

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора кафедри технології
захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Челядина Любомира Івановича

на дисертаційну роботу

Мандрик Соломії Тарасівни

**“ Підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом
знешкодження техногенного забруднення біологічним методом”**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань *10 “Природничі науки”*

за спеціальністю *101 “Екологія”*

Актуальність теми дисертації

Антропоєкосистеми на сьогоднішній день є осередками з підвищеним вмістом промислових забруднювачів інгредієнтного та параметричного характеру . Це забруднення в першу чергу стосується атмосфери (першого її шару – тропосфери), або іншими словами атмосферного повітря. Критичний стан атмосфери на даний час є топовою проблемою людства. Промислові газові викиди, як інгредієнтні забрудники та електромагнітне короткохвильове випромінювання як параметричне забруднення атмосфери викликають глибоке занепокоєння екологічної спільноти . Дуже важливо знайти шляхи подолання цієї проблеми. Міжнародні угоди, такі як Паризька угода (підписана 196 сторонами), яку ратифікувала Верховна Рада України та кліматична конференція ООН (Конференція сторін, COP 26) у Глазго (2021), підкреслюють значення антропогенної зміни клімату, як реальної глобальної соціальної проблеми. У вирішенні цієї проблеми все більшої популярності набирають біологічні методи очищення та знешкодження викидів парникових газів без подальшої шкоди довкіллю.

Одним із таких методів є очищення промислових газових викидів за участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Основною перевагою мікроводоростей *Chlorella vulgaris* над наземними рослинами є те, що вони здатні поглинати в десятки разів більше парникових газів і краще адаптуються до несприятливих умов середовища. Після очищення промислових газових викидів, накопичену біомасу мікроводоростей можна переробити у біопаливо, що теж є дуже важливим чинником при виборі саме культури мікроводоростей. В результаті ми створюємо умови кругообігу основних біогенних елементів у штучних, напівпромислових умовах, тим самим запобігаємо додатковому використанню викопного палива, спалювання якого є основним джерелом парникових газів. Досліджуваний в дисертаційній роботі метод поглинання парникових газів та використання отриманих продуктів, підвищує рівень екологічної безпеки антропоєкосистем.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукові результати, основні положення та висновки дисертації ґрунтуються на численних та детальних лабораторних дослідженнях, проведених із використанням сучасних методик. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів, висновків та рекомендацій підтверджуються широким оприлюдненням даних на наукових конференціях та в рецензованих журналах. Ці дані знаходяться у повній відповідності до сучасних теоретичних положень у галузі очищення промислових газових викидів біологічним методом, що свідчить про їхню актуальність та наукову цінність. Ретельний аналіз експериментальних даних та їхня узгодженість з існуючими теоріями забезпечують високу надійність та практичну значущість представлених у дисертації результатів.

Наукова новизна результатів дисертації у наступних положеннях.

Вперше запропоновано математичний опис поглинання парникових газів мікроводоростями *Chlorella vulgaris* за присутності певних значень

концентрацій активаторів та інгібітора поглинання вуглекислого газу та отримано його аналітичне рішення.

Встановлено оптимальне значення енергії мікрохвильового електромагнітного опромінення (MEM) мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, що забезпечує максимальне поглинання парникових газів.

Отримано кількісне співвідношення концентрацій ($N_xO_y : P_2O_5 : SO_2$) за яких поглинання вуглекислого газу та приріст біомаси мікроводоростей є максимальним.

Встановлено значення концентрацій сірководню H_2S та аміаку NH_3 за яких значення коефіцієнту приросту мікроводоростей має оптимальне значення.

Розроблено метод очищення промислових газових викидів від парникових газів із залученням MEM опромінення та участі мікроводоростей *Chlorella vulgaris* з подальшою переробкою використаної біомаси у біопаливо.

Таким чином, наукові результати дисертації мають високий рівень обґрунтованості та достовірності, що підтверджено численними експериментами та сучасними методами аналізу. Новизна результатів забезпечує вагомий внесок у розвиток методів очищення промислових газових викидів, що є актуальним для екологічної безпеки та стійкого розвитку. Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертаційна робота здобувача Мандрик Соломії Тарасівни повністю відповідає науковому напрямку кафедри “Екологія та збалансоване природокористування” Національного університету “Львівська політехніка”: «Розроблення інженерних методів захисту довкілля для забезпечення збалансованого розвитку суспільств», а також в межах науково-дослідної роботи кафедри – «Застосування одноклітинних хлорофілсинтезуючих мікроводоростей у природоохоронних технологіях», № державної реєстрації – 0123V101710.

Аналіз звіту про подібність, отриманого після перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, підтверджує, що дисертація Мандрик Соломії Тарасівни є результатом її самостійних досліджень. Робота не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи несанкціонованих запозичень. Використані в роботі ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела, що підтверджує високу академічну доброчесність здобувача.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Усі розділи роботи викладені у доступній та зрозумілій формі з використанням загальноприйнятої термінології, яка відповідає тематиці дослідження. Автор дотримується всіх вимог нормативних документів щодо оформлення дисертації.

Дисертація Мандрик С.Т. складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел який включає 156 найменувань і додатків. Робота викладена на 187 сторінках основного тексту, містить 45 рисунки, 21 таблицю і додатки на 3 сторінках.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження та визначено наукову новизну і практичне значення роботи.

У *першому* розділі проведено літературний огляд загальної характеристики мікроводоростей *Chlorella vulgaris*, їх застосування для поглинання парникових газів та електромагнітного випромінювання та подальше використання біомаси мікроводоростей.

У *другому* розділі приведено методики та описано використані методи експериментальних досліджень, що застосовувались для досягнення поставленої мети дисертаційного дослідження.

У *третьому* розділі вивченню вплив електромагнітного випромінювання на приріст біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris*.

У *четвертому* розділі вивченню кінетику приросту мікроводоростей при поглинанні парникових газів, а саме оксидів нітрогену N_xO_y , оксиду фосфору

P_2O_5 та діоксину сульфуру SO_2 . Також представлено математичне моделювання приросту біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* за встановлених сумарних значень концентрацій SO_2 , N_xO_y і P_2O_5 .

У *п'ятому* розділі розроблено технологію поглинання вуглекислого газу за присутності інших парникових газів із залученням мікроводоростей *Chlorella vulgaris*. Вивчено можливість застосування біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* як біопалива та застосування біомаси мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для очищення стічних вод.

Висновки за результатами виконання дисертації підтверджують наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано результати наукових досліджень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

За темою дисертації опубліковано наступні наукові праці:

- 17 статей у наукових фахових виданнях України, та тих, що включені до наукометричних баз даних, зокрема 3, що належать до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 10 наукових статей у фахових виданнях України, 4 розділи у монографіях.
- 10 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях та матеріалів конференцій.

Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, включав отримання експериментальних результатів, аналіз літератури, спільний аналіз отриманих даних та оформлення робіт. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю відображені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Опис загальновідомої методики визначення рН, а також фотографії ФКК не треба включати у текст дисертації.
2. Висновки у розділі 2(1-4) рекомендую оформляти у стверджувальній формі наступним чином, наприклад п.4. – Методологія розрахунку швидкості фіксації CO_2 є простою і ефективною та забезпечує високу 99,5 достовірність отриманого результату визначення.
3. Висновки у розділі 4 вказують на виконані дослідження, а наприклад п.3 написати «Оптимальне співвідношення концентрацій за яких приріст біомаси мікроводоростей буде максимальним становить $1_{\text{N}_x\text{O}_y} : 2_{\text{P}_2\text{O}_5} : 3_{\text{SO}_2}$ – цифри уточнити.
4. Загальний висновок п. 8, варто уточнити – для якого типу і з якими забруднення у стічних водах мікроводорості *Chlorella* можна застосовувати.
5. У тексті зустрічаються деякі не якісні речення – «Як видно з таблиці...», с.36 – «Ці реакції...», с. 136 «Також слід звернути...», с. 150 «Слід підкреслити...» та описки.
6. У змісті п. 4.5.4 «Розрахунок швидкості фіксації вуглецю (CO_2) чи (карбону (IV)оксиду, а в тексті?
7. У змісті і тексті варто замінити слова «вивчення» на «дослідження», а «застосування» на «апробаційні дослідження».

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії **Мандрик Соломії Тарасівни** на тему «Підвищення рівня екологічної безпеки антропоєкосистем шляхом знешкодження техногенного забруднення біологічним методом» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням,

сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань *10 Природничі науки*. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач **Мандрик Соломія Тарасівна** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань *10 Природничі науки* за спеціальністю *101 Екологія*.

Офіційний опонент:

Професор кафедри технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, д.т.н., проф.

 Любомир ЧЕЛЯДИН

Підпис проф. Челядина Л.І.

«засвідчую»

Вчений секретар

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу



 Володимир Хомин