомаси ⇒ екстрагування із біомаси ліпідів ⇒ біорозклад біомаси із отриманням біогазу ⇒ використання відпрацьованої біомаси як біодобрива.

10. Результати дисертаційних досліджень передані для використання в ДП "Сумський ДержНДІ МІНДІП" (м. Суми) та використовуються у лекційних курсах та практичних роботах з дисципліни «Техноекологія» на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 6.04010601 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», що підтверджується відповідними документами.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Мальований М. С. Використання ціанобактерій для отримання енергоносіїв – шлях до уникнення екологічної небезпеки від їх неконтрольованого розвитку в водосховищах Дніпровського каскаду / М. С. Мальований, В. В. Никифоров, О. В. Харламова, О. Д. Синельников // Сталій розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі: Дискусії 2015. – Черкаси, 2015. - С.352 – 361. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень та аналіз перспектив отримання енергоносіїв із ціанобактерій.*

2. Malovanyu Myroslav Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass/Myroslav Malovanyu, Vladimir Nikiforov, Elena Kharlamova and Alexander Synelnikov// Chemistry & Chemical Technology. – Vol.10, №2, 2016. - – P.252-254. *Особистий внесок – проведення лабораторних досліджень кінетики синтезу біогазу із ціанобактерій.*

3. Мальований М. Природоохранные и энергетические аспекты биотехнологии утилизации цианобактерий как эколого-экономический императив устойчивого развития / М. Мальований, В. Никифоров, Е. Харламова, А. Синельников // Теория устойчивого развития, Варна. – 2015. – №1(22). – С. 4-9. *Особистий внесок – аналіз впливу утилізації ціанобактерій на збалансований розвиток акваторій Дніпровських водосховищ.*

4. Мальований М. С. Оптимальні умови отримання енергії із ціанобактерій / М. С. Мальований, О. Д. Синельников, О. В. Харламова, А. М. Мальований // Хімічна промисловість України. - 2014. - №5. - С. 39-43. *Особистий внесок – розроблення методики експериментальних досліджень та проведення експериментальних досліджень.*

5. Мальований М. С. Оцінювання екологічної небезпеки в акваторіях Дніпровських водосховищ внаслідок неконтрольованого розвитку ціанобактерій / М. С. Мальований, В. В. Никифоров, О. В. Харламова, О. Д. Синельников // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.6. – С. 159-164. *Особистий внесок – аналіз екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій.*

6. Мальований М. С. Вплив гідродинамічної кавітації на біологічні об'єкти / М. С. Мальований, В. В. Никифоров, О. Д. Синельников та ін. // Технологічний аудит та резерви виробництва – 2015. – № 5/4(25). – С. 41-45. *Особистий внесок – аналіз особливостей впливу гідродинамічної кавітації на масообмін в системах із біологічними об'єктами.*

7. Мальований М. С. Раціональна технологія утилізації синьо-зелених водоростей / М. С. Мальований, В. В. Никифоров, О. В. Харламова, О. Д. Синельников // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.10. – С. 140-149. *Особистий внесок – розроблення стратегії раціональної технології утилізації ціанобактерій.*

8. Malovanyu M. Mathematical model of the process of synthesis of biogas from blue-green algae/ М. Malovanyu, V. Nykyforov, O. Kharlamova, O. Synelnikov // Екологічна безпека. – 2015. - № 1/2015(19). - С.58-63. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень та встановлення кінетичних констант математичної моделі синтезу біогазу із ціанобактерій.*

9. Malovanyu M. Prospects of combining in complex usage of different types of renewable energy and creation of renewable energy sources / M. Malovanyu, Y. Mahera, O. Zakhariv, O. Kharlamova O. Synelnikov // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, Серія «Біологія, біотехнологія, екологія». - 2015. - №214. - С.155–163. *Особистий внесок – дослідження ролі енергоносіїв, які можуть бути отримані із ціанобактерій, у загальній стратегії розвитку альтернативних джерел енергії.*

10. Malovanyu Myroslav Reduction of the environmental threat from uncontrolled development of cyanobacteria in waters of Dnipro reservoirs/ Myroslav Malovanyu, Volodymyr Nykyforov, Olena Kharlamova, Olexander Synelnikov, Khrystyna Dereyko// Environmental Problems. – 2016. - №1. – P. 61-64. *Особистий внесок – аналіз шляхів зменшення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій в Дніпровських водосховищах.*

11. Пат. № 105896 на корисну модель України МПК С12Р 5/00. Спосіб отримання біогазу із синьо-зелених водоростей / Мальований М. С., Никифоров В. В., Харламова О. В., Синельніков О. Д.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u201509295; заявл. 29.09.2015; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7, 2016 р. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень отримання біогазу та ліпідів – сировини для виробництва біодизеля.*

12. Синельніков О. Д. Оцінка перспектив виробництва біопалива із використанням ціанобактерій / О. Д. Синельніков, М. С. Мальований, А. М. Мальований, О. В. Харламова, С. Д. Синельніков // Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета: 5 Міжнародний екологічний форум, 21-22 листопада 2013 р.: матеріали, 2013. – С. 398 – 402. *Особистий внесок – розроблення методики експериментів щодо екстрагування ліпідів із біомаси ціанобактерій.*

13. Мальований М. Перспективи використання біомаси ціанобактерій для отримання відновлювальних енергоносіїв / М. Мальований, В. Никифоров, О. Харламова, О. Синельніков // V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. Вінниця 23–26 вересня 2015р. / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця.- 2015. - С. 215. *Особистий внесок – експериментальні дослідження та аналіз отриманих даних.*

14. Мальований М. С. Технологічні аспекти забезпечення рекреації в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій / М.С.Мальований, В. В. Никифоров, О. Д. Синельников, О. В. Харламова // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні особливості формування і управління інноваційним потенціалом регіонального розвитку туризму та рекреації із залученням молодіжного ресурсу». Тернопіль, 15-17 жовтня 2015. / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. - Тернопіль. - 2015. – С. 183-184. *Особистий внесок – аналіз відомих технологій утилізації ціанобактерій та розроблення стратегії уникнення екологічної небезпеки.*

15. Мальований М. С. Вирішення проблем екологічної безпеки у водосховищах Дніпровського каскаду / М.С.Мальований, О. В. Харламова, О. Д. Синельников // Збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки». Кременчук, 6-8 жовтня 2015 / КрНУ. – Кременчук. - 2015. – С. 23. *Особистий внесок – аналіз екологічної небезпеки від забруднення гідросфери продуктами неконтрольованого розкладу ціанобактерій.*

16. Мальований М. С. Шляхи уникнення екологічних загроз гідроенергетики: перспективи утилізації синьо-зелених водоростей / М. С. Мальований, О. В. Харламова, О. Д. Синельников // Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбунівські читання. Тези доповідей. – Чернівці, 25 квітня 2014 р. / ЧТЕІ КНТЕУ. – Чернівці. – 2014 р. С. 59-61. *Особистий внесок – аналіз перспектив утилізації синьо-зелених водоростей, проведення експериментальних досліджень та аналіз результатів.*

17. Синельников О. Д. Наукове обґрунтування доцільності використання гідробіонтів з акваторій водосховищ з метою забезпечення екологічної та енергетичної безпеки / О. Д. Синельников, О. В. Харламова, М. С. Мальований // III міжнародний конгрес. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів. Львів, 17-19 вересня 2014 / НУ «ЛП». – Львів. – 2014. – С. 133. *Особистий внесок – проведення лабораторних досліджень, вивчення можливості використання відпрацьованої біомаси як добрив.*

18. Харламова О. В. Підвищення рівня екологічної безпеки штучних водосховищ за рахунок утилізації ціанобактерій / О.В. Харламова, О.Д. Синельников, М.С. Мальований // Матеріали 5 Міжнародної наукової конференції молодих вчених та студентів «Екологія. Довкілля. Молодь» 22 – 23 жовтня 2015 р. Полтава. - С.133–136. *Особистий внесок – дослідження можливих варіантів зниження рівня екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку синьо-зелених водоростей.*

АНОТАЦІЯ

Синельніков О. Д. Забезпечення екологічної безпеки водосховищ шляхом використання мікродоростей для виробництва енергоносіїв. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційна робота присвячена покращенню екологічної безпеки водосховищ Дніпровського каскаду в умовах неконтрольованого розвитку ціанобактерій шляхом розроблення науково-технологічного забезпечення організації збору цих водоростей та використання їх як сировини для виробництва енергоносіїв. Науково обґрунтована доцільність одержання біогазу із біомаси синьо-зелених водоростей (хімічні, мікробіологічні та біохімічні закономірності процесу). Проведений аналіз оптимальних умов реалізації біометаногенезу в системі, куди входить органічний субстрат ціанобактерій. Розглянуто вплив різних факторів на життєздатність різних типів бактерій та перебіг процесу синтезу біогазу із синьо-зелених водоростей. Встановлена ефективність попередньої обробки біомаси ціанобактерій в полі гідродинамічної кавітації для збільшення повноти розкладу біомаси. Розроблено блок-схему стратегії уникнення екологічної небезпеки від неконтрольованого розвитку ціанобактерій та їх негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: екологічна безпека, ціанобактерії, синьо-зелені водорості, біомаса, біогаз, ліпіди, біорозклад, кавітація, біодобриво.

АННОТАЦИЯ

Синельников А. Д. Обеспечение экологической безопасности водохранилищ путем использования микродорослей для производства энергоносителей. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - Экологическая безопасность. - Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертационная работа посвящена обеспечению экологической безопасности водохранилищ Днепровского каскада в условиях неконтролируемого развития цианобактерий путем разработки научно-технического обеспечения организации сбора этих водорослей и использования их как сырья для производства энергоносителей. На основании анализа источников экологической опасности в акваториях Днепровских водохранилищ Кременчуцкого территориально-производственного комплекса установлено, что одной из определяющих

ее причин является неконтролируемое развитие сине-зеленых водорослей и их негативное влияние на окружающую среду. Научно обоснована целесообразность получения биогаза из биомассы сине-зеленых водорослей (химические, биологические и биохимические закономерности процесса). Проведен анализ оптимальных условий реализации биометаногенеза в системе, в которую входит органический субстрат цианобактерий. Рассмотрено влияние различных факторов на жизнедеятельность различных типов бактерий и кинетику процесса синтеза биогаза из сине-зеленых водорослей. Показана эффективность утилизации биомассы цианобактерий путем экстрагирования на 1 этапе липидов (используются в дальнейшем для производства биодизеля), получения на 2 этапе биогаза путем биоразложения биомассы и использования остатка как биоудобрения. Перспективность экстрагирования из биомассы цианобактерий липидов доказана экспериментально, максимальное количество экстрагированных липидов составило 1,01% от сухой массы цианобактерий.

Теоретически и экспериментально исследована кинетика синтеза из биомассы цианобактерий биогаза, установлено, что кинетическая кривая имеет S-образную форму, что свидетельствует об многостадийности процесса биоразложения. Используя принцип представления процесса синтеза биогаза из сине-зеленых водорослей как цепной процесс биохимических превращений, построена математическая модель этого процесса. Идентификация конечных уравнений математической модели и экспериментальных данных подтвердила ее адекватность, что дало возможность определить численные значения констант кинетики разложения биомассы, которые могут быть использованы для расчета реальных процессов. Установлена эффективность проведения предварительной обработки биомассы цианобактерий в поле гидродинамической кавитации для увеличения полноты разложения биомассы (количество экстрагированных липидов увеличивается в 3,2 раза, количество синтезированного биогаза – в 1,4 раза). Техническое решение защищено декларационным патентом Украины. Анализ результатов экспериментов по исследованию динамики количественного прорастания гороха и пшеницы, при условии использования отработанного субстрата биомассы цианобактерий как биоорганического удобрения свидетельствует о том, что оптимальным является разведение отработанного субстрата 1:200 для пшеницы и 1:100 для гороха.

Обоснована технологическая схема сбора цианобактерий, в которой реализован принцип сбора насыщенного цианобактериями поверхностного шара воды из водохранилища в затопленную баржу-приемник, которая транспортируется буксиром. Кавитационную обработку предлагается проводить непосредственно на барже, чем достигается предтехнологическая подготовка биомассы. Экспериментами доказано, что в этом случае интенсифицируется также разделение

биомасса – вода. Разработана блок-схема стратегии предупреждения экологической опасности от неконтролируемого развития цианобактерий и их негативного влияния на окружающую среду, которая включает последовательную реализацию таких стадий: сбор цианобактерий, обработка биомассы в поле гидродинамической кавитации и транспортирование их к биостанции ⇒ концентрирование биомассы ⇒ экстрагирование из биомассы липидов ⇒ биоразложение биомассы с получением биогаза ⇒ использование отработанной биомассы как биоудобрения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, цианобактерии, сине-зеленые водоросли, биомасса, биогаз, липиды, биоразложение, кавитация, биоудобрение.

ABSTRACT

Synelnikov O. D. Ensuring the ecological safety water reservoirs by use of microalgae for production energy carriers. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 - Ecological safety. - National University "Lviv Polytechnic" Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

Dissertation is devoted to dedicated to providing ecological safety Dnieper cascade water reservoirs in terms of cyanobacteria by uncontrolled development of scientific and technological support of the collection of algae and using them as raw material for the production of energy. The scientific rationale for obtaining biogas from biomass blue - green algae (chemical, microbiological and biochemical patterns of the process). The analysis of the optimal conditions for the implementation biometanohenezu system, which includes an organic substrate cyanobacteria. The influence of various factors on the viability of different types of bacteria and the progress of the biogas synthesis of blue - green algae. Installed effectiveness pretreatment of biomass cyanobacteria in the field of hydrodynamic cavitation to increase the completeness of decomposition of biomass. Developed flowchart strategies to avoid environmental hazards of uncontrolled development of cyanobacteria and their impact on the environment.

Keywords: ecological safety, cyanobacteria, blue-green algae, biomass, biogas, lipids, biodegradable, cavitation, biofertilizers.