

ВІДГУК

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора кафедри екології та
збалансованого природокористування

Сабадаш Віри Василівни

на дисертаційну роботу

Соколової Таїсії Ігорівни

**“УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ
ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ”**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 “Природничі науки”

за спеціальністю 101 “Екологія”

1. Актуальність теми дисертації

Сучасна готельно-ресторанна індустрія, що стрімко розвивається в умовах зростання туристичної привабливості, урбанізації та зміни споживчих звичок, є одним із найбільших генераторів харчових відходів у секторі обслуговування. Щорічно у закладах громадського харчування утворюється значна кількість харчових відходів, які за відсутності ефективних технологій переробки потрапляють на полігони твердих побутових відходів, спричиняючи забруднення довкілля, утворення парникових газів та втрати біоресурсів. Це суперечить принципам сталого розвитку, циркулярної економіки та сучасним екологічним вимогам до функціонування підприємств HoReCa.

У цьому контексті особливої актуальності набуває розробка та впровадження удосконалених біотехнологічних рішень для ефективної утилізації та повторного використання харчових відходів без шкоди для навколишнього середовища. Біотехнології переробки, зокрема із застосуванням мікроорганізмів, ферментативних процесів або анаеробного зброджування, дають змогу не лише зменшити обсяг відходів, а й отримувати вторинні ресурси — біогаз, добрива, кормові добавки, що підвищує економічну ефективність функціонування готельно-ресторанного комплексу.

Проте на сьогодні існує потреба в удосконаленні технологічних схем, адаптації біотехнологічних процесів до специфіки органічного складу харчових відходів саме готельно-ресторанного сектору, а також у впровадженні енергоефективних і економічно доцільних рішень. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення біотехнологій переробки харчових відходів у даному секторі, є своєчасними, соціально та екологічно значущими, а також мають прикладне значення для розбудови інноваційної інфраструктури сталого управління відходами.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та запропоновані у дисертації ідеї є науковими й теоретично обґрунтованими.

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри “Екологічної безпеки та природоохоронної діяльності” Національного університету “Львівська політехніка” та науковому напрямку кафедри «Екологічної безпеки та природоохоронної діяльності» Національного університету «Львівська політехніка», а саме: «... розроблення нових методів і засобів екологічного експрес-контролю продукції та компонентів навколишнього природного середовища; екологічно безпечні природоохоронні технології з використанням мінерально-сировинної бази України; технології екосистемної адаптації до зміни клімату».

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 212 сторінок машинописного тексту. Матеріал проілюстровано 48 рисунками, що відображають ключові етапи дослідження, експериментальні результати та технологічні схеми. Текст супроводжується 40 таблицями, які узагальнюють числові дані, аналітичні показники та порівняльні характеристики. Бібліографічний список включає 158 найменувань вітчизняних і зарубіжних джерел. До дисертації долучено три додатки.

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 наукових джерел, патентів та досліджень показав, що сьогодні людство стикається з серйозними проблемами — зростаючим дефіцитом енергії та їжі, глобальним потеплінням і необхідністю ефективного використання харчових відходів. З'ясовано, що харчові відходи, які утворюються в готельно-ресторанному бізнесі, часто не переробляються належним чином і стають джерелом забруднення довкілля. Також було проаналізовано вплив харчових відходів на зміну клімату. Встановлено, що в процесі розкладання органіки викидаються парникові гази, зокрема метан і вуглекислий газ, які сприяють глобальному потеплінню.

У другому розділі представлено опис матеріалів і методичних підходів, використаних для виконання комплексного дослідження, спрямованого на оцінку ефективності переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування з подальшим отриманням біогазу.

На першому етапі було розроблено програму дослідження, що охоплює теоретичні основи, постановку мети та завдань, оцінку впливу готельно-ресторанного господарства на довкілля, а також обґрунтування доцільності переробки кавової гущі у біочар — продукт із доданою вартістю, який виступає як активний інтенсифікатор метанового бродіння. Для екологічного аналізу використовували метод балансових схем та матриці Леопольда, які дозволяють здійснити якісну і кількісну оцінку екологічних наслідків господарської діяльності. Описано методику отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі за допомогою термічного та мікрохвильового піролізу. Досліджено фізико-хімічні властивості біочару та вихідної сировини, зокрема біополімерний та гранулометричний склад, сорбційну здатність, катіонний обмін, а також проведено ІЧ-спектроскопію та термогравіметричний аналіз для вивчення термостійкості та складу отриманих матеріалів. Далі викладено підходи до підготовки харчових відходів до анаеробного зброджування, встановлення умов мезофільного та термофільного режимів, контроль параметрів процесу (рН,

ХСК, $\text{NH}_4^+\text{-N}$), а також методики визначення кількісного та якісного складу отриманого біогазу.

У третьому розділі представлено комплексну оцінку життєвого циклу продукції готельно-ресторанного господарства та впливу його діяльності на довкілля. Проаналізовано життєвий цикл підприємства з використанням методів балансових схем, що дало змогу відобразити енерго- та ресурсоспоживання на різних етапах функціонування комплексу. Застосовано метод релевантних таблиць (матриць Леопольда), за допомогою якого проведено якісно-кількісний аналіз екологічного впливу кожного з процесів життєвого циклу. Висвітлено заходи щодо впровадження екотехнологій та проведено експериментальну оцінку екологічних аспектів діяльності готельно-ресторанного комплексу. Показано можливості зниження антропогенного навантаження шляхом оптимізації процесів і впровадження інноваційних підходів до поводження з відходами.

У Розділі 4 представлено результати досліджень, присвячених удосконаленню процесів анаеробного зброджування харчових відходів шляхом використання біочару з відпрацьованої кавової гущі як інтенсифікатора. Детально описано методи отримання біочару за допомогою термічного та мікрохвильового піролізу, а також проаналізовано його фізико-хімічні властивості (гранульований склад, сорбційні, кислотно-основні, іонообмінні характеристики). Проведено серію експериментів для оцінки ефективності біочару в умовах мезофільного та термофільного зброджування, зокрема щодо виробництва метану, зміни рН, ХСК, накопичення аміаку та летких жирних кислот. Отримані результати підтвердили позитивний вплив біочару на стабільність та результативність процесу зброджування.

У Розділі 5 викладено напрями удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу з використанням біочару з кавової гущі. Розроблено оптимізовану технологію отримання біочару та впроваджено її у процес анаеробного зброджування як інтенсифікатора. Запропоновано технологічні рішення, що сприяють підвищенню ефективності біогазового виробництва. Проведено детальний економічний аналіз, який

включає розрахунок інвестиційних витрат, товарообігу, валового доходу та операційних витрат, а також оцінку інвестиційної привабливості проєкту.

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

Список використаних джерел містить 158 посилань на праці зарубіжних та вітчизняних вчених за темою дисертації.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

3. Наукова новизна результатів дослідження

Наукова новизна одержаних результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні та практичній розробці ефективної біотехнологічної стратегії з удосконалення процесів переробки харчових відходів, утворених у готельно-ресторанному господарстві. Запропонована технологія базується на анаеробному зброджуванні з використанням як функціональної добавки біочару, синтезованого з відпрацьованої кавової гущі за допомогою мікрохвильового піролізу. Застосування даного підходу дозволяє не лише зменшити обсяг накопичення органічних відходів, але й отримати вторинну продукцію з високою доданою вартістю — біогаз, біочар та біогумус, які можуть бути використані у внутрішніх виробничих процесах або реалізовані як самостійні товари.

Основні результати, що підтверджують наукову новизну:

Вперше:

- Науково обґрунтовано та комплексно досліджено вплив готельно-ресторанних комплексів на забруднення довкілля в результаті генерації широкого спектра забруднюючих речовин, що були ідентифіковані в процесі аналізу життєвого циклу продукції ГРК.
- Обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість використання харчових відходів готельно-ресторанного сектору як сировини для виробництва біочару з відпрацьованої кавової гущі, шляхом як традиційного термічного, так і інноваційного мікрохвильового піролізу.

- Встановлено екологічну та економічну доцільність використання мікрохвильового опромінення для синтезу біочару, що забезпечує зменшення енерговитрат, пришвидшення процесу та зниження рівня накопичення відходів кавової гущі.
- Обґрунтовано ефективність використання біочару у складі субстрату для анаеробного зброджування в мезофільному та термофільному температурному діапазонах. Досліджено вплив біочару на параметри процесу зброджування, зокрема на підвищення виходу біогазу, прискорення реакційного процесу та збільшення частки метану у біогазі до понад 80%.

Подальший розвиток отримали дослідження:

- Біотехнологічних підходів до переробки харчових відходів готельно-ресторанного сектору;
- Фізико-хімічних та адсорбційних властивостей біочару, отриманого з відпрацьованої кавової гущі шляхом мікрохвильового піролізу;
- Характеристик та потенціалу застосування вторинних продуктів (біогазу та біогумусу), отриманих у процесі анаеробного зброджування з додаванням біочару.

4. Значущість результатів дослідження для науки і практики

Науково-практичне значення отриманих результатів полягає в розробці ефективних технологічних рішень щодо переробки харчових відходів у готельно-ресторанних комплексах із застосуванням анаеробного зброджування у поєднанні з додаванням біочару, отриманого з відпрацьованої кавової гущі шляхом мікрохвильового піролізу. Проведений аналіз результатів експериментальних досліджень дав змогу сформулювати технологічні схеми, придатні до практичного впровадження у сфері поводження з органічними відходами.

Запропоновані рішення спрямовані на зменшення екологічного навантаження, підвищення енергоефективності виробничих процесів та одержання корисних вторинних продуктів (біогазу, біочару, біогумусу).

Отримані науково-практичні напрацювання можуть бути використані:

- підприємствами готельно-ресторанного господарства з метою оптимізації поводження з харчовими відходами;
- органами державної влади, виконавчими структурами та органами місцевого самоврядування під час розробки екологічної політики та регіональних програм у сфері поводження з біовідходами;
- комерційними та приватними компаніями, що спеціалізуються на переробці органічних відходів;
- у процесі професійної підготовки фахівців, зокрема в рамках навчальних курсів і дисциплін, пов'язаних з екотехнологіями, сталим розвитком, відновлюваною енергетикою та управлінням відходами.

5. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях

Основні результати дослідження опубліковано у 26 наукових працях, з них: 1 стаття у наукових журналах, що входять до бази даних Scopus ; 2 статті у наукових фахових виданнях України, та 22 тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях та конгресах.

6. Мова та стиль дисертаційної роботи

Дисертація написана зрозуміло, доступно, на належному технічному рівні з використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 101 “Екологія”, галузі знань 10 “Природничі науки”.

7. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. У тексті опис результатів потенціометричного титрування (зокрема таблиця 4.11 та фрагмент із групами, що мають здатність до обміну аніонів) містить недостатньо чітке пояснення щодо одиниць виміру для значень pK_a , pK_b і вмісту груп — зокрема, поєднання значень у мекв/г із кислотно-основними константами (pK_a/pK_b) може викликати плутанину, оскільки pK_a та pK_b є безрозмірними величинами, а не вимірюються в мекв/г.
2. У розділі 4.2.1. часто повторюється фраза «кумулятивне утворення метану в результаті анаеробного зброджування...», що створює враження одноманітності та ускладнює сприйняття тексту.

3. У тексті неузгоджено вживаються терміни «біопаливо», «біочар» і «біовугілля» як синоніми. Це може вводити в оману, оскільки з наукової точки зору ці поняття не є тотожними.
4. У завершенні розділу подано результати, але бракує критичної інтерпретації отриманих даних у контексті попередніх досліджень або потенційної практичної значущості.
5. На рис. 4.6 та 4.8 відмічаються дуже різкі коливання значень. Необхідно пояснити причину таких коливань та вказати похибки отриманих значень.
6. Диференційна крива титрування повинна бути представлена як функція $\Delta pH \Delta V = f(V)$, проте в роботі криві титрування представлено як функцію $pH = f(V)$
7. В назві рис. 4.17 присутній коментар до рисунка.

8. Загальний висновок

Приведені вище зауваження не впливають на обґрунтованість наукових положень та висновків дисертації і не принижують наукової новизни одержаних результатів. Дисертація Соколової Т.І. є завершеною науковою роботою, основні положення якої не викликають заперечень. Вважаю що після внесення необхідних змін та коригування згідно зауважень семінару робота може бути представлена до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 екологія.

Рецензент

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри екології та
збалансованого природокористування
Національного університету
“Львівська політехніка”

Віра

Віра САБАДАШ

