

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

БАЛАНДЮХ ЮРІЙ АНДРІЙОВИЧ



УДК 628.35:662.767.2

**УТИЛІЗАЦІЯ НАДЛИШКОВОЇ БІОМАСИ ГІДРОБІОНТІВ В ТЕХНОЛО-
ГІЯХ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів-2021

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

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Попович Василь Васильович,
Львівський державний університет безпеки жит-
тєдіяльності Державної служби України з над-
звичайних ситуацій, директор інституту
цивільної безпеки, м. Львів

доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу Міністерства освіти
і науки України, завідувач кафедри екології,
м. Івано-Франківськ

Захист відбудеться «13» травня 2021 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті «Львівська політехніка» за
адресою: 76013, м. Львів, Пл. Святого Юра, 3/4, ауд 115.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету
«Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1 та сайті
Національного університету «Львівська політехніка» за адресою
<https://lpnu.ua/spetsrady/k-3505222>

Автореферат розісланий « » квітня 2021 р.

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



В. В. Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією із 17 цілей прийнятої 25 вересня 2015 року главами держав та урядів на спеціальному саміті ООН програми «Трансформація нашого світу: Порядок денний для сталого розвитку на 2030 рік» є шоста ціль – «Чиста вода та належні санітарні умови». Програмою визначається досягнення необхідних показників та індикаторів для цієї цілі як однією із умов подальшого збалансованого розвитку людства. І в цьому ракурсі надзвичайно важливе значення має забезпечення належного стану водних ресурсів: попередження антропогенного забруднення гідросфери у всіх випадках, де це можливо; впровадження ефективних та екологічно безпечних технологій очищення стічних та поверхневих вод; мінімізація водоспоживання та раціональне використання водних ресурсів, впровадження замкнених систем водозабезпечення у промисловості, належного рівня охорони водних об'єктів. Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи і є одним із регіонів зі значним антропогенним навантаженням на водні джерела та нестачею достатньої кількості прісної води. Питне водопостачання України майже на 80% забезпечується поверхневими водами. Водночас більшість басейнів річок згідно із гігієнічною класифікацією водних об'єктів за ступенем забруднення, можна віднести до забруднених та дуже забруднених. Проте незважаючи на це, за останні роки склад очисних споруд та технології водоочищення фактично не змінились. Одним із перспективних напрямків впровадження інноваційних технологій водоочищення є використання біологічних методів. У цьому випадку в водне середовище не вноситься невластивих йому речовин, технологічні процеси імітують природні, ефективність протікання яких підсилена в десятки і сотні разів спеціальною організацією біологічних процесів. В ряді біологічних методів очищення стічних та поверхневих вод чільне місце займає запропонована професором Петром Гвоздяком концепція біологічного конвеєра, яка передбачає реалізацію процесів очищення на окремих ділянках, населених певними видами гідробіонтів, через, які послідовно перетікає забруднене водне середовище. Очищення відбувається за рахунок вилучення гідробіонтами із води забруднень і використанням їх у власному живильному циклі як елементів живлення. Проблемою залишається вилучення та раціональна утилізація нарощеної біомаси, чого не передбачає ця концепція. Адже без цього нарощена біомаса може неконтрольовано розкладатись, створюючи вторинне забруднення (як це спостерігається в процесах евтрофікації водойм) та загрозу екологічній безпеці акваторій. Тому вилучення надлишкової біомаси гідробіонтів із технологій очищення та раціональна її утилізація є актуальним завданням.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету «Львівська політехніка» «Природоохоронні технології з використанням природних дисперсних сорбентів та мінеральних добрив пролонгованої дії» та виконувалась згідно із тематикою науково-дослідної роботи кафедри «Очищення і утилізація змішаних стічних вод та забруднених водних середовищ біологічними, реагентними, коагуляційно-флотаційними, адсорбційними та фізичними методами» (номер державної реєстрації 0117U004017).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери застосуванням для очищення поверхневих та стічних вод методу розімкнутого біологічного конвеєра.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- запропонувати концепцію розімкнутого біологічного конвеєра із комплексною утилізацією нарощеної в процесі очищення водних середовищ біомаси;
- дослідити життєвий цикл гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра ;
- провести аналітичний огляд та встановити перспективу застосування різних видів гідробіонтів для очищення водних середовищ у технології розімкнутого біологічного конвеєра;
- дослідити оптимальні умови збору та концентрування нарощеної біомаси;
- визначити перспективні методи попередньої підготовки нарощеної біомаси гідробіонтів перед реалізацією процесу метаногенезу;
- дослідити вплив попередньої віброкавітаційної обробки на динаміку метаногенезу нарощеної біомаси різних видів гідробіонтів;
- дослідити вплив внесення затравки у сировинну суміш на динаміку метаногенезу нарощеної біомаси різних видів гідробіонтів;
- дослідити перспективність використання дигестату у агротехнологіях.

Об'єкт дослідження – процеси біологічного очищення стічних та поверхневих вод за методом біологічного конвеєра.

Предмет дослідження – утилізація нарощеної біомаси гідробіонтів в технології очищення стічних та поверхневих вод за методом біологічного конвеєра.

Методи досліджень включають в себе розроблені та апробовані методики експериментальних досліджень: для визначення елементного складу компонентів у дигестаті застосовувався рентгенофлуоресцентний аналіз, кінетика метаногенезу досліджувалась на спеціально сконструйованій установці, для дослідження ефективності утилізації дигестату використовувалась методика лабораторних агро-екологічних досліджень, попередня обробка біомаси гідробіонтів проводилась у віброкавітаційному полі, коагуляційно-флокуляційне концентрування ціанобактерій в суспенсії досліджувалось в гравітаційному полі. Коректність результатів підтверджувалась 4-х кратною повторюваністю експериментальних досліджень. Оцінку достовірності та інтерпретацію результатів проводили за допомогою математичного моделювання та статистичного аналізу. Для аналізу отриманих даних застосовувався програмний пакет microsoft office excel 2013.

Наукова новизна одержаних результатів. З ціллю підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери дисертантом отримані такі найбільш важливі наукові результати:

вперше:

- проведений аналіз стадій життєвого циклу гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра, що дало можливість забезпечити екологічну безпеку технології розімкнутого біологічного конвеєра внаслідок вилучення нарощеної біомаси;

- встановлені оптимальні умови коагуляційно-флокуляційного гравітаційного загущення суспензій мікроводоростей, що дозволило ефективно вилучати біомасу мікроводоростей із водного середовища із подальшим використанням її як сировини для виробництва біогазу;
- доведена експериментально ефективність проведення попередньої віброкавітаційної обробки біомаси гідробіонтів, що забезпечує додаткове розкриття поверхонь масообміну в безперервному потоці;
- встановлені оптимальні параметри внесення затравки в сировинну суміш та часу її попередньої обробки у віброкавітаційному полі для досягнення максимальної інтенсивності та продуктивності синтезованого біогазу.

отримали подальший розвиток:

- концепція очищення забруднених водних середовищ за методом біологічного конвеєра в результаті введення стадій вилучення та утилізації нарощеної біомаси.
- дослідження щодо використання дигестату в агротехнологіях.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз даних експериментальних досліджень дав змогу розробити та запропонувати для впровадження технологію очищення забруднених водних середовищ за методом розімкнутого біологічного конвеєра. На метод подано заявку на отримання патенту України. Результати досліджень передані в ТзОВ «ПАНСЕМАЛ» для використання у проєктній роботі, що підтверджується відповідним актом. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі для студентів спеціальності 101 – Екологія та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» в Національному університеті «Львівська політехніка», що підтверджується актом впровадження.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертації, розроблено методологію дослідження, проведено теоретичні та лабораторні дослідження, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано науково обґрунтовані висновки, підготовлено патент на корисну модель України. Постановка задач, розроблення методик дослідження процесів та технологій мінімізації екологічної небезпеки, обговорення поставлених задач проводились під керівництвом та за участю д.т.н., проф., Заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого, зав.кафедри екології та збалансованого природокористування та Івана Тимчука, к.с.-г.н., доцента кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка».

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на таких міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: III Студентський конгрес «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування» (21-22 квітня 2016 р. Львів); 6-ий Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (23-25 вересня 2020 р. Львів); 6-ий Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (09-10 лютого 2021 р. Львів); 1-а Міжнародна інтернет-конференція

«Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти» (25 лютого 2021 р. Харків).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 друкованих наукових праць, в тому числі 1 публікація у виданнях, що входять до наукометричних баз даних (Scopus), 4 статті у фахових виданнях із технічних наук, 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 136 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 35 рисунками, текст містить 11 таблиць, у бібліографії наведено 121 літературних джерел, дисертація містить 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність завдання, яке розв'язується у дисертаційній роботі, сформульовано мету та завдання дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації роботи.

Перший розділ присвячений аналізу науково-технічної літератури стосовно оцінки екологічної небезпеки від забруднення гідросфери. Зокрема проаналізовано відомі технології очищення стічних та поверхневих вод із використанням гідробіонтів із позицій критичного аналізу перспективності використання гідробіонтів різних видів у технологіях очищення стічних та поверхневих вод. Розглянуті особливості реалізації метаногенезу для утилізації рослинної сировини. Проаналізовані перспективні напрямки утилізації дигестату. На основі аналізу цієї інформації сформульовані цілі та завдання досліджень.

У другому розділі наведені характеристики об'єкту досліджень, методів та методик проведення експериментальних досліджень, описано експериментальні установки. Розроблена методика експериментальних досліджень концентрування мікродоростей для подальшої їх утилізації. Розроблені і апробовані 2 методики досліджень концентрування суспензії мікродоростей: дослідження концентрування мікродоростей за допомогою електричного струму та коагуляційно-флокуляційним методом. Сконструйована і змонтована лабораторна установка для віброкавітаційної обробки суспендованої біомаси гідробіонтів та розроблена методика дослідження попередньої обробки суспендованої біомаси у віброкавітаторі з ціллю збільшення поверхні масообміну. Сконструйована та змонтована установка для дослідження кінетики метаногенезу, розроблена методика дослідження особливостей синтезу біогазу із біомаси гідробіонтів на цій установці. Приведена методика дослідження елементного складу дигестату на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L. Розроблена методика дослідження якості ростового субстрату (біоіндикація) на основі дигестату.

У третьому розділі приводиться інформація щодо оцінки стадій життєвого циклу гідробіонтів в технологіях біологічного очищення поверхневих та стічних вод та аналізуються особливості очищення забруднених водних середовищ різними типами гідробіонтів. Нами удосконалена концепція застосування біологічного конвеєра для очищення забруднених водних середовищ, запропонована про-

фесором Петром Гвоздяком. Суть цієї концепції полягає в тому, що автори пропонують комбінувати у технології очищення ділянки, «заселені» різними видами гідробіонтів: анаеробними бактеріями, аеробними мікроорганізмами (зокрема копіотрофами, оліготрофами, найпростішими), фільтраторами, хижачками. Ці штучно створені біоценози моделюють довкілля аж до створення і функціонування трофічних ланцюгів: для різних видів гідробіонтів продуктами живлення стають і забруднення, і біомаса (тіла) організмів.

На нашу думку досягати такої глибини моделювання недоцільно із декількох причин:

1. Значну частину простору в пропонованій технології займають оліготрофи, головним завданням яких є утилізація надлишкової біомаси і які не беруть безпосередньої участі в очищенні забруднених водних середовищ – головній меті технології.
2. Надлишкова біомаса, яка є цінною сировиною для різних енергетичних та сільськогосподарських технологій, утилізується в самій технології очищення (ми вважаємо декларовану авторами перевагу – недоліком).
3. Ідея функціонування трофічних ланцюгів не охоплює фітозону, утилізація біомаси якої взагалі не розглядається.

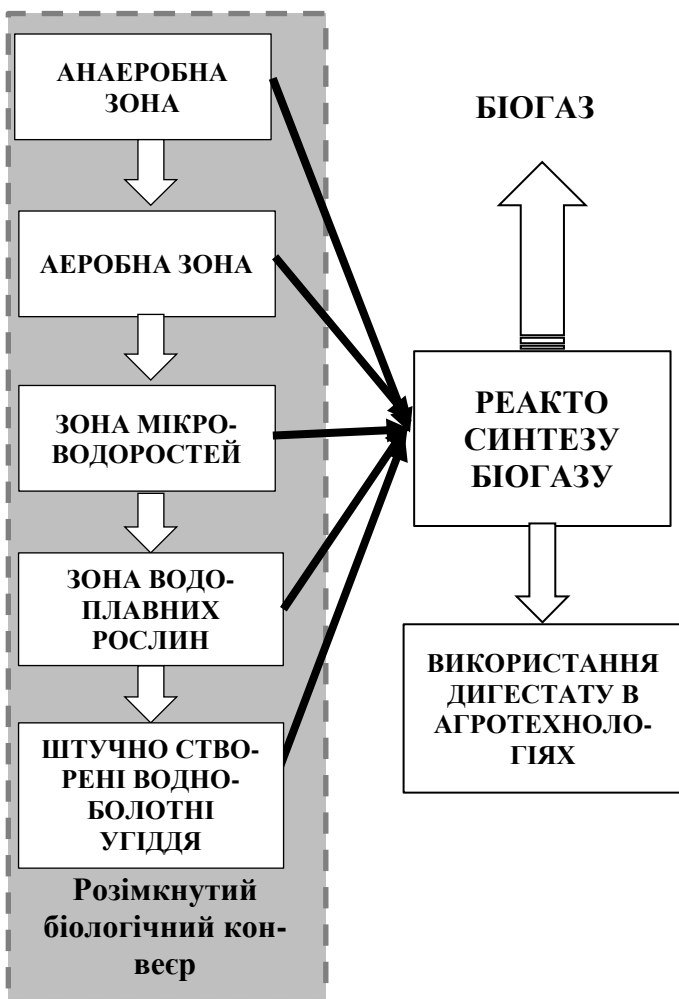


Рисунок 1 - Принципова схема розімкнутого біологічного конвеєра

Вказаних недоліків можна було б уникнути у випадку, коли б нарощена біомаса із всіх зон біологічного конвеєра (назвемо його «розімкнутим») не утилізувалась у трофічних ланцюгах, а вилучалась із системи очищення і використовувалась як сировина в енергетичних та сільськогосподарських технологіях (рис. 1). На такий спосіб подана заявка на отримання патенту України.

Суттю концепції розімкнутого біологічного конвеєра є відбір нарощеної надлишкової біомаси із всіх зон і передача її в реактор синтезу біогазу. Синтезований біогаз використовується в енергетичних цілях, а дигестат – в агротехнологіях. В практичній реалізації схеми кількість зон може бути зменшена, послідовність їх змінена – в залежності від конкретних умов реалізації очищення. Певну складність складає відбір біомаси, оскільки технологічні підходи відрізняються для кожної окремої зони.

Для дослідження особливостей реалізації окремих стадій необхідно провести оцінку життєвого циклу

гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра, схема якого приведена на рис.1. Схема життєвого циклу гідробіонтів у технології очищення стічних та поверхневих вод за методом розімкнутого біологічного конвеєра відображена на рис.2.

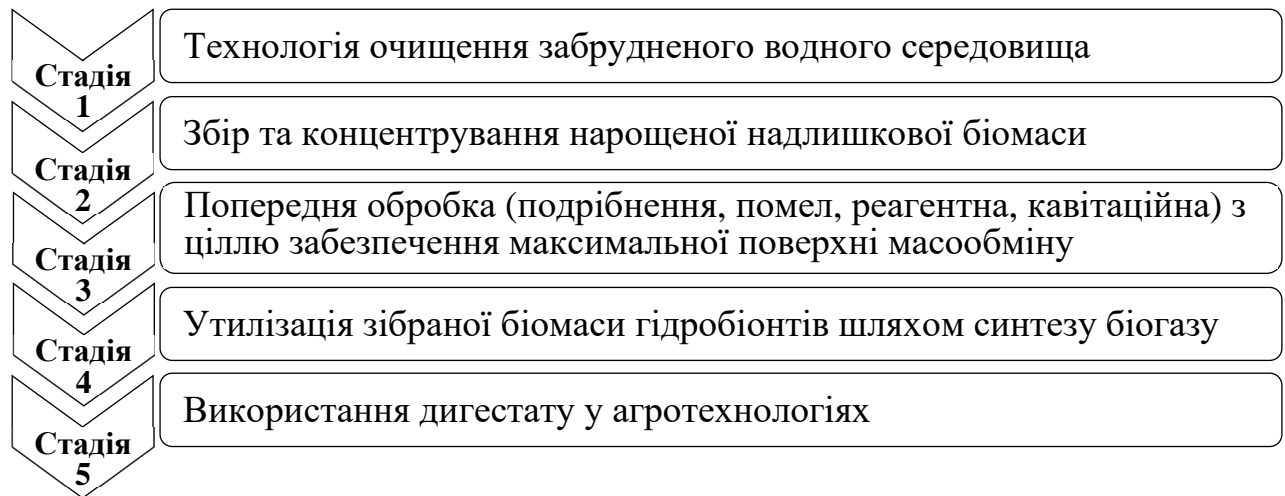


Рисунок 2 - Життєвий цикл гідробіонтів у технології очищення стічних та поверхневих вод за методом розімкнутого біологічного конвеєра

Проведений детальний аналіз перебігу всіх стадій життєвого циклу гідробіонтів у технології очищення стічних та поверхневих вод за методом розімкнутого біологічного конвеєра.

Проведений аналітичний огляд та встановлені перспективи застосування різних видів гідробіонтів (аеробного та анаеробного мікробіоценозу, мікро та макроводоростей, водоплавних рослин, штучно побудованих водно-болотних угідь) для очищення водних середовищ у технології розімкнутого біологічного конвеєра.

Четвертий розділ присвячений дослідженню оптимальних параметрів концентрування, попередньої кавітаційної обробки, біорозкладу біомаси гідробіонтів та утилізація дигестату. Досліджені оптимальні умови збору та концентрування нарощеної біомаси. Встановлено, що для збору біомаси водоплавних водних рослин, макроводоростей та водних рослин із розвинутою кореневою системою доцільно використовувати існуюче технологічне обладнання (спеціалізовані водні комбайни та плавучі косарки).

Промислові технології збору та концентрування мікроводоростей до цього часу не розроблені. Саме тому неконтрольований розвиток мікроводоростей в акваторіях рік за відсутності технологій вилучення їх біомаси спричиняє значну екологічну загрозу довкіллю в період їх відмирання та біорозкладу. Складність реалізації цих технологій обумовлюється дрібнодисперсним розміром мікроводоростей а також співрозмірністю їх густини із густиною води. Тому відділення їх можливе тільки за умов вилучення із місць концентрування в природних умовах за рахунок гідродинамічних умов водойм (із застійних зон, створених за рахунок відповідного рельєфу берегової лінії, облаштування гребель, верхніх б'єфів гідроелектростанцій). Подальше концентрування зібраної суспензії доцільно проводити в полі дії гравітаційних сил, перспективним може бути застосування коагуляційно-флотаційних методів концентрування суспензій мікроводоростей.

За переконаннями ряду дослідників перший етап концентрування доцільно реалізовувати або в стаціонарних умовах (стаціонарно обладнана в місцях концентрування ціанобактерій система переливних порогів, занурених викачувальних рукавів, «неводів» обладнаних викачувальними рукавами) або із використанням плавучих засобів (спеціально обладнаних суден, занурених барж).

На нашу думку на другому етапі доцільно використовувати реагентну обробку, яка дозволить досягти більшого ступеня концентрування. Концентрування доцільно проводити для дрібнодисперсних типів гідробіонтів (мікроводоростей), тому нами проводились дослідження концентрування ціанобактерії *Microcystis aeruginosa*. Для досліджень концентрування використовувалась суспензія із початковою концентрацією клітин мікроводоростей від 200 ppm до 1000 ppm (масових часток за сухою речовиною). Для перевірки способу концентрування водної суспензії синьо-зелених водоростей коагуляційно-флокуляційним методом використовувались промислові коагулянти та флокулянти виробництва компанії P.P.H.U. WĘGLO-STAL (Польща). Загалом пройшли випробування:

- полімер-алюмінієві коагулянти марок PAX-18 та PAX-XL19H;
- флокулянт марки A100.

У досліджувану суспензію добавлялись реагенти відповідного складу. Приймалась концепція використання реагентів у мінімально можливих концентраціях (з ціллю підвищення техніко-економічних показників концентрування). Масові концентрації коагулянтів PAX-18 і PAX-XL19H становили 10 ppm і 1 ppm, а концентрація флокулянта A100 10 ppm та 1 ppm за його використання без коагулянтів і лише 1 ppm при застосуванні разом із коагулянтами. Динаміку процесу концентрування суспензії *Microcystis aeruginosa* досліджували за початкової концентрації клітин за сухою речовиною $C_0=500$ ppm. Вміст сухої речовини у суспензії визначали за стандартним методом. Реагентний режим досліджень приведений у таблиці 1

Таблиця 1. – Умови проведення досліджень концентрування водної суспензії ціанобактерій коагуляційно – флокуляційним методом

Номер реагентного складу	Концентрація реагентів, ppm		
	PAX-18	PAX-XL19H	A100
1	-	-	-
2	10	-	-
3	1	-	-
4	-	10	-
5	-	1	-
6	-	-	10
7	-	-	1
8	10	-	-
9	-	10	1

Результати досліджень приведені на рис.3.

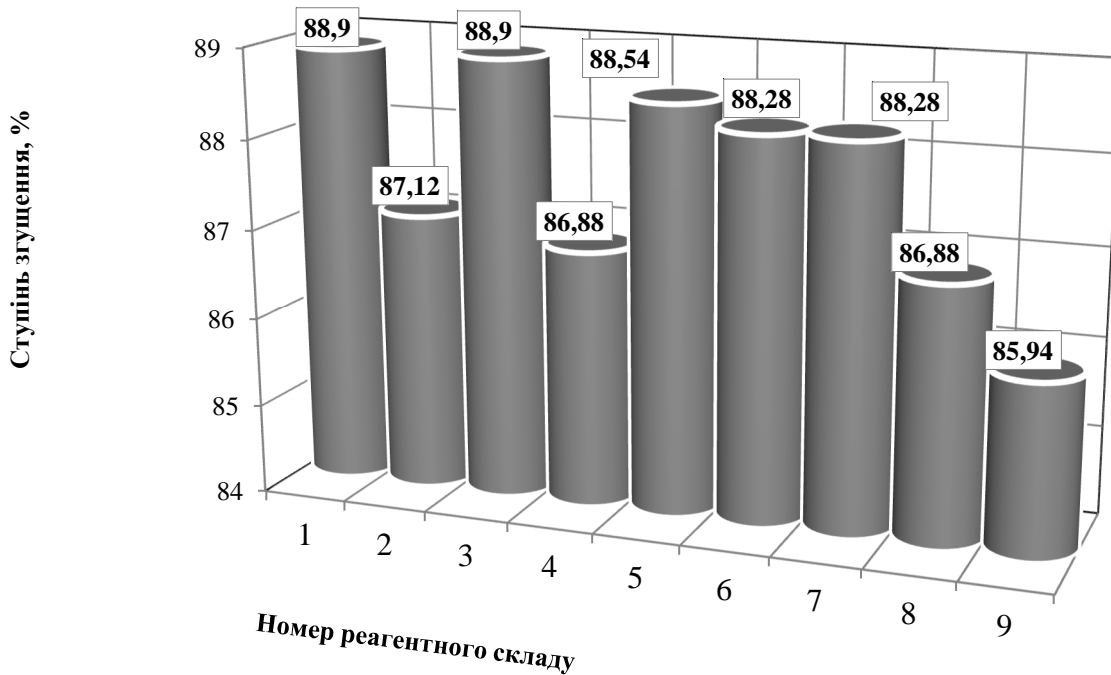


Рисунок 3 - Залежність ступеня згущення суспензії ціанобактерій від реагентного складу

Виходячи із проведеного аналізу (рис.3), оптимальні результати загущення (за співвідношенням ефект – затрати) отримано за умови спільного застосування коагулянтів та флокулянта А100. За масових концентрації коагулянтів РАХ-18 і РАХ-ХЛ19Н 10 ppm та концентрації флокулянта А100 1 ppm за час відстоювання 30 хв після обробки реагентами було досягнуто ефект загущення суспензій відповідно в 11,8 та в 10,4 рази по об'єму. Масова концентрація клітин *Microcystis aeruginosa* в осаді у результаті коагуляційно-флокуляційної обробки та осадження збільшилася порівняно із початковою відповідно у 9,6 та у 9,0 рази до значень 4800 ppm та 4500 ppm відповідно.

Як попередня обробка зібраної та сконцентрованої біомаси гідробіонтів в залежності від типу гідробіонтів, технології та умов подальшої утилізації, може використовуватись реагентна обробка, тонке подрібнення та помел, ультразвукова кавітація, гідродинамічна кавітація. Для кожного типу гідробіонтів доцільно застосовувати ті види попередньої обробки, які б давали найкращі результати у наступних процесах утилізації. Це вимагає окремих досліджень для кожного конкретного випадку. Слід зауважити, що для дрібнодисперсних гідробіонтів (ціанобактерії) тонке подрібнення та помел провести неможливо. Ефективним методом підготовки може бути тільки один із видів кавітації. Для інших гідробіонтів доцільною і обов'язковою стадією є подрібнення та помел. Але і після цієї стадії подрібнену біомасу доцільно обробити у кавітаційному полі з ціллю ще більш повного розкриття поверхонь масообміну, збільшення доступності біомаси до біорозкладу.

Нами запропоновано використовувати для попередньої обробки біомаси гідробіонтів віброкавітаційну обробку перевагою якої є спроможність до обробки

значних обсягів рідинних середовищ у неперервному їх потоці. Характерною особливістю віброрезонансних кавітаторів є збурення кавітаційного поля віброуючими деками по всьому поперечному перерізу протічної робочої камери. Дослідження на діючих експериментальних зразках віброрезонансних кавітаторів засвідчили їх придатність для якісної кавітаційної обробки водяних суспензій ціанобактерій з метою вивільнення їх внутріклітинного вмісту. На підставі цих даних із врахуванням специфіки кавітаційної обробки суспензій ціанобактерій було розроблено принципову схему промислового варіанту віброрезонансного кавітатора для гомогенізації біомаси ціанобактерій.

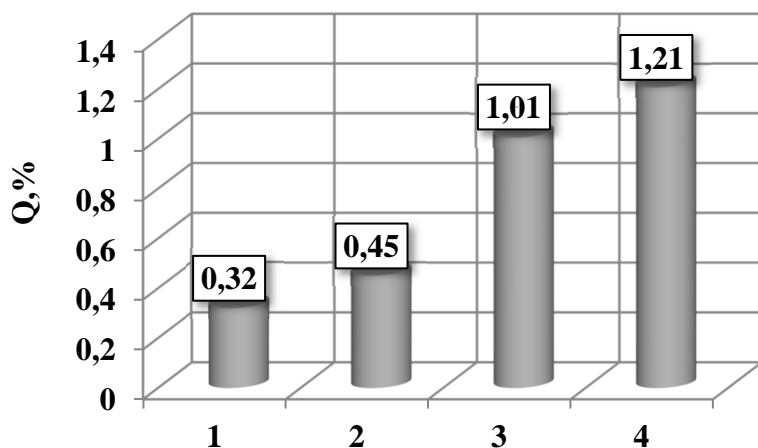


Рисунок 4 - Залежність кількості екстрагованих із ціанобактерій ліпідів (у % від сухої маси) від виду попередньої обробки біомаси: 1 – без обробки; 2 – після обробки в акустичному кавітаційному полі; 3 – після обробки в полі гідродинамічної кавітації; 4 – після віброкавітаційної обробки.

Нами проводилось порівняння ефективності різних видів попередньої обробки біомаси гідробіонтів, за критерій ефективності було обрана кількість екстрагованих ліпідів (Q, %). Результати досліджень приведені на рис.4.

Приведені дані свідчать, що перспективною для практичного використання може бути обробка у полі гідродинамічної кавітації, але найбільш перспективною є віброкавітаційна обробка. Технологічною перевагою такої обробки може бути можливість реалізації процесу обробки біомаси у – безперервному режимі в потоці.

Кінетика синтезу біогазу досліджувалась на спеціально сконструйованій установці (рис.5).

Складовою установки був сконструйований і виготовлений спеціальний термостат (ТСР-0105-ВМТ), в якому передбачалось автоматичне термостатування до 10 колб-реакторів, в яких проходив метаногенез, а також періодичне перемішування (із заданою періодичністю). Реактори закривались герметичними корками із газовідвідними трубками 2. Утворений біогаз збирався через систему газовідвідних трубок 2 у градуйовані колби 3, які були занурені у наповнені водою ванни 6. рН води підтримувався нижче 5. Оскільки за низьких рН неорганічний вуглець знаходиться у формі CO_2 , це дозволяло уникнути розчинення вуглекислого газу, присутнього у біогазі, у воді. Реактори обмотували чорним поліетиленом для недопущення потрапляння світла та поміщали у водяну баню 5, в якій підтримувалась температура $34\text{ }^\circ\text{C}$ (мезофільні умови) за допомогою терморегулятора 4.

Вміст реакторів перемішували впродовж 1 хв кожних 2 дні. Загальна тривалість досліджень склала 35 діб. Для оперативного контролю динаміки накопичення біогазу у градуйовальник колбах 3 використовувалась система відеоконтролю, яка

складалась із веб-камери 7, зображення із якої подавалось на монітор 8. Система дозволяла досягти безперервності контролю за кількістю утвореного біогазу.

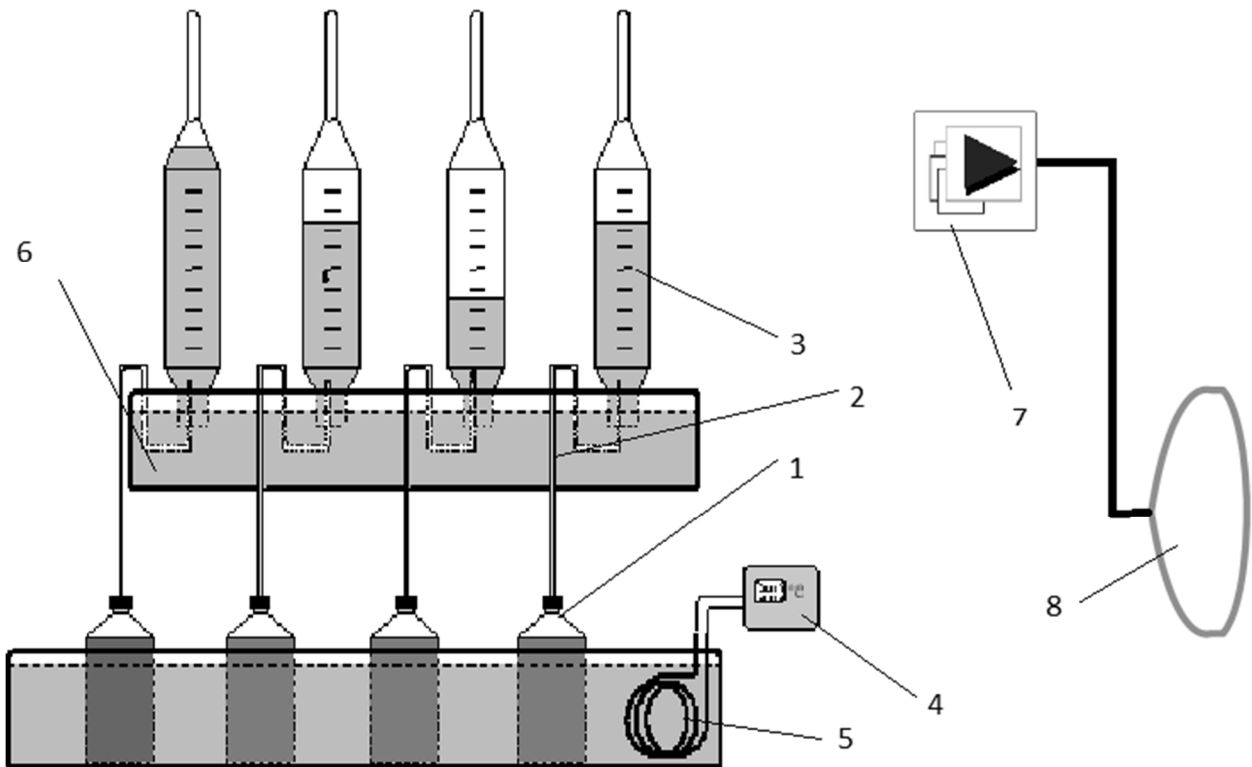


Рисунок 5 - Експериментальна установка дослідження процесу отримання біогазу: 1-колба-реактор; 2-газовідвідні трубки; 3-градуйовані колби; 4-система контролю температури; 5-водяна баня-термостат; 6-водяна ванна; 7-вебкамера; 8-комп'ютер.

Досліджувались вплив двох параметрів на кінетику метаногенезу:

1. Вплив попередньої віброкавітаційної обробки (яка була вибрана як найбільш перспективна, виходячи із результатів, приведених вище). Як сировина використовувалась біомаса ціанобактерій.
2. Вплив внесення в склад сировинної суміші затравки для зброджування (використовувався мул анаеробного зброджування стічних вод дріжджового виробництва ЗАТ «ЕНЗИМ»). Як сировина використовувались подрібнена і суспендована біомаса осоки.

У циклі досліджень щодо встановлення впливу на метаногенез попередньої віброкавітаційної обробки біомаси гідробіонтів на лабораторній моделі описаного вище віброкавітатора, який працював у періодичному режимі, проводилась попередня обробка суспензії ціанобактерій із ціллю руйнування клітинних стінок та вивільнення біомаси у простір доступності для реалізації в подальшому метаногенезу. Час кавітаційної обробки складав 5, 10 та 15 хв. Попередніми дослідженнями встановлено, що метаногенез у ціанобактеріях без будь-якої попередньої обробки біомаси проходить повільно і неефективно, кількість та інтенсивність отриманого біогазу не дозволяє рекомендувати таку технологію для промислового впровадження. Обробка біомаси більше 15 хв. також неефективна, оскільки не дивлячись

на збільшення підводу енергії досягти подальшого збільшення ефективності чи інтенсивності метаногенезу не вдавалось. Після віброкавітаційної обробки проба використовувалась в подальшому для дослідження ефективності синтезу біогазу. Результати досліджень динаміки синтезу біогазу із біомаси ціанобактерій представлені на рис.6.

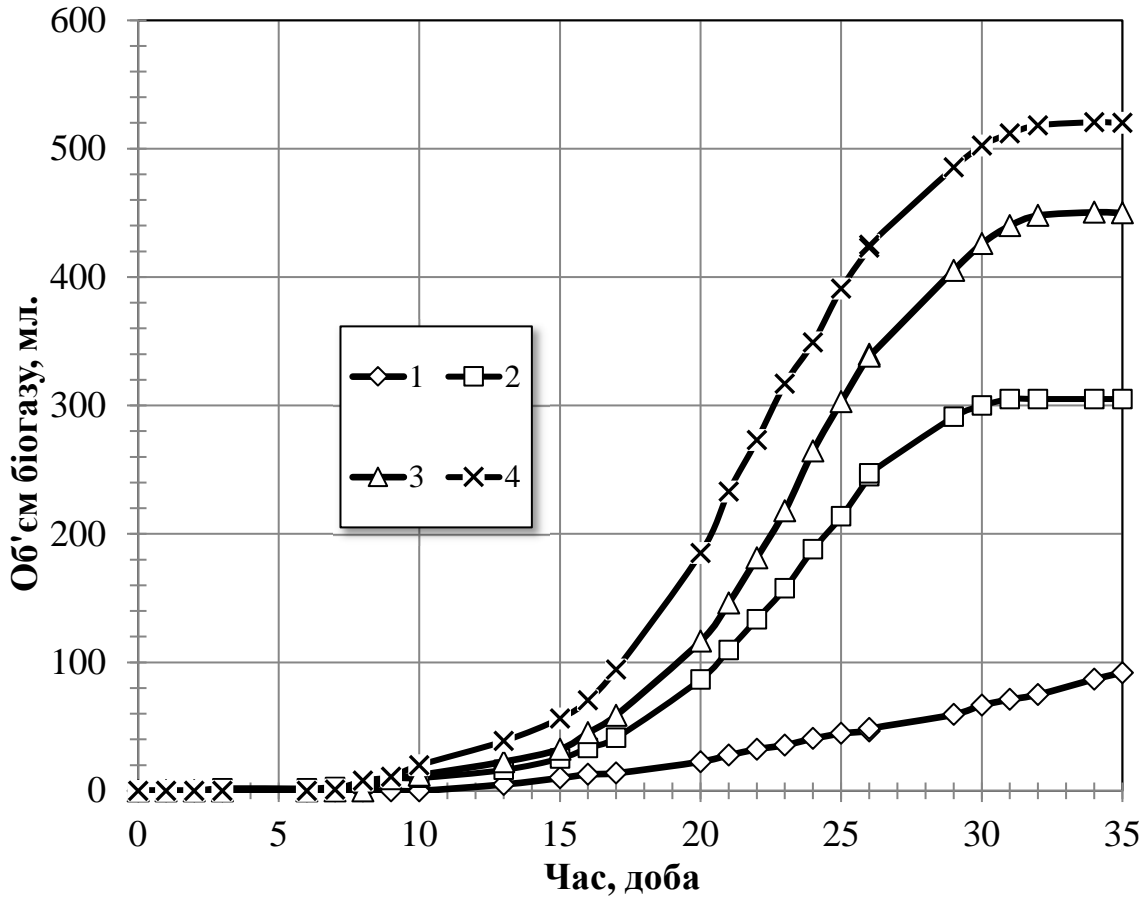


Рисунок 6 – Динаміка біорозкладу біомаси ціанобактерій та активного мулу в мезофільних умовах в залежності від тривалості попередньої віброкавітаційної обробки (1 – активний мул; 2, 3 4 – суспензія ціанобактерій, тривалість віброкавітаційної обробки якої складає відповідно 5, 10 та 15 хвилин).

Як видно із цих даних, у випадку біорозкладу активного мулу без добавок ціанобактерій, із великою часткою ймовірності можна прийняти, що процес виділення біогазу відбувається із постійною швидкістю. У випадку ж виділення біогазу в процесі біорозкладу біомаси ціанобактерій (після обробки в віброкавітаційному полі) криві динаміки виділення біогазу мають S - подібну форму. Це підтверджує, що процес носить автокаталітичний характер і може бути описаний рівнянням Міхаеліса – Ментена.

Ціллю подальших досліджень буде встановлення оптимальних умов реалізації процесу за різних умов його реалізації. В результаті будуть визначені кінетичні константи, значення яких необхідні для розрахунку реальних процесів. Результати, приведені на рис.6, свідчать, що віброкавітаційна обробка дозволяє значно збільшити інтенсивність синтезу біогазу, а також збільшити об'єм його утворення. Так, із збільшенням часу віброкавітаційної обробки відповідно від 5 до 10, а потім до 15 хв., кількість синтезованого біогазу відповідно збільшилась у 1,5 і 1,7 рази.

У дослідженнях впливу на метаногенез внесення затравки в склад біомаси гідробіонтів перед метаногенезом, як затравка використовувався мул анаеробного зброджування стічних вод дріжджового виробництва ЗАТ «ЕНЗИМ». Результати досліджень приведені на рис.7.

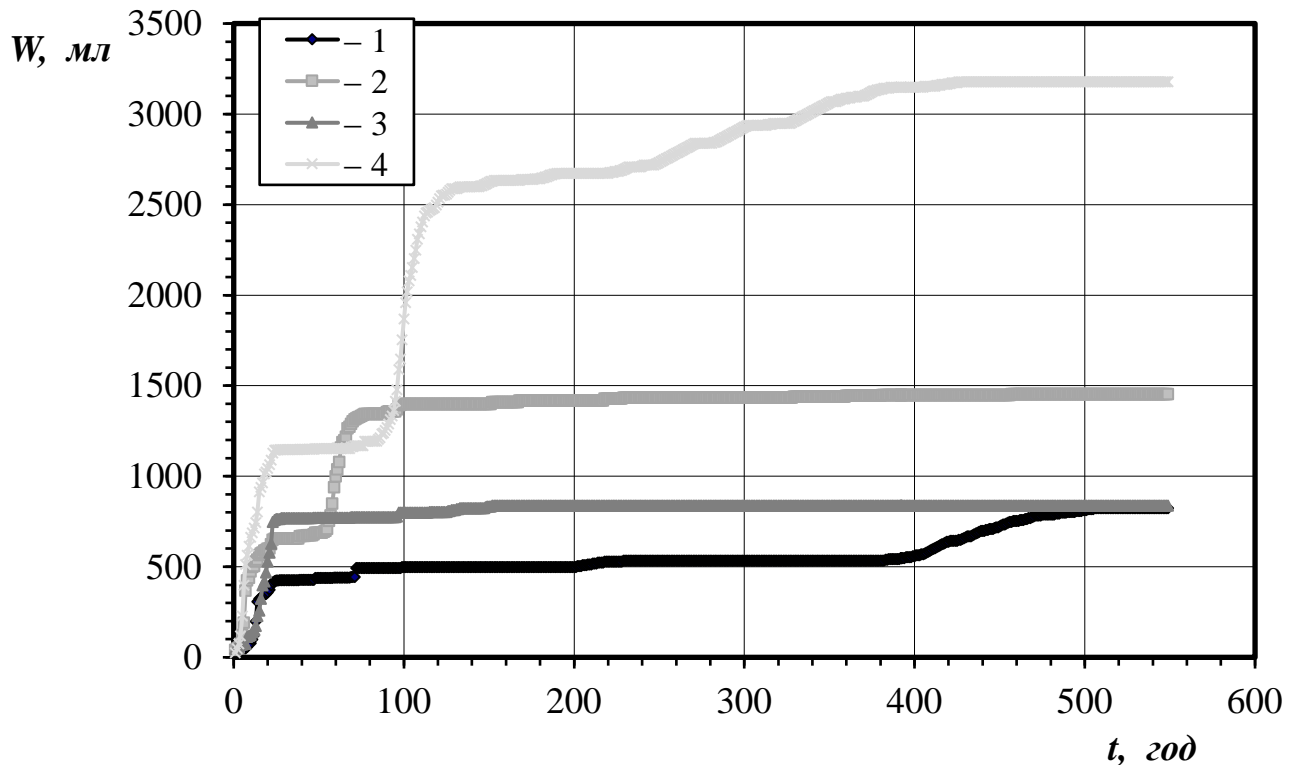


Рисунок 7 - Інтегральні криві сумарного виходу біогазу: 1 – масова частка сухої речовини $CP_c=0,05$; масова частка "затравки" $X_E=0,05$; 2 – $CP_c=0,05$; $X_E=0,2$; 3 – $CP_c=0,1$; $X_E=0,05$; 4 – $CP_c=0,1$; $X_E=0,2$.

Як видно із рис.7, на всіх кривих спостерігається у більшій чи в меншій мірі виражена «площадка». На нашу думку її поява пов'язана із переходом процесу бродіння із проходженням біохімічних реакцій на основі внесеної затравки в процес бродіння із використанням індукованих у результаті розвитку автокаталітичного процесу власних центрів розвитку біохімічних реакцій (на той час затравка вичерпується, про що і свідчить поява плато).

Таким чином аналіз результатів досліджень дозволяє стверджувати про перспективність внесення затравки в процес синтезу біогазу, яка збільшує як швидкість метаногенезу, так і загальну кількість синтезованого біогазу (для випадку $CP_c=0,1$; $X_E=0,2$ у 3,92 рази в порівнянні із випадком $CP_c=0,05$; $X_E=0,05$).

Предметом дослідження можливості комплексного використання зібраної біомаси гідробіонтів були дослідження утилізації отриманих в результаті метаногенезу органічних відходів – дигестату. Для досліджень використовувався дигестат – залишок від біорозкладу подрібненої і суспендованої біомаси осоки, яка досліджувалась на предмет впливу добавлення затравки в склад сировинної суміші на кінетику метаногенезу. Першочерговим етапом дослідження було визначення кількості небезпечних сполук, а особливо вмісту важких металів, які можуть бути

лімітуючим чинником для використання цього виду відходів як органічного добрива чи добавки для ростового субстрату. Також паралельно визначали основний вміст макро- та мікроелементів у дигестаті. Дослідження проводили на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L. Проведено перерахунок вмісту основних компонентів дигестату із лімітуючим вмістом важких металів та небезпечних сполук у сировині для виробництва добрив, які визначаються діючими в Україні ТУ У 24.1-14005076-065-2003 «Закордонні фосфорити». Дані порівняння приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння вимог до вмісту важких металів та небезпечних сполук у сировині для виробництва добрив згідно ТУ У 24.1-14005076-065-2003 «Закордонні фосфорити» із елементним складом висушеного дигестату

№ п/п	Вимоги згідно ТУ У 24.1-14005076-065-200				Вміст в біомасі
	Назва показників і одиниця вимірювання	Норма для марок			
		А	Б	В	
1.	Масова частка кадмію, мг/кг, не більше	18	18	18	Не знайдено
2.	Масова частка свинцю, мг/кг, не більше	15	15	15	Не знайдено
3.	Масова частка арсену, мг/кг, не більше	12	12	12	Не знайдено

Наведені дані свідчать, що ні одного із елементів, вміст яких у сировині для виробництва добрив лімітований (кадмію, свинцю та арсену) в дигестаті не знайдено. Найбільший вміст у відпрацьованій біомасі кальцію і значний вміст сірки (ці елементи є олігоелементами, необхідними для збалансованого живлення рослин), внесення яких в складі добрив доцільне, значний вміст фосфору і калію – основних біогенних елементів живлення рослин (за вмістом вони знаходяться на рівні кращих сортів мінеральних добрив), а також мікроелементів заліза і марганцю, які є необхідними для збалансованого розвитку багатьох культурних рослин.

Одним із основних завдань для використання дигестату як добрива є виділення зайвої вологи, оскільки дослідження показали, що в різних варіантах відпрацьованої сировини міститься значна кількість вологи 95-98 %. З ціллю забезпечення можливості внесення більшої кількості дигестату і запобігання перезволоженню та заболоченню ґрунту необхідно виділити частину зайвої вологи, це здійснювалось механічним методом за допомогою центрифуги ОПн-8 (тривалістю 2хв за кількості обертів 5000 об/хв.), щоб виключити можливий вплив флокулянтів на подальші результати біоіндикаційних досліджень. Усереднені результати виділення зайвої вологи представлені на рис. 8.

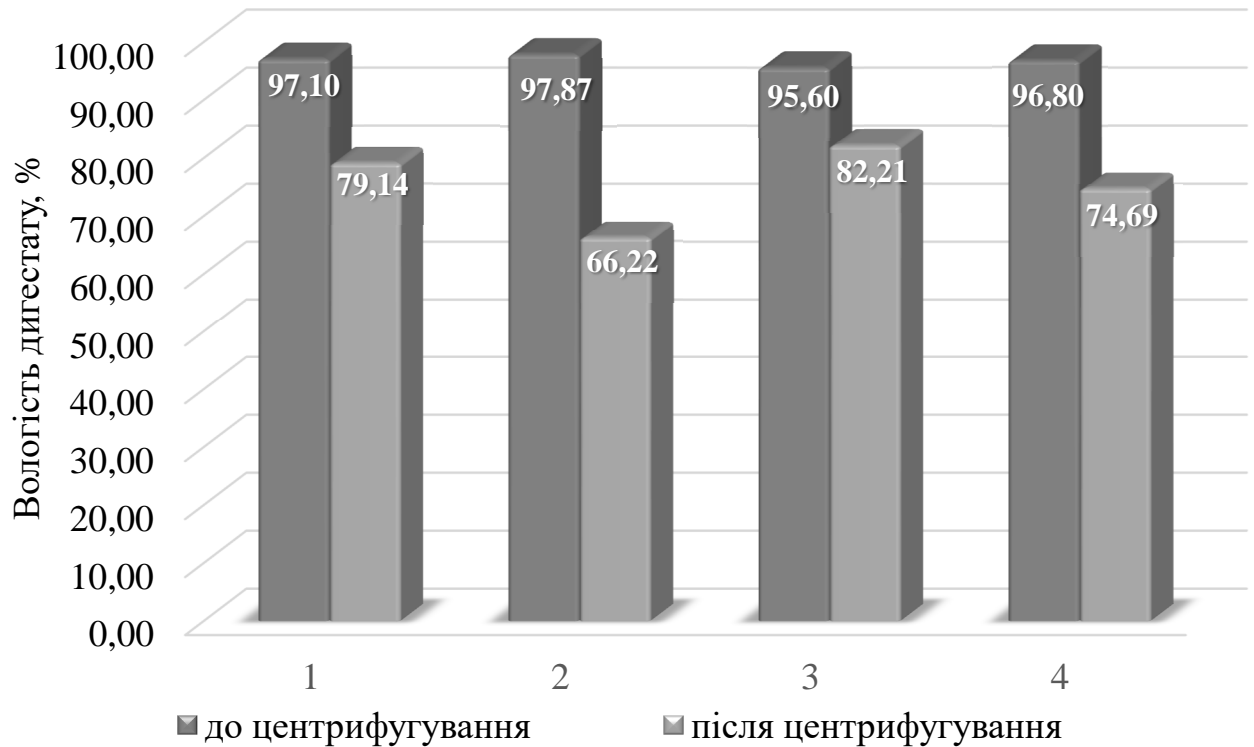


Рисунок 8 – Вологість дигестату до і після центрифугування: 1 – масова частка сухої речовини $CP_c=0,05$; масова частка "затравки" $X_E=0,05$; 2 – $CP_c=0,05$; $X_E=0,2$; 3 – $CP_c=0,1$; $X_E=0,05$; 4 – $CP_c=0,1$; $X_E=0,2$.

Виділення зайвої вологи допомогли знизити вологість дигестату перед біоіндикаційними дослідженнями для першого зразка на 17,96 %, для другого на 31,65 %, для третього на 13,39 %, а для четвертого на 22,11 %. В цьому випадку також спостерігається така залежність: у зразках із більшим вмістом закваски у сировинній суміші волога виділялася значно краще ніж у зразках з меншим вмістом. Так в другому зразку виділилося на 1,76 рази більше вологи ніж першому, а в четвертому зразку виділилося на 1,65 рази більше вологи ніж третьому.

На етапі дослідження впливу дигестату на схожість культурних рослин визначали можливість впливу дигестату на схожість досліджуваних культур.

Для визначення відбиралося по 100 насінин райграсу (*Lolium perenne*) та ячменю звичайного (*Hordeum vulgare*), поміщали в чашки Петрі на різні субстрати за такою схемою:

1. КС – контроль на стерильному середовищі (дистильована вода на фільтрувальному папері), $m=25$ г;
2. К – контроль на ґрунті (темно-сірий опідзолений ґрунт), $m=25$ г;
3. Д 10 % – дигестат 10 % (суміш темно-сірого опідзоленого ґрунту та дигестату, 90:10), $m=25$ г;
4. Д 20 % – дигестат 20 % (суміш темно-сірого опідзоленого ґрунту та дигестату, 80:20), $m=25$ г.

Дані дослідження дали змогу встановити вплив дигестату на проростання насіння культурних рослин відсіявши всі зовнішні фактори навколишнього середовища, освітлення, температуру та вологість. На рис. 9 і 10 зображено загальний вигляд досліджуваних варіантів на 7 день досліджень. Всі варіанти містили по три повторення, для забезпечення чистоти проведення досліджень та мінімізації похибок.

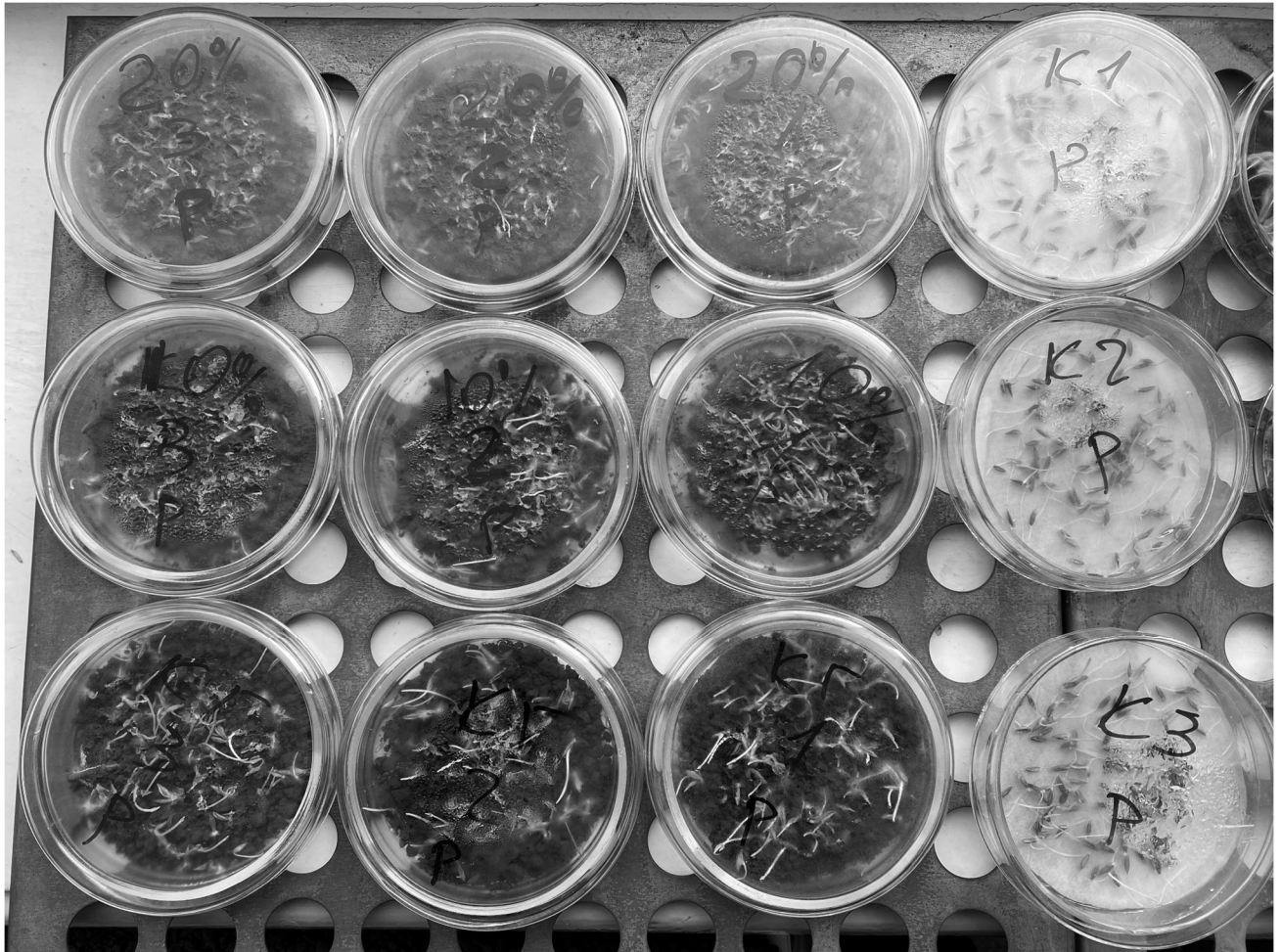


Рисунок 9 – Загальний вигляд досліджуваних варіантів випробовуваних сумішей з райграсом (*Lolium perenne*) на 7-й день досліджень.

Усереднені результати проведеного дослідження представлені на рис. 11. Як ми можемо побачити схожість в усіх досліджуваних варіантах була досить хорошою і становила 87-93 %, райграс в загальному показав кращий відсоток схожості рослин (91-93 %), проте на ячмені краще видно позитивний вплив дигестату на схожість культурних рослин. Отже, найкраща схожість двох культур було відмічена на варіанті з вмістом дигестату 20%, для райграсу вона становила 93,33 % (на 1,67 % більше від контролю, та 0,33 % більше від стерильного контролю), для ячменю звичайного – 91,33 % (на 4,00 % більше від контролю, та 0,67 % більше від стерильного контролю).



Рисунок 10 – Загальний вигляд досліджуваних варіантів випробовуваних сумішей з ячменем звичайним (*Hordeum vulgare*) на 7-й день досліджень.

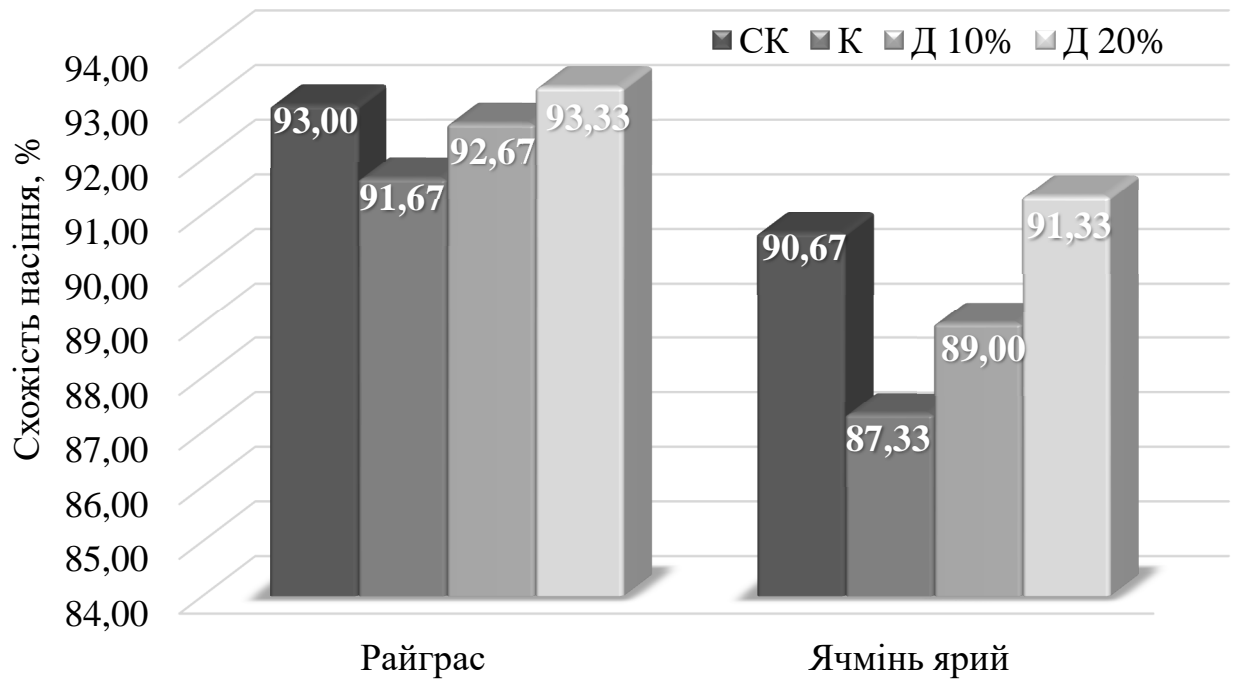


Рисунок 11 – Вплив дигестату на схожість культурних рослин.

Підсумовуючи дані досліджень всіх варіантів із дигестатом можна зробити висновок, що обнадійливі результати попередніх досліджень дають підставу планувати використання їх в подальших дослідженнях.

Окремо досліджувалась можливість використання біомаси гідробіонтів в агротехнологіях без проходження процесу метаногенезу. Для цього спеціально було закладено окремий дослід із різною кількістю біомаси: від 20 до 50 % необробленої біомаси та відповідно 80 і 50% темно-сірого опідзоленого ґрунту. Результати дослідження були однозначними – проростання культурних рослин не відбувалося на жодному із досліджуваних варіантів. На всіх варіантах досліджень, окрім контролю, спостерігалось загнивання насіння і розвиток грибкової флори. Це свідчить про неперспективність використання біомаси гідробіонтів у агротехнологіях, не піддаючи її метаногенезу.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що виявляється в підвищенні рівня екологічної безпеки гідросфери в результаті застосування для очищення поверхневих та стічних вод методу розімкнутого біологічного конвеєра. В результаті узагальнення даних дисертаційних досліджень отримані такі найбільш вагомні результати.

1. Запропоновано концепцію розімкнутого біологічного конвеєра, яка відрізняється від відомої збором, концентруванням та виведенням із системи очищення нарощеної в результаті очищення водних середовищ біомаси із подальшою її комплексною утилізацією.
2. Досліджено життєвий цикл гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра, в якому виділено 5 стадій: технологія очищення забрудненого водного середовища; збір та концентрування нарощеної надлишкової біомаси; попередня обробка (подрібнення, помел, реагентна, кавітаційна) з ціллю забезпечення максимальної поверхні масообміну; утилізація зібраної біомаси гідробіонтів шляхом синтезу біогазу; використання дигестату у агротехнологіях.
3. Проведений аналітичний огляд та встановлені перспективи застосування різних видів гідробіонтів (аеробного та анаеробного мікробіоценозу, мікро та макроводоростей, водоплавних рослин, штучно побудованих водно-болотних угідь) для очищення водних середовищ у технології розімкнутого біологічного конвеєра;
4. Досліджені оптимальні умови збору та концентрування нарощеної біомаси. Встановлено, що для збору біомаси водоплавних водних рослин, макроводоростей та водних рослини із розвинутою кореневою системою доцільно використовувати існуюче технологічне обладнання (спеціалізовані водні комбайни та плавучі косарки).
5. У лабораторних умовах підтверджено високу ефективність методу коагуляційно-флокуляційного гравітаційного загущення суспензій прісноводних мікроводоростей виду *Microcystis aeruginosa*. Найбільше загущення за найкоротший проміжок часу отримано за умов спільного застосування коагулянта PAX-18 або PAX-XL19H разом з флокулянтом марки A100. За початкової концентрації клітин *Microcystis aeruginosa* (за сухою речовиною) 500 ppm, масовій кон-

центрації коагулянтів PAX-18 і PAX-XL19H 10 ppm та концентрації флокулянта A100 1 ppm за час відстоювання 30 хв після обробки реагентами було досягнуто ефект загушення суспензій відповідно в 11,8 та в 10,4 рази по об'єму. Масова концентрація клітин *Microcystis aeruginosa* в осаді у результаті коагуляційно-флокуляційної обробки та осадження збільшилася порівняно із початковою відповідно у 9,6 та у 9,0 рази до значень 4800 ppm та 4500 ppm відповідно.

6. Встановлено, що з ціллю розкриття поверхонь масообміну для проходження біохімічних реакцій доцільно проводити попередню обробку біомаси гідробіонтів у полі гідродинамічної кавітації, але найбільш перспективною є віброкавітаційна обробка. Технологічною перевагою такої обробки є можливість реалізації процесу обробки біомаси у безперервному режимі в потоці.
7. Результати досліджень впливу на метаногенез попередньої віброкавітаційної обробки біомаси гідробіонтів свідчать, що віброкавітаційна обробка дозволяє значно збільшити інтенсивність синтезу біогазу а також збільшити об'єм його утворення. Так, із збільшенням часу віброкавітаційної обробки відповідно від 5 до 10, а потім до 15 хв., кількість синтезованого біогазу відповідно збільшилась у 1,5 і 1,7 рази.
8. Аналіз результатів досліджень впливу на метаногенез внесення затравки в склад біомаси гідробіонтів перед метаногенезом дозволяє стверджувати про перспективність такого підходу, в результаті якого збільшується як швидкість метаногенезу, так і загальна кількість синтезованого біогазу (для випадку $CP_c=0,1$; $X_E=0,2$ у 3,92 рази в порівнянні із випадком $CP_c=0,05$; $X_E=0,05$).
9. Результати проведених біоіндикаційних досліджень показали, що недоцільно використовувати свіжу біомасу як добриво: вона створює інгібуючий вплив і не дає змоги розвиватися рослинам, проте дослідження щодо використання відпрацьованої біомаси (дигестату) засвідчили, що в усіх досліджуваних варіантах із вмістом дигестату спостерігався позитивний вплив на проростання культурних рослин в порівнянні із контролем та стерильним контролем. У цьому випадку лімітуючим фактором використання дигестату може бути тільки значна його вологість (95-98 %), що потребує попереднього зневоднення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, які індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus:

1. Malovanyu M., Zhuk V., Nykyforov V., Bordun I., **Balandiukh Iu.**, Leskiv G. Experimental investigation of *Microcystis aeruginosa* cyanobacteria thickening to obtain a biomass for the energy production/ Journal of water and land development. 43 (X–XII), 2019, P.113–119 <https://doi.org/0.2478/jwld-2019-0069>

Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень загушення суспензії ціанобактерій.

2. Malovanyu M., Tymchuk I., **Balandiukh Iu.**, Solovi Kh., Zhuk V., Kopyu M., Stokalyuk O., Petrushka K. Optimum collection and concentration strategies of hydrobionts excess biomass in biological surface water purifying technologies/ Environmental Problems. V.6, №1. P.40-47. <https://doi.org/10.23939/ep2021.01.040>

Особистий внесок – аналіз системи збору гідробіонтів різних типів .

3. Афтаназів І.С., **Баландюх Ю.А.**, Мальований М.С, Тимчук І.С., Жук В.М., Копій М.Л. Вплив віброкавітаційної обробки суспензії ціанобактерій на інтенсивність синтезу біогазу /Науковий вісник НЛТУ. Т.31, №1. 2021 С.99-104. <https://doi.org/10.36930/40310117>

Особистий внесок – дослідження впливу віброкавітаційної обробки на ефективність метаногенезу.

4. **Баландюх Ю.А.**, Мальований М.С., Тимчук І.С., Жук В.М., Копій М.Л. Збір та концентрування гідробіонтів в технології очищення поверхневих та стічних вод методом розімкнутого біологічного конвеєра/Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вип.4 (127), 2021. С.32-38. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.1.32-38>.

Особистий внесок – встановлення кінетики згушення суспензії ціанобактерій за різного реагентного складу коагулянтів та флокулянтів.

5. Мальований М.С., Афтаназів І.С., Тимчук І.С., **Баландюх Ю.А.**, Жук В.М., Копій М.Л. Оцінка стадій життєвого циклу гідробіонтів в технологіях очищення поверхневих та стічних вод/Екологічні науки. Вип.55, 2020. С.23-28. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.3>.

Особистий внесок – аналіз стадій життєвого циклу гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра.

Матеріали конференцій:

6. Богачевська Ю.І. Особливості метагенезу в процесі синтезу біогазу із рослинної сировини /Ю.І.Богачевська, **Ю.А.Баландюх**, М.С.Мальований// Матеріали III Студентського конгресу «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування.» - Львів: НУ «Львівська політехніка», 2016. – С. 14-16.

Особистий внесок – аналіз теоретичних механізмів метаногенезу.

7. **Баландюх Ю.А.** Розвиток відновлювальних джерел енергії – шлях до енергетичної незалежності України /Ю.А.Баландюх, В.Р. Боднар, М.С.Мальований// Матеріали III Студентського конгресу «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування.» - Львів: НУ «Львівська політехніка», 2016. – С. 17-18.

Особистий внесок – аналіз вкладу біогазових технологій в загальний баланс використання відновлювальних джерел енергії.

8. **Баландюх Ю.** Перспективи застосування гідробіонтів в технологіях очищення стічних та поверхневих вод// Збірник матеріалів 6-го Міжнародного конгресу “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” – Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 189.

Особистий внесок – аналіз перспективності використання гідробіонтів різних типів в технології розімкнутого біологічного конвеєра .

9. **Баландюх Ю.А.** Дослідження оптимальних умов синтезу біогазу із біомаси гідробіонтів / О.І. Коновалов, Ю.А. Баландюх, М.С. Мальований // Збірник матеріалів 6-го Міжнародного молодіжного конгресу “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” – Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 101.

Особистий внесок – узагальнення даних щодо оптимальних режимів синтезу біогазу із біомаси гідробіонтів.

10. Баландюх Ю.А., Мальований М.С., Тимчук І.С. Практична підготовка фахівців у галузі екологічної безпеки на прикладі дослідження утилізації біомаси гідробіонтів шляхом синтезу біогазу//Матеріали 1-ї Міжнародної інтернет-конференції «Екологічна безпека - сучасні напрямки та перспективи вищої освіти». Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С.12

Особистий внесок – оцінка екологічної небезпеки від неконтрольованого біорозкладу біомаси гідробіонтів.

АНОТАЦІЯ

Баландюх Ю.А. Утилізація надлишкової біомаси гідробіонтів в технологіях біологічного очищення поверхневих вод. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерство освіти і науки України, Львів, 2021.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки гідросфери застосуванням для очищення поверхневих та стічних вод методу розімкнутого біологічного конвеєра.

Проведений аналіз недоліків концепції біологічного конвеєра для очищення поверхневих та стічних вод, яких можна уникнути коли б нарощена біомаса із всіх зон біологічного біоконвеєра не утилізувалась у трофічних ланцюгах, а вилучалась із системи очищення і використовувалась як сировина в енергетичних та сільськогосподарських технологіях. Проведений аналіз життєвого циклу гідробіонтів в технології розімкнутого біологічного конвеєра очищення забруднених водних середовищ. Приведений опис особливостей та закономірностей реалізації кожної із цих стадій. Проведений детальний аналіз особливостей використання різних видів гідробіонтів у технології очищення за методом розімкнутого біологічного конвеєра.

Детально досліджено стадію збору та концентрування нарощеної надлишкової біомаси гідробіонтів. Аналіз технологічних підходів для збору біомаси водоплавних водних рослин та макроводоростей та збору біомаси водних рослин із розвинутою кореневою системою засвідчив, що раціональним є використання для цих операцій існуючого технологічного обладнання: спеціалізованих водних комбайнів та плавучих косарок.

У лабораторних умовах підтверджено високу ефективність методу коагуляційно-флокуляційного гравітаційного загущення суспензій прісноводних мікроводоростей виду *Microcystis aeruginosa*. Визначено оптимальні концентрації реагентів при коагуляційно-флокуляційному загущенні мікроводоростей виду *Microcystis aeruginosa* у лабораторних умовах. Найбільше загущення за найкоротший проміжок часу отримано за умов спільного застосування коагулянта РАХ-18

або PAX-XL19H разом з флокулянтом марки А100. За початкової концентрації клітин *Microcystis aeruginosa* (за сухою речовиною) 500 ppm, масовій концентрації коагулянтів PAX-18 і PAX-XL19H 10 ppm та концентрації флокулянта А100 1 ppm за час відстоювання 30 хв після обробки реагентами було досягнуто ефект загущення суспензій відповідно в 11,8 та в 10,4 рази по об'єму. Масова концентрація клітин *Microcystis aeruginosa* в осаді у результаті коагуляційно-флокуляційної обробки та осадження збільшилася порівняно з початковою відповідно у 9,6 та у 9,0 рази до значень 4800 ppm та 4500 ppm відповідно.

Встановлено, що з ціллю розкриття поверхонь масообміну для проходження біохімічних реакцій доцільно проводити попередню обробку біомаси гідробіонтів. Перспективною для практичного використання може бути обробка у полі гідродинамічної кавітації, але найбільш перспективною є віброкавітаційна обробка. Технологічною перевагою такої обробки може бути можливість реалізації процесу обробки біомаси у безперервному режимі в потоці.

Результати досліджень впливу на метаногенез попередньої віброкавітаційної обробки біомаси гідробіонтів свідчать, що віброкавітаційна обробка дозволяє значно збільшити інтенсивність синтезу біогазу, а також збільшити об'єм його утворення. Так, із збільшенням часу віброкавітаційної обробки відповідно від 5 до 10, а потім до 15 хв., кількість синтезованого біогазу відповідно збільшилась у 1,5 і 1,7 рази.

Аналіз результатів досліджень впливу на метаногенез внесення затравки в склад біомаси гідробіонтів перед метаногенезом дозволяє стверджувати про перспективність такого підходу, в результаті якого збільшується як швидкість метаногенезу, так і загальна кількість синтезованого біогазу (для випадку $CP_c=0,1$; $X_E=0,2$ у 3,92 рази в порівнянні із випадком $CP_c=0,05$; $X_E=0,05$).

Проведені біоіндикаційні дослідження, які показали, що недоцільно використовувати свіжу біомасу як добриво: вона створює інгібуючий вплив і не дає змоги розвиватися рослинам, проте дослідження щодо використання відпрацьованої біомаси (дигестату) засвідчили, що в усіх досліджуваних варіантах із вмістом дигестату спостерігався позитивний вплив на проростання культурних рослин в порівнянні із контролем та стерильним контролем. У цьому випадку лімітуючим фактором використання дигестату може бути тільки значна його вологість (95-98 %), що потребує попереднього зневоднення.

Ключові слова: життєвий цикл, розімкнутий біологічний конвеєр, збір, концентрування, віброкавітація, метаногенез, біогаз, дигестат.

ABSTRACT

Balandyukh Iu.A. Utilization of Excess Biomass of Aquatic Organisms in Technologies of Biological Surface Water Treatment. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for a scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) in a specialty 21.06.01 "Ecological Safety". - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021

The thesis is devoted to the research of subtericone wastewater from waste heaps of coal mines of Novovolynsk mining district, analysis of the system of measures to increase the ecological safety of the mining complex to the environment.

Establishment of the levels of environmental hazard of wastewater from coal mine dumps, the study of the seasonal dynamics of heavy metals of wastewater from waste heaps, design and calculation of the bio-plateau enable the introduction of the latest forms of wastewater treatment from coal mine dumps and improve environmental safety.

As a result of the conducted research of water samples, an increase in the content of ammonium salts was recorded.

It is known that the main danger of pollution of the hydrosphere with ammonium salts is the super-saturation of water with ammonia. The content of ammonium salts above 0.1 mg / dm³ indicates freshwater pollution because ammonia is the first compound formed during the decomposition of organic nitrogen-containing substances. Simultaneous content of ammonia, nitrites, nitrates, sulfates and bicarbonates in water samples indicates significant contamination of subterranean wastewater due to oxidation of the rock in the dump and its leaching by water. An increase in the content of nitrites and nitrates in water samples without the detection of ammonia indicates the isolation of the source of contamination. Analyzing the state of the ecological situation as a result of wastewater spillage from technological dumps of mines № 2, 4 and 9 of Novovolynsk mining district, it should be noted that currently, storm sewerage in the studied mines is absent, so rainwater from the surfaces of waste heaps and industrial sites runs spontaneously on the ground and concentrates in mineral salts. It is known that the mines of this area are characterized by significant inflows into the main and preparatory mine workings, so the effluents formed around the perimeter of the existing dumps are collected in drainage ditches.

The causes and consequences of the growth of the level of ecological danger in mining complexes are identified; seasonal dynamics of the content of chemicals in subterranean wastewater from mine heaps is determined; content of heavy metals in wastewater and vegetation is identified; scientifically substantiated calculation of biological ponds for wastewater treatment and measures to overcome the negative impact of man-made wastewater pollution on biota are proposed; the analysis of the quality of water bodies of the studied region with the help of the GIS project "Open Environment", was carried out. The geoinformation interactive map is built on the basis of statistical data of the State Agency of Water Resources of Ukraine and data of satellite observations. Water quality indicators confirm the fact that along with wind erosion of waste heaps which were studied in a large number of scientific papers, the issue of water erosion of waste heaps which leads to leaching of toxic pollutants and soil and groundwater pollution is acute. Pollution spreads with subterranean waters over long distances in the surrounding areas, in particular to the surface waters of the Western Bug River basin.

Keywords: life cycle, open biological conveyor, collection, concentration, vibrocavitation, methanogenesis, biogas, digestate.

Підписано до друку 07.04.2021 р.
Формат 60×84/16.
Папір друкарський. Ум. друк. арк. 0,9.
Зам. № 42. Наклад 100 пр.

Видавництво «ПАІС»
Реєстраційне свідоцтво ДК № 3173 від 23 квітня 2008 р.
вул. Гребінки 5, оф. 1, м. Львів, 79007
тел.: (032) 255-49-00, (032) 261-24-15
e-mail: pais.druk@gmail.com; <http://www.pais.com.ua>