

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СОКОЛОВА ТАЇСІЯ ІГОРІВНА

УДК: 628.4.032:602.4:[66.098.4:663.9]

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ
ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО
КОМПЛЕКСУ

183 – Технологія захисту навколишнього середовища

18 – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ / Т. І. Соколова/

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Крусір Галина Всеволодівна, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Петрушка Ігор Михайлович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Соколова Т. І. Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу

Дисертаційна робота на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища. – Національний університет «Львівська Політехніка» Львів, 2025

Дисертаційна робота присвячена теоретичному та експериментальному обґрунтуванню удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу з метою оптимізації основних параметрів анаеробного зброджування для отримання не тільки основного цінного продукту – біогазу, а також вторинного – компосту, з використанням біочару з відпрацьованої кавової гущі в якості інтенсифікатора процесу метанового бродіння.

Проаналізовано сучасний стан сфери поводження з відходами та можливостей переробки на вторинні продукти харчових відходів готельно-ресторанного комплексу в Україні та світі. Наголошено на доцільність використання біотехнології в готельно-ресторанних комплексах, що є одним з вагомих продуцентів харчових відходів, які не підлягають належній переробці та найчастіше захоронюють на сміттєзвалищах, що несе антропогенне навантаження на навколишнє середовище через процес гниття органічних речовин та виділення шкідливих речовин до атмосферного повітря, ґрунту та підземних вод. Технології захисту навколишнього середовища охоплюють значну частину пов'язану саме з переробкою та утилізацією відходів, тобто це величезна ніша, яку необхідно покращувати для створення ліпшої екологічної ситуації в країні. Враховуючи низький рівень свідомості громадян щодо сортування ТПВ в домашніх умовах та неможливість відслідкувати цей процес, набагато легше та ефективніше працювати із закладами готельно-ресторанного бізнесу, які є підзвітними в сфері захисту навколишнього середовища, а саме утворення та утилізації сміття. Сортування та переробка харчових відходів є актуальним не лише в екологічному секторі, але й енергетичному та економічному, завдяки процесу анаеробної деградації можна отримувати біогаз та вторинний продукт біогумус, перший використовується на рівні із природнім газом в ЄС для

отримання тепла та електроенергії, другий для сільськогосподарських угідь. Симбіоз біотехнологій та бізнесу є дуже перспективним для розвитку країни вже в новій парадигмі, а саме – збереженні довкілля, яке занадто страждає через людську діяльність. Тому розробка та впровадження в готельно-ресторанні комплекси біотехнологій з переробки харчових відходів на цінні вторинні продукти є раціональним та економить ресурси, що є важливим для стійкості підприємств, економіки та збереження компонентів довкілля від неконтрольованого забруднення.

Досліджено процеси отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі шляхом термічного та мікрохвильового піролізу (опромінення), проаналізовано вплив методу виробництва на біополімерний та гранульований склад, структурні характеристики, сорбційні, кислотно-основних та іонообмінних властивості сировини та біочару. Також проведено дослідження диференційної ІЧ-спектроскопії та комплексного термічного аналізу сировини та біочарів.

Встановлено, що отримані мікрохвильовим піролізом зразки біочару мають схожий та/або покращені показники відносно традиційного термічного піролізу (склад, структурні характеристики, сорбційні, кислотно-основних та іонообмінних властивості), але вартість виробництва значно знижується через використання мікрохвильових печей, що не потребують значних витрат електроенергії.

Удосконалено процеси анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу з використанням в якості інтенсифікатора процесу метанового бродіння біочарів з відпрацьованої кавової гущі, що отримані термічним та мікрохвильовим піролізом. Визначено, що при підготовці суміші для анаеробної деградації з коров'ячого гною, харчових відходів та біочару, в складі отриманого біогазу метан складає 80%, що є аналогом природного газу та може використовуватися для забезпечення енергетичних потреб підприємства.

Розроблено технологічні та векторні схеми виробничих процесів по отриманню біочару з відпрацьованої кавової гущі та анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу в біогаз. На основі отриманих результатів розрахована економічна ефективність проекту для впровадження на

підприємстві із отриманням додаткової прибутковості від переробки відходів та отримання біогазу.

Ключові слова: технології захисту навколишнього середовища, екологічна біотехнологія, анаеробне зброджування, харчові відходи, тверді відходи, біогаз, біочар, відпрацьована кавова гуща, адсорбційні властивості, іонно-обмінні властивості, охорона навколишнього середовища, важкі метали, екологічна безпека, управління відходами, екологічна оцінка.

ABSTRACT

Sokolova T.I., Improvement of the biotechnology of food waste processing in the hotel and restaurant complex. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 18 – «Production and Technology», speciality 183 Environmental Protection Technologies - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025

The dissertation is devoted to the theoretical and experimental substantiation of the improvement of biotechnology for the processing of food waste in the hotel and restaurant complex by varying the parameters of the anaerobic degradation process to optimise and obtain the main valuable product - biogas, and the secondary product - compost, using biochar from waste coffee grounds as an additive.

The current state of the waste management sector and the possibilities of processing food waste from the hotel and restaurant complex into secondary products in Ukraine and the world are analysed. The author emphasises the expediency of using biotechnology in hotel and restaurant complexes, which are one of the significant producers of food waste that cannot be properly processed and is most often disposed of in landfills, which carries an anthropogenic burden on the environment through the process of decay of organic matter and the release of harmful substances into the air, soil and groundwater. Environmental protection technologies cover a significant part of waste treatment and disposal, which is a huge niche that needs to be improved to create a better environmental situation in the country. Given the low level of public awareness of solid waste sorting at home and the inability to track this process, it is much easier and more efficient to work with hospitality businesses that are accountable for environmental protection, namely waste generation and disposal. Sorting and processing food waste is relevant not only in the environmental sector, but also in the energy and economic sectors, as the anaerobic degradation process produces biogas and a secondary product called vermicompost, the former used alongside natural gas in the EU to generate heat and electricity, and the latter for agricultural land. The symbiosis of biotechnology and business is very promising for the country's development in a new paradigm, namely, the preservation of the environment, which suffers too much from human

activity. Therefore, the development and implementation of biotechnologies for processing food waste into valuable secondary products in the hotel and restaurant industry is rational and saves resources, which is important for the sustainability of enterprises, the economy and the preservation of environmental components from uncontrolled pollution.

The processes of obtaining biochar from waste coffee grounds by thermal and microwave pyrolysis (irradiation) were investigated, the influence of the production method on the biopolymer and granular composition, structural characteristics, sorption, acid-base and ion-exchange properties of raw materials and biochar was analysed. Differential infrared spectroscopy and comprehensive thermal analysis of raw materials and biochar were also carried out.

It was found that the biochar samples obtained by microwave pyrolysis have similar and/or improved performance compared to traditional thermal pyrolysis (composition, structural characteristics, sorption, acid-base and ion exchange properties), but the production cost is significantly reduced due to the use of microwave ovens that do not require significant electricity consumption.

The processes of anaerobic digestion of food waste from a hotel and restaurant complex with the use of biochar from spent coffee grounds obtained by thermal and microwave pyrolysis as an additive were investigated, improved and optimised. It has been determined that in the preparation of a mixture for anaerobic degradation from cow manure, food waste and biochar, methane makes up 80% of the biogas obtained, which is analogous to natural gas and can be used to meet the energy needs of the enterprise.

Technological and vector diagrams of production processes for the production of biochar from waste coffee grounds and anaerobic digestion of food waste from the hotel and restaurant complex into biogas have been developed. On the basis of the obtained results, the economic efficiency of the project for implementation at the enterprise with additional profitability from waste processing and biofuel production is calculated.

Keywords: biotechnology, anaerobic degradation, food waste, organic waste, biogas, biochar, spent coffee grounds, mesophilic regime, thermophilic regime.

СПИСОК ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях інших держав, що включені до бази даних

WoS та Scopus:

1. Taisiia Sokolova, Galyna Krusir, Christoph Hugi, Lena Breitenmoser, Elmira Yeleuova, Gulnur Daldabayeva, Myroslav Malovanyy, Oleksii Korkach, Valeriia Sokolova. 2024. Study of the effect of biochar from spent coffee grounds on anaerobic digestion of food waste from the restaurant industry. Journal of Chemistry and Technologies, 2024, 32(2), 371-381. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.297925>

(Досліджено вплив біочару на кумулятивне утворення метану, pH, ХСК, накопичення NH_4^+-N , ЛЖК реакційної суміші (дигестату) в результаті анаеробного зброджування харчових відходів в мезофільних та термофільних умовах.)

2. Taisiia Sokolova, Galyna Krusir, Hanna Shunko, Hanna Korkach, Olga Makarova, Viktoriia Tolstykh, Valeriia Sokolova. 2024. Preparation and study of acid-base and ion-exchange properties of biochar from waste coffee grounds. Ecological Engineering & Environmental Technology 2024, 25(11), 399–409. <https://doi.org/10.12912/27197050/193052>

(Отримано біочар з відпрацьованої кавової гущі шляхом традиційного піролізу (300°C та 500°C) та мікрохвильового опромінення, проведені дослідження кислотно-основних та іонно-обмінних властивостей біовугілля)

3. Taisiia Sokolova, Galyna Krusir, Ihor Petrushka, Myroslav Malovanyy, Valeriia Sokolova. 2025. Chemical and structural characteristics and sorption properties biochar from waste coffee grounds. Journal of Chemistry and Technologies. Journal of Chemistry and Technologies, 2025. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v33i1.316519>

(Досліджено біочари отримані з відпрацьованої кавової гущі шляхом традиційного піролізу та мікрохвильового опромінення, а саме: наведений порівняльний хімічний склад сировини та біочарів, гранулометричний склад біочарів після подрібнення; оцінено сорбційну активність рослинної сировини та біочарів, які з неї отримані; вивчені ізотерми адсорбції ацетату свинцю препаратами сировини та біочарів; визначені сорбційні константи іонів свинцю біочарами; вивчено вплив концентрації

іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами та кінетичні параметри сорбції іонів свинцю біочарами.)

Стаття у науковому фаховому виданні України:

4. T. Lebedenko, T., Krusir, G., Shunko, H., Sokolova, V., Sokolova, T., & Makas, A. (2021). Environmental management in the hotel and restaurant complex. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 23(96), 54–60. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9610> *(Досліджено основні напрямки утворення харчових відходів та їх об'єми в готельно-ресторанних комплексах, визначені основні методологічні підходи до переробки відходів ресторанних господарств. Робота присвячена науковому обґрунтуванню та удосконаленню технології переробки харчових відходів ресторанних господарств з метою зниження їхнього впливу на компоненти довкілля.)*

Патент на корисну модель:

5. Патент на корисну модель 156855 Україна A01G24/20 B01F101/25 B09B3/65 B09B101/70. - № u2022 02860; Заяв. 10.08.2022; опубл. 14.08.2024. Бюл. №33. Спосіб переробки твердих харчових відходів. Крусір Г.В., Соколова Т.І., Соколова В.І., Шпирко Т.В., Сагдєєва О.А. - власник Одеська національна академія харчових технологій.

Тези наукових доповідей

6. Крусір Г.В., Соколова Т.І., Соколова І.В. Удосконалення біотехнології компостування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. VIII Міжнародному з'їзді екологів (за підтримки Вінницької міської ради) міжнародного науково-практичного семінару по декарбонізації та екомодернізації промисловості України (За інформаційної підтримки Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України), Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 22-24 вересня 2021, 155-157 стор.

7. Соколова Т. І., Крусір Г.В., Новічкова Т.П., Соколова В.І. Інновації послуг ресторану з мінімальним впливом на навколишнє середовище. II Міжнародна науково-практична конференція з проблем вищої освіти і науки «Сучасні виклики сталого розвитку бізнесу». Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка», 4-5 листопада 2021 року, 430 стор.

8. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Соколова В.І. Дослідження впливу рН субстрату на біологічну ефективність вермикультури. Збірник матеріалів IX міжнародної науково-практичної конференції «Хімія, біо- і нанотехнології, екологія та економіка в харчовій та косметичній промисловості». Харків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 18-19 листопада 2021, 203-204 стор.

9. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Сагдеева О.А. Кузнецова І.О. Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. Збірник тез доповідей 82 наукової конференції викладачів університету. Одеса. ОНАХТ. 26 – 29 квітня 2022 р. 310 стор.

10. Соколова Т.І., Крусір Г.В., д.т.н., проф., Соколова В.І. Переробка харчових відходів в готельно-ресторанному комплексі. Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Еколого-енергетичні проблеми сучасності». Одеса, ОНАХТ, 9-10 червня 2022р. 12-13 стор.

11. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Соколова В.І. Вплив готельно-ресторанного комплексу на контамінацію атмосферного повітря. VII Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна, 10-11 лютого 2022 р. 50 стор.

12. Соколова Т.І., Крусір Г.В. Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. VII Міжнародний конгрес Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Національний університет «Львівська політехніка». Львів. 12-14 жовтня 2022. 95 стор.

13. Соколова Т.І., Крусір Г.В. Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. XVIII Всеукраїнська наукова on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології». Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир. 06 жовтня 2022 р. 74 стор.

14. Соколова Т.І., Соколова В.І., Крусір Г.В. Вплив температури на вироблення біогазу з харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2022». Харківський національний автомобільно-дорожнього університету. Харків. 27 жовтня 2022 р. 189 стор.

15. Соколова Т.І., Соколова В.І. Крусір Г.В. Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів в готельно-ресторанному комплексі. II Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запорізький національний університет. Запоріжжя. 18-20 жовтня 2022 р. 416 стор.

16. Соколова Т.І., Соколова В.І., Крусір Г.В. Вплив складу субстрату на отримання біогазу з харчових відходів готельно-ресторанного комплексу. Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Сталий розвиток країни в рамках європейської інтеграції». Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир. 30 листопада 2022 року. 112 стор.

17. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Соколова В.І. Дослідження впливу біовугілля з відпрацьованої кавової гущі на анаеробне зброджування харчових відходів. Всеукраїнська науково-технічна онлайн-конференція молодих учених та студентів «Еколого-енергетичні проблеми сучасності». Одеса. ОНТУ, 11-12 квітня 2024 р. 33 стор.

18. Taisiia Sokolova, Galyna (Halyna) Krusir, Valeriia Sokolova. Перспективи одержання біочару з відпрацьованого кавового шламу. Міжнародна конференція «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії». Харків. Харківський національний автомобільно-дорожнього університет. 11-12 березня 2024 р. 399 стор.

19. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Мальований М.С., Соколова В.І. Біочари з відпрацьованої кавової гущі: отримання, хімічні та структурні властивості. VIII Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування». Львів. Національний університет «Львівська політехніка». 16–18 жовтня 2024 року.

20. Соколова Т.І., Крусір Г.В., Соколова В.І. Сорбція іонів свинцю біочарами з відпрацьованої кавової гущі. Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «ГАЛУЗЕВІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ – 2024». Харків, ХНАДУ, 24 жовтня 2024 р.

21. Соколова Т.І., Крусір Г.В. Дослідження хімічного складу біочару отриманого з відпрацьованої кавової гущі шляхом традиційного піролізу та мікрохвильового опромінення. Всеукраїнська наукова конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування». Житомир. Державний університет «Житомирська політехніка». 14 листопада 2024 року.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ХВ – харчові відходи;
ТПВ – тверді побутові відходи;
ОСББ – Об'єднання співвласників багатоквартирного будинку;
HoReCa – готель, ресторан, кафе (сегмент сфери послуг);
ВКГ – відпрацьована кавова гуща;
ГРК – готельно-ресторанний комплекс;
БГУ – біогазова установка;
МР – мезофільний режим;
ТР – термофільний режим;
ВРХ – велика рогата худоба;
КГ – коров'ячий гній;
СОР – суха органічна речовина;
СР – суха речовина;
ЛР (VS) – леткі тверді речовини;
ТР (TS) – тверді речовини;
ХСК – хімічне споживання кисню;
БСК – біологічне споживання кисню;
рН – водневий показник;
ВВОЩ – величина відносної оптичної щільності;
ЛЖК (VFA) – леткі жирні кислоти;
ВЖК – високомолекулярні жирні кислоти;
ЗОН (OLR) – загальне органічне навантаження;
ПОН (OLRs) – питоме органічне навантаження;
ТОС – загальний органічний вуглець;
ГЧУ (HRT) – гідравлічний час утримування;
ОП (PV) – об'єм пор;
ПП (SA) - площа поверхні;
МХ – мікрохвильовий піроліз;
БЕТ – методом Брунауера-Еммета-Теллера;

ЖЦП – життєвий цикл продукції;

ОЖЦ – оцінка життєвого циклу;

АЖЦ – аналіз життєвого циклу;

НС – навколишнє середовище;

НМЛОС – неметалеві летучі органічні сполуки;

ТГ (TG) – термогравіметрія;

ДТГ (DTG) - диференціальну термогравіметрію;

ДТА (DTA) - диференціальний термічний аналіз;

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	27
1.1. Накопичення харчових відходів, як фактор Світової екологічної та енергетичної кризи.....	27
1.2. Харчові відходи готельно-ресторанних комплексів як цінне джерело вторинної сировини	32
1.3. Біотехнологічна переробка харчових відходів готельно-ресторанних комплексів.....	35
1.4. Використання відпрацьованої кавової гущі для оптимізації біотехнологічних процесів анаеробного зброджування.	52
Висновки до розділу 1	59
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ В АНАЕРОБНОМУ ЗБРОДЖУВАННІ	61
2.1. Постановка мети та завдань дослідження	61
2.2. Оцінка життєвого циклу та екологічних аспектів продукції готельно-ресторанного комплексу на компоненти навколишнього середовища	64
2.2.1. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного комплексу методом балансових схем	65
2.2.2. Оцінка життєвого циклу продукції методом релевантних таблиць (матриць Леопольда).....	66
2.2.3. Оцінка пріоритетності екологічних аспектів готельно-ресторанного комплексу.....	69
2.3. Матеріали та методи дослідження біочару отриманого з відпрацьованої кавової гущі.....	73
2.3.1 Підготовка сировини для отримання біочару	73
2.3.2. Термічний піроліз відпрацьованої кавової гущі.....	74
2.3.3 Мікрохвильовий піроліз відпрацьованої кавової гущі	76

2.3.4 Визначення гранульованого та біополімерного складу зразків сировини та біочару	77
2.3.5. Структурні характеристики вихідної сировини та біочарів	84
2.3.6. Сорбція іонів свинцю та ізотерми адсорбції	85
2.3.7. Кислотно-основні та іонообмінні властивості біочару	86
2.3.8 Диференційна ІЧ-спектроскопія зразків сировини та біочарів	87
2.3.9. Комплексний термічний аналіз зразків біочару та сировини	88
2.4 Матеріали та методи для процесу анаеробного зброджування	91
2.4.1. Сировина для анаеробного зброджування	91
2.4.2. Експериментальна установка та експлуатація реактора	92
2.4.3. Аналітичні методи	94
Висновки до розділу 2	96

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ..... 98

3.1. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного підприємства	98
3.1.1. Оцінка життєвого циклу методом балансових схем	98
3.1.2. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного господарства методом релевантних таблиць (матриць Леопольда)	105
3.2. Впровадження технологій захисту навколишнього середовища та оцінка екологічних аспектів готельно-ресторанного господарства експериментальним методом	112
Висновки до розділу 3	118

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ..... 120

4.1. Отримання та дослідження впливу біочару з відпрацьованої кавової гущі на процеси анаеробного зброджування харчових відходів.	120
4.1.1. Отримання біочару шляхом термічного та мікрохвильового піролізу	120

4.1.2. Гранульований та біополімерний склад зразків сировини та біочару	121
4.1.3. Структурні характеристики сировини та біочарів	123
4.1.4. Сорбційні властивості сировини та біочарів.....	124
4.1.5. Кислотно-основні та іонообмінні властивості сировини та біочарів	132
4.1.6. Диференційні ІЧ-спектри сировини та біочарів	139
4.1.7. Комплексний термічний аналіз сировини та зразків біочару	141
4.2. Дослідження процесів анаеробного зброджування харчових відходів з додаванням інтенсифікатору - біочару з відпрацьованої кавової гущі.....	146
4.2.1. Дослідження кумулятивного виробництва метану при мезофільній та термофільній обробці з додавання біочару.....	147
4.2.2. Дослідження змін рН середовища при мезофільній та термофільній обробці з додаванням біочару.....	150
4.2.3. Дослідження впливу біочару на хімічне споживання кисню при мезофільній та термофільній обробці	152
4.2.4. Дослідження накопичення аміаку та ЛЖК при мезофільній та термофільній обробці з додавання біочару	154
Висновки до розділу 4	158

РОЗДІЛ 5. УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ

163

5.1. Удосконалення технології отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі для використання в процесі анаеробного зброджування харчових відходів.....	164
5.2. Удосконалення біотехнології анаеробного зброджування харчових відходів з додаванням в якості інтенсифікатора біочару з відпрацьованої кавової гущі.....	166
5.3. Розрахунок економічної ефективності впровадження біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу	169

5.3.1 Розрахунок інвестиційних витрат	169
5.3.2. Розрахунок товарообігу і валового доходу підприємства ресторанного господарства	177
5.3.3. Розрахунок витрат операційної діяльності.....	178
5.3.4. Оцінка інвестиційної привабливості проекту	179
Висновки до розділу 5	181
ВИСНОВКИ:	184
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	191
ДОДАТКИ.....	205

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

На сьогоднішній день перед людством гостро постало питання Світової екологічної та енергетичної кризи, що викликана неконтрольованим утворення та накопичення твердих побутових відходів (ТПВ), відсутністю їх належної переробки/утилізації та стрімкого росту вартості енергоносіїв по всьому світу через геополітичні, торгівельні зміни та виснаження корисних копалин. Такі фактори впливають на пришвидшення науково-технічного прогресу та пошуку нових варіацій використання існуючих біотехнологій для подолання цих викликів. В складі ТПВ приблизно 50-60% становить харчові відходи (ХВ), які при потраплянні на сміттєзвалища та полігони виділяють забруднюючі речовини в атмосферне повітря, підземні води та ґрунти. Враховуючи стрімкий ріст накопичення харчових відходів, їх токсичність для компонентів довкілля та низький рівень переробки, доцільно розглядати біотехнології, що дозволяють переробляти їх на біопаливо, яке можливо використовувати в виробничих циклах підприємств. Головними та найвагомішими джерелами харчових відходів в Україні та світі є підприємства харчової промисловості, сільське господарство та сфера HoReCa, яка є продуцентом різних за складом відходів, велика частка з яких відноситься до органічних, тобто придатних для подальшого використання в якості вторинної сировини для виробництва продуктів з доданою вартістю. Біотехнологічні процеси є екологічно доцільними для розробки та впровадження на різних виробництвах, адже є природними та легко піддаються контролю, значно менше впливають на довкілля, не залежать від погодних умов тощо. В Європейському союзі (ЄС) активно впроваджують широкий перелік біотехнологій, що допомагає дотримуватися екологічних стандартів, знижувати антропогенне навантаження на навколишнє середовище (НС) та екологізувати виробництва. В Україні також відбувається впровадження біотехнологій, що є важливим з точки зору сталого розвитку, зменшення

забруднення довкілля та виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, а саме: наближення екологічних норм до Європейського Зеленого Курсу (European Green Deal), відтворення Зеленої економіки, створення Екологічного моніторингу та звітності за зразком ЄС тощо. В сфері готельно-ресторанного бізнесу деякі підприємства для підвищення конкурентоспроможності використовують екологічні ініціативи, але вони не включають повноцінного впровадження біотехнологій для відтворення замкнутого циклу виробництва продукції або значного зниження антропогенного навантаження. Тому дана дисертаційна робота направлена на вирішення **наукової задачі**, яка стосується переробки харчових відходів в біогаз шляхом анаеробного зброджування з використанням біочару в якості інтенсифікатору, сировина для одержання якого також утворюється в готельно-ресторанному комплексі.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження відповідає законодавчим актам та документам України, а саме Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року та Закон України «Про управління відходами», де зазначені положення згідно запровадження екологічно безпечних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій, розвиток відновлюваних джерел енергії, запобігання та зменшення обсягів утворення відходів, зниження негативних наслідків на НС, сприяння до вторинного використання, рециклінгу і відновленню відходів з метою запобігання їх негативному впливу на здоров'я людей та довкілля. Результати дослідження відповідають науковому напрямку кафедри «Екологічної безпеки та природоохоронної діяльності» Національного університету «Львівська політехніка», а саме: НДР –БПД-5 Моделювання та прогнозування стану складних ландшафтних комплексів за параметрами: «надійність», «захисна ефективність» та «стійкість».

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є розробка біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу

шляхом анаеробного зброджування у біогаз з використання біочару, який отримано з відпрацьованої кавової гущі термічним та мікрохвильовим піролізом.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати такі завдання:

- здійснити аналіз життєвого циклу продукції готельно-ресторанного комплексу (балансові схеми, релевантні таблиці), та визначити екологічні аспекти досліджуваного виробництва біогазу для розробки заходів щодо зменшення навантаження на компоненти навколишнього середовища;
- експериментально дослідити біополімерний та гранулометричний склад сировини та біочарів з відпрацьованої кавової гущі, отриманих термічним та мікрохвильовим піролізом;
- експериментально дослідити структурні характеристики поверхні біочарів (середній радіус пор та питома поверхня);
- експериментально дослідити сорбційні властивості сировини та біочарів з відпрацьованої кавової гущі, отриманих термічним та мікрохвильовим піролізом, щодо іонів Pb^{2+} ;
- експериментально дослідити механізм адсорбції через вивчення ізотерм адсорбції, впливу концентрації іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами, кінетики сорбції іонів свинцю біочарами, швидкості сорбції іонів свинцю сировиною та біочарами, впливу часу інкубації на величину сорбції іонів свинцю рослинними препаратами;
- експериментально дослідити кислотні та катіонообмінні властивості відпрацьованої кавової гущі та біочарів;
- експериментально дослідити здатність біочарів та відпрацьованого кавового шламу зв'язувати іони кальцію та свинцю;
- експериментально дослідити аніонообмінні властивості біочарів;
- надати порівняльну характеристику отриманих біочарів та рослинної сировини з використанням інтегральної та диференційної ІЧ-

спектроскопії;

- надати порівняльну характеристику отриманих біочарів та рослинної сировини з використанням комплексного термічного аналізу;
- експериментально дослідити параметри процесу анаеробного зброджування харчових відходів ГРК при термофільних та мезофільних режимах без та з додаванням біочарів (кумулятивне утворення, рН, вміст амонію, ХСК, ЛЖК);
- розробити технологічні схеми процесів отримання біочарів та біогазу шляхом переробки харчових відходів ГРК;
- обґрунтувати економічну ефективність та впровадити біотехнологію по переробці харчових відходів в ГРК.

Об’єкт дослідження – біотехнологія анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу із додаванням біочару з відпрацьованої кавової гущі в якості інтенсифікатора процесу метанового бродіння.

Предмет дослідження – харчові відходи готельно-ресторанного комплексу, вплив біочару на анаеробне зброджування, екологічні аспекти ГРК та методи оцінювання негативного впливу підприємства на стан компонентів довкілля.

Методи дослідження базуються на застосуванні системного аналізу процесів виникнення екологічної небезпеки і проводилися з використанням загальнонаукових методів пізнання. Методи дослідження включають: лабораторні, аналітико-синтетичні, статистичні методи, та відомі методики із визначення вмісту компонентів: титриметрію, адсорбцію, екстракцію, гравіметрію, фотометрію, потенціометрію, газохроматографію, диференційну ІЧ-спектроспію, комплексний термічний аналіз, метод К’ельдаля, БСТ. Обробка експериментальних даних та математичне узагальнення результатів виконувалась за допомогою програмного забезпечення R, Prism, Excel та ACDLabs 6.0 Professional, MS Visual Studio, Origin, Microsoft Office Excel.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні та розробці технологічних рішень з удосконалення переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування та використанням в якості інтенсифікатора біочару з відпрацьованої кавової гущі, що отримана мікрохвильовим піролізом (опроміненням). Впроваджена біотехнологія дозволяє знизити накопичення ХВ, отримати вторинні продукти з доданою вартістю (біогаз, біочар, біогумус), що можуть використовуватися у внутрішніх виробничих процесах та продаватися, як окремий продукт.

Основні результати, які показують наукову новизну даної роботи:

вперше:

- науково обґрунтовано та досліджено вплив готельно-ресторанних комплексів на забруднення компонентів довкілля, шляхом викидів широкого переліку забруднюючих речовин, що були виділені при аналізі та оцінці життєвого циклу продукції ГРК;
- науково обґрунтоване та експериментально підтверджено можливість використання харчових відходів готельно-ресторанного комплексу для отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі термічних та мікрохвильовим піролізом (опроміненням);
- встановлено екологічну та економічну ефективність та доцільність виробництва біочару з відпрацьованої кавової гущі шляхом мікрохвильового опромінення, що дозволяє знизити енерговитрати, прискорити процес, знизити рівень накопичення ВКГ та отримати вторинний продукт із доданою вартістю;
- науково обґрунтоване та експериментально підтверджено доцільність використання харчових відходів готельно-ресторанного комплексу та біочарів з відпрацьованої кавової гущі в процесі анаеробного зброджування в мезофільному та термофільному температурному режимах;
- встановлено закономірність впливу біочару на процес анаеробного зброджування при мезофільних та термофільних режимах, що

дозволяє збільшити вихід біогазу, прискорити процес та отримати в складі біогазу більше 80% метану;

отримало подальший розвиток:

- дослідження біотехнологічних методів переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу
- дослідження властивостей біочару, отриманого з відпрацьованої кавової гущі шляхом мікрохвильового опромінення;
- дослідження властивостей біогазу та біогумусу отриманих в процесі анаеробного зброджування з додаванням біочарів.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз даних експериментальних досліджень дозволив розробити та запропонувати для впровадження технологічні схеми переробки харчових відходів в готельно-ресторанних комплексах шляхом анаеробного зброджування із додаванням біочару з ВКГ після мікрохвильового опромінення. Одержані результати досліджень можуть бути використані: готельно-ресторанними господарствами, органами державної та виконавчої влади, місцевого самоврядування та приватними підприємствами, які займаються утилізацією органовмісних відходів та роботою по проведенню переробки харчових відходів, в контексті освітніх дисциплін тощо.

Особистий внесок здобувача.

Здобувачем особисто опрацьовані літературні джерела за темою дисертаційної роботи, проведено лабораторні експериментальні дослідження, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано та науково обґрунтовані висновки. Постановка завдань, розроблення оптимальних умов проведення анаеробного зброджування, розроблення методики визначення якості субстрату на основі харчових відходів, розроблення методики отримання біочару з ВКГ мікрохвильовим опроміненням, обговорення поставлених завдань проводились під керівництвом д.т.н., проф., Крусір Галини Всеволодівни та д.т.н., проф.,

кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка» Петрушки Ігоря Михайловича.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на науково-практичних конференціях, симпозіумах, семінарах: VIII Міжнародному з'їзді екологів (за підтримки Вінницької міської ради) міжнародного науково-практичного семінару по декарбонізації та екомодернізації промисловості України (За інформаційної підтримки Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України) (22-24 вересня 2021, Вінниця, Вінницький національний технічний університет); II Міжнародна науково-практична конференція з проблем вищої освіти і науки «Сучасні виклики сталого розвитку бізнесу». (4-5 листопада 2021, Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка»); IX міжнародна науково-практична конференції «Хімія, біо- і нанотехнології, екологія та економіка в харчовій та косметичній промисловості» (18-19 листопада 2021, Харків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); 82 наукова конференція викладачів університету (26 – 29 квітня 2022, Одеса, ОНАХТ); Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Еколого-енергетичні проблеми сучасності» (9-10 червня 2022, Одеса, ОНАХТ); VII Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (10-11 лютого 2022, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»); VII Міжнародний конгрес Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. (12-14 жовтня 2022, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»); XVIII Всеукраїнська наукова on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» (06 жовтня 2022, Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка»); Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2022» (27 жовтня 2022, Харків, Харківський

національний автомобільно-дорожній університет); II Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (18-20 жовтня 2022, Запоріжжя, Запорізький національний університет); Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Сталий розвиток країни в рамках європейської інтеграції» (30 листопада 2022, Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка»); Всеукраїнська науково-технічна онлайн-конференція молодих учених та студентів «Еколого-енергетичні проблеми сучасності» (11-12 квітня 2024, Одеса. ОНТУ); Міжнародна конференція «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» (11-12 березня 2024, Харків, Харківський національний автомобільно-дорожнього університет); VIII Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (16–18 жовтня 2024, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»); Міжнародна науково-практична конференція за участю молодих науковців «ГАЛУЗЕВІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ – 2024» (24 жовтня 2024, Харків, ХНАДУ); Всеукраїнська наукова конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування» (14 листопада 2024, Житомир. Державний університет «Житомирська політехніка»).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 21 друкованих наукових праць, з яких 1 стаття у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні інших держав, що включене до міжнародної наукометричної бази даних (Scopus), 2 статті наукових фахових виданнях України, що включені до міжнародної наукометричної бази даних (Scopus), та 16 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях та конгресах.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних

джерел та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 213 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 48 рисунками, текст містить 40 таблиць, у бібліографії наведено 158 літературних джерел, дисертація містить 3 додатки.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Накопичення харчових відходів, як фактор Світової екологічної та енергетичної кризи.

Широкий перелік напрямків діяльності людини призводить до енергетичної та екологічної кризи, що особливо гостро відчувається в останні роки, зокрема: геополітичні зміни у світі, перенаправлення налагоджених торговельних шляхів, енергопостачання та збільшення парникового ефекту на планеті. Через надмірне використання корисних копалин та вичерпання природних ресурсів, перед людством постає питання отримання енергії шляхом використання альтернативних джерел, які мають перспективи в розрізі зеленої повістки, що стало результатом антропогенного навантаження на компоненти навколишнього природного середовища. Протягом 2022 року на території Європи відбулась різка зміна вартості енергоносіїв та викопних джерел енергії, що спричинило ряд складнощів, такі як закриття малих підприємств, скорочення обсягів виробництва великих установ та збільшення цін для населення, що також негативно вплинуло на економіку України в тому числі. Наприклад, ілюстрацією цих подій є те, що у Швеції вартість електроенергії у 2023 році перевищила ціни 2022 р. понад 3-4 рази [1]. В Україні ведеться активна робота з пошуку методів зниження енергетичного та економічного навантаження на бюджет населення, тому у рамках проєкту [2] розроблена Програма соціально-економічного та культурного розвитку Одеської області на 2024 рік, де особливу увагу приділяють питанням енергетики, використанню альтернативних джерел, оптимізації структури виробництва і споживання паливно-енергетичних ресурсів із збільшенням частки нетрадиційних видів палива та відновлюваних джерел енергії.

Енергетичний сектор є продуцентом викидів забруднюючих речовин, які мають вплив на збільшення температури поверхні Землі, на екосистеми та інші природні процеси [3]. Враховуючи гостре питання захисту довкілля та сформований курс на «зелену енергетику» та «нульовий викид», повернення

до існуючих традиційних викопних джерел енергії та технологій не принесе позитивного результату, тому головною задачею постає використання біотехнологій, які мають перспективу та є альтернативою вже існуючим. Наприклад, Одеська область має понад 3000 суб'єктів господарювання, які викидають забруднюючі речовини в атмосферне повітря, з яких: 70% частка підприємств постачальників електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, 16% – підприємств переробної промисловості. Головними забруднюючими речовинами є: метан – 72 % від сумарних обсягів, речовини у вигляді твердих суспендованих частинок – 8,1%, оксид Карбону – 9,1%, діоксид Нітрогену – 4,3%, діоксид Сульфуру – 2,3%), неметанові органічні сполуки – 1,9%, аммоніак – 1,8% [2].

Харчові відходи є невід'ємною складовою побутового життя сучасної людини, щодня відбувається утворення, накопичення таких відходів, а неефективна утилізація або переробка, створює катастрофічні умови для наступних поколінь. Понад 40-60% ТПВ — харчові відходи, які накопичуються на сміттєзвалищах, що з кожним роком провокує додаткове відчуження сільськогосподарських плодючих земель під їх захоронення, зокрема завдяки стихійності їх утворення. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України станом на 2020 рік, офіційно налічувалось 5455 сміттєзвалищ і полігонів ТПВ, загальна площа яких становила понад 8,5 тис.га. У 2021 році кількість сміттєзвалищ та полігонів збільшилася та становила понад 6 тис. загальною площею – 9 тис.га. Відсоток збільшення кількості офіційних та не офіційних захоронень сміття в Україні кожного року зростала, коректні дані за 2022-2024 роки відсутні через воєнні дії на території країни, але оцінивши статистичну інформацію Держстату, можна стверджувати, що, не зважаючи на невелике зменшення кількості сміттєзвалищ та полігонів за останні 5 років, зменшення кількості відходів є маловірогідним. Рис. 1.1. демонструє динаміку утворення та ліквідації звалищ протягом 2017-2021 років по областях України, а рис. 1.2. - кількість утворених та утилізованих відходів.

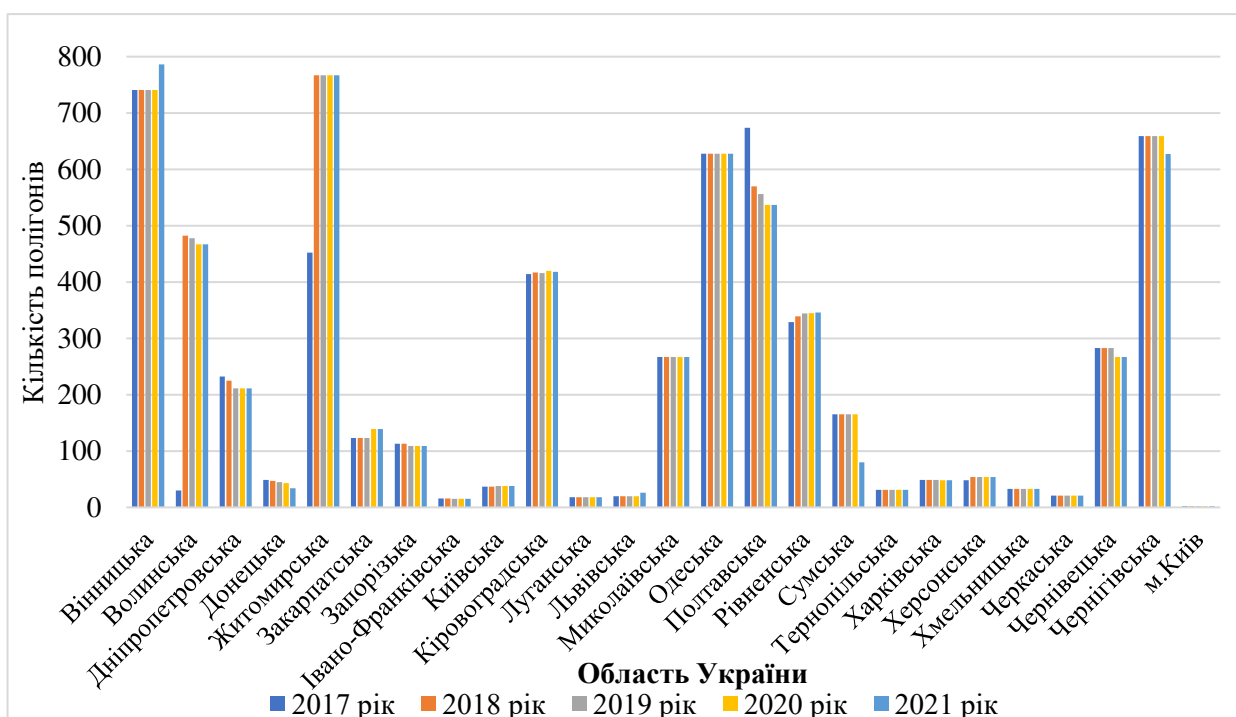


Рис. 1.1. Кількість сміттєзвалищ та полігонів по областях України в період з 2017 по 2021 роки



Рис. 1.2. Кількість утворених, видалених, утилізованих та спалених відходів в Україні за 2010-2020 роки

У Львові було проведено дослідження морфологічного складу відходів ОСББ «Хвильового 38», що являє собою 9-поверховий будинок зі 107 квартирами. За результатами дослідження зроблено висновок, що сортування відходів в містах країни на цей час не несе системний характер через низку обставин, які стосуються, зокрема, неефективності законодавчих ініціатив; низького рівня обізнаності суспільства щодо сортування побутового сміття за категоріями (папір, скло, органіка тощо). Дослідження проводили шляхом сортування відходів контейнера, що захищений від опадів та стороннього сміття (майданчик закритий для запобігання потрапляння відходів не мешканців будинку) та оцінки їх складу. В рамках експерименту на даному контейнерному майданчику мешканцям пропонувався роздільний збір сміття, використовуючи контейнери для скла, органічних відходів, сітку для пластикових пляшок, місце для паперу та картону. Забір відходів проводився після проходження повної доби, тобто до моменту, як відбудеться вивезення сміття, відходи розділяли на 5 категорій та декілька підкатегорій, зокрема виділялися: ресурсоцінні, органічні, санітарні, небезпечні та ті, що переробляються. Маса опрацьованих відходів становила 135,5 кг, а об'єм складав 1,1 м³. Результати досліджень показали, що станом на 10.01.2023 понад 50 % складу сміття — органічні відходи, а детальний морфологічний склад змішаних ТПВ наведений на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Морфологічний склад змішаних відходів ОСББ Хвильового, 38, Львів, станом на 10.01.2023, [4].

Під час проведення даного дослідження важливим фактором, якому приділяли найбільшу увагу, є оцінка ресурсоцінності відходів через те, що не всі з них можна використовувати для подальшого перетворення на вторинну сировину, наприклад, з 20 кг полімерів, лише 10 кг є ресурсоцінними, більша частина паперу також не належить до цієї категорії, що спричинено неможливістю повторно використовувати деякі види паперового сміття (чеки, серветки та забруднений папір не підлягають рециклінгу). У загальному вигляді органічні відходи складають – 60%, ресурсоцінні – 20%, не ресурсоцінні близько 15 %, засоби гігієни – 4,2%, небезпечні відходи менше ніж 1 %.

Подібне дослідження проводили в Полтаві, але замість аналізу відходів конкретного ОСББ, було відібрано пробу 300 кг, яка була доставлена перевізником на полігон. Порівняння результатів морфологічного складу відходів з м. Львова та м. Полтави показало, що відсоток харчових відходів становить 57,6% та 49,7% відповідно. Виходячи з порівняння ТПВ двох віддалених один від одного міст України, слід звернути увагу, що понад 49% їх складу становлять харчові відходи, а це значний відсоток, якщо розглядати дослідження в масштабах держави. В Україні налічується сотні готельно-ресторанних комплексів, при цьому сортування відходів в сфері HoReCa частіше не застосовується через низку причин, в тому числі через витрати часу та місця, тому відходи потрапляють до спільного контейнера, а далі відправляються на звалища. Не дивлячись на те, що станом на вересень 2022 року під час війни зачинилося близько 7 тис. закладів готельно-ресторанного бізнесу, водночас відкрилися понад 2 тис. нових [5]. Оцінюючи дані, які наведені у Програмі соціально-економічного та культурного розвитку Одеської області на 2024 рік, в порівнянні з попередніми роками спостерігається наступна динаміка завантаженості сфери гостинності: 46% на 2021 рік, 24% на 2022 рік, 27% на 2023 рік, що свідчить про поступове відновлення туризму Одещини [2].

Незначна кількість готельно-ресторанних комплексів займається належною утилізацією або переробкою харчових відходів, здебільшого економічна складова впливає на відсутність використання біотехнологій, що потребують додаткових витрат, які не влаштовують більшість закладів. Проте вкладення зусиль у переробку харчових відходів може стати джерелом для отримання додаткового прибутку за рахунок зменшення економічного навантаження через уникнення плати за вивезення сміття на полігони. Низка причин наведених вище є рушійною силою для проведення даного дисертаційного дослідження, що відкриває можливість інноваційної оцінки харчових відходів як цінного ресурсу, а біотехнологічні методи його переробки – як інструмент на шляху до сталого розвитку у сфері енергоефективних технологій. Саме тому велика увага приділяється використанню біотехнологічних методів і впровадження їх елементів в заклади готельно-ресторанного господарства, зокрема екологічних практик направлених на зменшення навантаження на довкілля. «Зелена енергетика» та переробка відходів – це наступний крок у впровадженні біотехнологій в повсякденне життя людей та технологічні процеси на виробництвах.

1.2. Харчові відходи готельно-ресторанних комплексів як цінне джерело вторинної сировини

Головною проблемою останніх десятиліть є глобальне потепління, що впливає на всі сфери життя сучасної людини, зниження викидів парникових газів є першочерговою задачею та глобальним пріоритетом серед країн світу. Викиди двоокису вуглецю є одним з основних парникових газів, більшість заходів ратифікованих Паризькою угодою про обмеження глобальної температури вище за доіндустріальний рівень (1,5 °C) є спрямованими саме для зниження викидів CO₂. Попри жорсткі обмеження за не виконання екологічно спрямованої політики та впровадження «зеленої енергетики», залишається відчутна залежність від викопного палива задля покриття зростаючого попиту на енергію у світі, добування та використання якого несе

негативний вплив на довкілля [6]. Інша світова проблема — утилізації відходів, що має глобальний характер, багато держав серед яких США, Індія, Мексика, Австралія, Корея, Китай, вироблять від 624 до 3500 мільйонів тонн харчових відходів щороку, лише Китай через збільшення економічного зросту виробляє понад 35 млн тонн продуктів (6% всього виробництва їжі у світі) з яких значна кількість не використовується за призначенням та потрапляє на смітник [7-9].

В рамках зниження викидів парникових газів та зменшення харчових відходів раціонально використовувати біотехнології для отримання біотоплива з відновлювальних джерел, що зменшить кількість кислотних дощів та викидів токсичних газів. Одним з таких цінних ресурсів є харчові відходи, з яких можна отримувати цілу низку корисних матеріалів, наприклад, біогаз, біодобрива, біоетанол, біодизель, оцет, пігменти, молочну кислоту та антиоксиданти [6]. Перетворення харчових відходів в продукти з доданою вартістю можна віднести до компонента сталого розвитку, але необхідна оптимізація умов та параметрів біотехнологічних процесів для отримання кращих результатів [10]. Склад харчових відходів приватних домогосподарств споріднений зі сміттям з готельно-ресторанних комплексів, це можуть бути залишки їжі, фрукти, овочі, хліб, молочні продукти, різні відходи приготування їжі [6]. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО), харчові відходи, що викидаються становить приблизно 33%, але ситуація може значно змінюватися залежно від регіону, впливати на це може ряд факторів до яких відносять погані складські приміщення, інфраструктуру, упаковку та неадекватні ринкові умови. Через збільшення масштабів виробництв, та відсутньої раціональної системи переробки харчових відходів, накопичені маси не лише впливають на стан природи та здоров'я людей і тварин, але й на економічні показники, що виливається в витрати в 750 мільярдів доларів щороку для світової економіки [11, 12].

Використання харчових відходів в якості вторинної сировини є доцільним враховуючи, що в їх хімічному складі є такі речовини як: білки, полісахариди (крохмаль, целюлоза, геміцелюлози та лігнін), органічні кислоти, олії/ліпіди, також мікроелементи (калій, фосфор, нітроген) тощо. Рослинні білки мають функціональні характеристики, такі як емульгування, структурні зміни та контроль кольору, ароматичні сполуки в їх складі належать до різних хімічних класів, включаючи альдегіди, спирти, кетони, кислоти, піразини, сполуки сірки та інші [13, 14]. Целюлоза є різновидом полімеру глюкози, організованого в довгі ланцюги й має добре впорядковану структуру. Геміцелюлози – розгалужені полісахариди, що складаються з двох та більше моносахаридів. Компонент лігніну складається з мономерів фенольної природи, які з'єднуються між собою, утворюючи розгалужені молекули з довгими ланцюгами. Він служить сполучною речовиною для склеювання целюлозних волокон між собою [15]. Тому за останні роки все частіше проводилися наукові дослідження із перетворення харчових відходів на цінний вторинний продукт із доданою вартістю, наприклад, в рамках сталого розвитку розглядались методи отримання хімікатів, кормів для тварин, добрив, різних видів палива, на цей час виділяють лише декілька методів по переробці органіки, а саме хімічний, термохімічний та біологічний [16-18].

Сучасні дослідження в галузі утилізації харчових відходів готельно-ресторанних господарств та інших закладів громадського харчування спрямовані на пошуки нових стратегій та шляхів зниження рівня утворення відходів [19-21]. Відходи громадського харчування можна умовно поділити на групи за походженням:

1. Відходи тваринного походження;
2. Відходи рослинного походження;
3. Упаковка харчових продуктів;
4. Стічні води громадського харчування.

При обробці харчових відходів необхідно дотримуватися гігієнічних вимог, а саме:

- Якомога швидше видаляти харчові відходи з приміщення, де є харчові продукти;
- Розміщувати харчові відходи у закритих контейнерах, сконструйованих таким чином, щоб забезпечити максимальний рівень захисту та їх дезінфекцію;
- Дотримуватися відповідних положень законодавства щодо зберігання й утилізації харчових відходів та інших відходів та/або мати договори щодо їх утилізації.

1.3. Біотехнологічна переробка харчових відходів готельно-ресторанних комплексів

Існує широкий перелік біотехнологій по переробці харчових відходів, які досліджені з різних сторін, є найбільш розповсюдженими та мають потенціал для подальшого удосконалення, наприклад, компостування, вермикомпостування, переробка з використанням *Hermetia illucens* (чорна солдатська муха), різних мікроорганізмів. Технології, включаючи анаеробне зброджування, пряме спалювання, виробництво біодизеля та виробництво етанолу, також були розроблені для перетворення відходів у відновлювані ресурси. Умови для проведення біотехнологічних процесів навпаки вважаються екологічно безпечнішими: невисокі температури, висока швидкість реакцій при незначних концентраціях компонентів, малий тиск, нейтральні середовища. Біотехнології близькі до біологічних систем, природних комплексів та функціонуванню живих організмів, завдяки базуванню на принципах перетворення й переміщення енергії та матеріалів. З чого можна зробити висновок, що біотехнології відповідають закону екологічної рівноваги та стійкості екосистем.

Наприклад, процес компостування є найбільш використовуваним методом, який полягає в перетворенні органічних речовин (листя, харчові

відходи тощо) у цінне добриво (біогумус), який покращує показники ґрунту, цю технологію використовують для біоремедіації ґрунтів, що були забруднені металами та різними органічними речовинами [22]. Завдяки високій температурі процесу (40–70 °C), що досягається шляхом аерації (окислення органічних речовин та випаровування надлишкової вологи з субстратів), більшість патогенів знищується [23, 24]. Бактеріальні культури (*Corynebacterium*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter* і *Alcaligenes*) і гриби (*Fusarium*, гриби білої гнилі, *Penicillium*) беруть участь в процесах компостування для перетворення фенольних сполук в біогумус [22]. Використання отриманого, завдяки переробці харчових відходів, компосту в сільськогосподарських цілях несе в собі ряд позитивних моментів таких як: покращення структури ґрунту, підвищення її вологомісткості, збагачення корисними речовинами в легкозасвоюваній формі, збільшення отриманого врожаю. При використанню 1 т підстилкового гною, внесеного у ґрунт, забезпечує у рік використання приріст врожаю зернових – 10-12 кг, картоплі – 100-120 кг, при цьому 1 т біогумусу забезпечує прибавку врожаю зернових у 100-200 кг, картоплі – 1600-1800 кг, овочів – 2000 кг. Післядія внесення біогумусу відчувається протягом 5-7 років. Нідерланди (24%), Іспанія (33%) та Франція (14%), досягли значних успіхів у компостуванні частини своїх загальних відходів, підтверджуючи ефективність використання цієї біотехнології [24]. Компост можна використовувати не лише для покращення ґрунтів, а, наприклад, в якості біосорбенту для видалення Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} і Zn^{2+} та інших модельних розчинів з початковим pH 2,24 [25].

Ще однією з біотехнологій є вермикомпостування — це напрямок високоефективної та екологічної переробки харчових відходів шляхом перетворення їх у компост із використанням дощового черв'яка. Вермикомпостування є доволі перспективним та прогресивним у використанні на базі готельно-ресторанних комплексів для зменшення накопичених харчових відходів та їх належної переробки. Біогумус або вермикомпост – це органічне паливо, яке отримано шляхом переробки

органічних відходів сільського господарства з використанням дощових черв'яків та мікроорганізмів. Проходячи через шлунковий тракт черв'яків, рослинні рештки, органічні відходи, мінеральні речовини ґрунту подрібнюються, з ними відбуваються біохімічні трансформації: органічні полімерні сполуки розщеплюються на більш прості речовини, збагачуються сполуками калію, магнію, фосфору та ферментами (каталазою, уреазою, дегідрогеназою). В процесі перетравлювання рослинних решток у шлунку черв'яків зменшується вміст легко- та важкогідролізованих полісахаридів та лігніну. Одночасно проходять процеси поліконденсації низькомолекулярних продуктів розпаду органічних речовин, утворюються молекули гумінових кислот, що мають близьку до нейтральної реакцію. Перетворені мінеральні солі стають приємними для рослинних форм [26]. Копроліти, результат життєдіяльності черв'яків, являє собою матеріал збагачений корисними речовинами та мікрофлорою. Тобто за своїми фізико-хімічними властивостями, отриманий вермикомпост максимально близький до природного ґрунтового гумусу. Біогумус містить біологічно активні речовини (лумбрицини, що виробляються черв'яками, ауксини, гіберелліни та інші фітогормони), при цьому не має канцерогенних, мутагенних або тератогенних властивостей. Ще однією перевагою, яка є особливо важливою для готельно-ресторанного комплексу це відсутність неприємного запаху. Важливим для процесу вермикомпостування є дощовий черв'як, який використовують, його вид, умови вирощування, рівень зростання популяції та можливість перероблювати харчові відходи [22].

Іншим видом компостування є використання личинки чорної левини на стадії дозрівання для підвищення ефективності компостування. Результати показали, що додавання личинок прискорило процес компостування, досягнувши повністю зрілого компосту протягом 25 днів, а при дотриманні температурного режиму на рівні 25-30 °C та достатньому рівні їжі, час дозрівання скорочується до двох тижнів. *Hermetia illucens* є перспективним рішенням для перетворення ХВ в цінні продукти, такі як біомаса комах та

біодобрива, одночасно знижуючи негативний вплив утилізації відходів на навколишнє середовище, вони виявляють антимікробні властивості, виробляючи пептиди, які пригнічують патогени, що ще більше позиціонує їх як рішення з низьким рівнем ризику при переробці відходів. Високий вміст жиру в біомасі личинки чорної левини має потенційне застосування у виробництві біодизеля [27].

Анаеробне зброджування є найбільш ефективним біотехнологічним методом отримання біогазу та вторинного продукту біогумусу під час процесу переробки задля вирішення питань екологічної та енергетичної кризи. Харчові відходи з високою концентрацією вуглеводів, білків і низьким вмістом ліпідів є сприятливими для виробництва біогазу через високу швидкість гідролізу вуглеводів і білків, шляхом анаеробного зброджування [28]. Вміст ліпідів у фруктових та овочевих відходах значно низький, але високий у кухонних відходах. Було помічено, що загальний вміст ліпідів у фруктах та овочах становив 11.8% від загального вмісту кухонних відходів 21.6% [29, 30]. Ліпіди мають високу ефективність перетворення до метану та низький мікробний коефіцієнт додаткової вартості [31]. Не дивлячись на переваги переробки, технічні вимоги до ферментації досить високі, це стосується процесу сепарації харчових відходів від непридатних для зброджування матеріалів (кісточки, скло, пластикові упаковки тощо).

Під час процесу анаеробного зброджування, слід звернути увагу на розмір частинок, який має безпосередній вплив на анаеробне зброджування та ефективність перетворення харчових відходів на енергію [32]. Високий вміст олії в харчових відходах вимагає більшого часу для анаеробного зброджування [33]. Завдяки високому загальному вмісту твердих речовин (10–30%), багатством летючих твердих речовин (~90% як ЛР/ТР), від помірного до високого співвідношення C/N, харчові відходи є хорошим субстратом для перетворення на біогаз [34, 35]. Харчові відходи є цінним джерелом сировини не тільки для виробництва біогазу, з них також можна отримувати біодобрива, біоетанол, біодизель, оцет, пігменти, молочну кислоту та антиоксиданти [36].

Важливу роль у процесі анаеробного зброджування відіграє температурний режим. У термофільних умовах для спільного перетравлення харчових відходів, їх збагачують термофільними або термофільно-толерантними мікробами, вони забезпечують деградацію органіки, перенесення водню та підтримку стабільності процесу. У мезофільних умовах основні метаногени включають *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanocellus*, *Methanospirillum*, *Methanolinea*, *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, при термофільних температурах деякі специфічні спільноти вибірково збагачуються, наприклад *Methanosarcina thermophila*, *Methanothermobacter thermophilus* [37]. Для отримання максимального виходу біогазу шляхом анаеробної деградації харчових відходів додають тваринний послід (свиней, великої рогатої худоби та овець), це збільшує кількість біогазу завдяки метанотворним бактеріям в гної тварин [38].

Оптимальний температурний діапазон для бактерій залежить від організму і може бути від нижче 20 °C до понад 80 °C залежно від типу організму. Згідно з літературними джерелами бактерії поділяють на три групи відповідно до різних температурно-залежних оптимумів активності. Ці три групи відповідають таким діапазонам температур:

- психрофільний діапазон температур (< 20 °C)
- мезофільний діапазон температур (20-45 °C)
- термофільний діапазон температур (> 45 °C)

Більшість ґрунтових і водних бактерій є мезофільними. Термофільні бактерії знаходять оптимальну температуру лише вище 45 °C, тоді як психрофільні бактерії віддають перевагу температурам нижче 20 °C. Метанове бродіння відбувається у всіх трьох зазначених вище температурних діапазонах, причому більшість усіх відомих метанових бактерій мають оптимальну температуру в мезофільному діапазоні. Вплив температури на активність бактерій-підкислювачів досі мало вивчено. Однак практичний досвід показав, що ці бактерії нечутливо і гнучко реагують на температуру навколишнього середовища. У двоетапному експерименті вони показали два

чітких температурних оптимуми на стадії підкислення, з одного боку в мезофільному діапазоні при 35 °C, а з іншого боку в термофільному діапазоні при 48-55 °C. Проте для роботи двостадійних установок з гідролізом і підкисленням переважно на першій стадії необхідні подальші дослідження температурних оптимумів бактерій-підкислювачів.

Порівняно з підкислювальними бактеріями, метанові бактерії значно більш чутливі до температури. Більшість усіх відомих метанових бактерій мають температурний оптимум у мезофільному діапазоні. Вони досягають максимальної метаболічної активності при температурах від 30 до 40 °C. Проте вже виділено термофільні та високотермофільні метаногени (наприклад, *Methanobacterium thermoautotrophicum*) з оптимальними температурами між 50-55 °C і 65-75 °C.

У міру підвищення температури підвищується температурна чутливість (особливо метанових бактерій) до температурних коливань, особливо якщо вони відбуваються на короткий час і температура падає. У той час як добові коливання на 2-3 К навколо середнього значення все ще можуть бути допустимі в мезофільному діапазоні, вони не повинні перевищувати 1 К в термофільному діапазоні. Попри те, що в термофільному температурному діапазоні відбувається більш швидке, а іноді й посилене розкладання матеріалу, більшість біогазових установок працюють у мезофільному температурному діапазоні, за кількома винятками. Причина цього полягає в підвищеній потребі термофільних установок в енергії процесу, що може негативно вплинути на чистий вихід енергії та загальну прибутковість установок. Підсумовуючи, можна зробити висновок, що температури бродіння від 30 до 32 °C є достатніми для досягнення максимального діапазону виходу газу за умови, що час перебування становить щонайменше 20 днів. Однак діапазон, у якому знаходиться оптимальна температура щодо максимального виходу чистої енергії або загальної рентабельності системи, залежить від інших параметрів, таких як, наприклад, варіанти утилізації газу, властивості субстрату тощо.

Процес анаеробного розкладання відбувається в чотири стадії, що йдуть одна за одною, під час яких вихідний матеріал, що розкладається (вуглеводи, білки та жири), безперервно перетворюється на менші одиниці різними групами мікроорганізмів. Кожен з цих організмів використовує продукти попередніх етапів. Тому, в принципі, організми, розташовані далі по ланцюгу деградації анаеробного біоценозу, не залежать від вхідного субстрату [39].

Першою стадією розкладання є гідроліз, під час цієї фази відбувається біохімічне розщеплення високомолекулярних полімерів та низькомолекулярних сполук з додаванням води. Ферменти можуть або виділяти мікроорганізми, або додаватись до процесу цілеспрямовано. Ці мікроорганізми також називаються екзоферментами, оскільки вони здійснюють свою діяльність поза бактеріями. Вони або повністю виділяються в середовище, або прилипають до поверхні клітин гідролітичних бактерій цієї фази. Гідролізуючи бактерії вирішують чи буде піддаватися певний субстрат анаеробній обробці. Гідроліз є обмежувальною стадією в рослинній ферментаційній речовині, в якій присутні багато структурних речовин, таких як целюлоза, геміцелюлоза та лігнін. Наприклад, якщо субстрат жирний, стадіями, що обмежують швидкість, є гідроліз і підкислення. Тому що лише тоді, коли ферментаційні бактерії розкладають полімери на речовини, які можуть бути атаковані наступними родами бактерій, може відбутися повна деградація до CO_2 і CH_4 . Однак процес протікає оптимально, лише якщо швидкість деградації однакова на всіх стадіях. Якби гідроліз сповільнився, надходження поживних речовин для подальших фаз було б обмежене надходженням проміжних продуктів, тобто виробництво метану зменшиться без зміни процесу. З іншого боку, коли друга і третя фази сповільнюються, проміжні продукти гідролізу накопичуються, тобто, вміст CO_2 у біогазі зростає (> 30% за об'ємом), концентрація кислоти в субстраті зростає, значення рН падає нижче 7,0 і ферментер перемикається на кислотне бродіння [40, 41].

Другою стадією є ацидогенез, тобто фаза підкислення, під час якої отримані проміжні продукти після гідролізу під дією анаеробних бактерій

утворюються нові проміжні продукти (низькомолекулярні леткі жирні кислоти (ацетат, пропіонат, бутират), альдегіди, спирти, кетони, аміак, вуглекислий газ, водень), що використовуються для третьої стадії, однак з них тільки оцтова кислота, водень (H_2) і CO_2 можуть безпосередньо використовуватися метаногенами (див. табл. 1). В процесі ацидогенезу, як і в гідролізі, беруть участь багато різноманітних анаеробів, завдяки цьому ці фази демонструють високу толерантність до коливань навколишнього середовища (температура, рН, токсичні речовини) [41].

Третьою стадією є ацетогенез, під час якого низькомолекулярні органічні кислоти та спирти перетворюються в оцтову кислоту (або її розчинену сіль — ацетат), водень і вуглекислий газ. За нормальних умов ($20^\circ C$, $pH = 7$, усі концентрації субстрату = 1 моль/л) ці реакції споживають енергію, тобто вони взагалі не можуть здійснюватися бактеріями, оскільки їм самим потрібна енергія для росту [42, 43]. Водень, що утворюється в цій фазі, підвищує парціальний тиск водню, він пригнічує метаболізм ацетогенних бактерій. На четвертій стадії метаногенезу водень витрачається на утворення метану, тому ці два процеси є взаємозалежними та відбуваються поруч один з одним у своєрідному симбіозі груп залучених організмів. Під час метаногенезу метаногенні бактерії перетворюють оцтову кислоту й ацетат на CH_4 і CO_2 (приблизно 70% об'єму метаногенезу). Приблизно 27-30% від маси метаногенезу, CO_2 і H_2 , що утворюються під час ацидогенезу, перетворюються на метан і воду ($CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$) гідрогенотрофними мікроорганізмами. Це перетворення називається відновним, енергетично більш ефективним утворенням метану [44]. Метаногенні бактерії є фахівцями з субстратів, які здатні перетворювати лише невелику кількість сполук. Однак молекулярний водень можна розглядати, як універсальний субстрат для метаногенів, а CO_2 може служити джерелом С і кінцевим акцептором електронів. Метаногенам потрібен H_2 як донор електронів і вони нечутливі до вищих концентрацій H_2 [39].

Таблиця 1. Перетворення речовин під час анаеробної дегратції (гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез) з прикладами залучених мікроорганізмів [39-42]

Субстрат	Мікроорганізми	Продукти
1 стадія: Гідроліз		
Вуглеводи	<i>Clostridium sp.</i>	Моносахариди
Білки	<i>Bacillus sp.</i>	Амінокислоти
Жири	<i>Pseudomonas sp.</i>	Коротколанцюгові пептиди
		Довголанцюгові жирні кислоти
		Гліцерин
2 стадія: Ацидогенез		
Моносахариди	<i>Clostridium</i>	Низькомолекулярні леткі
Амінокислоти	<i>Bacteroides</i>	жирні кислоти (ацетат, пропіонат, бутират)
Коротколанцюгові пептиди	<i>Butyrivibrio sp.</i>	Альдегіди
Довголанцюгові жирні кислоти		Спирти
Гліцерин		Кетони
		Аміак
		Вуглекислий газ
		Водень
3 стадія: Ацетогенез		
Летючі жирні кислоти (пропіонат, бутират)	<i>Clostridium</i>	Оцтова кислота,
Альдегіди	<i>Eubacterium sp.</i>	Ацетат
Спирти		Вуглекислий газ
Кетони		Водень
4 стадія: Метаногенез		
Ацетат	<i>Methanosarcina</i>	Метан
Водень	<i>Methanosaeta</i>	Вуглекислий газ
Вуглекислий газ	<i>Methanobacterium</i>	
	<i>sp.</i>	

Жири мають найвищий, а білки найменший вміст метану. Білки також є джерелом для виробництва компонентів біогазу азоту та сірководню, що надає біогазу неприємний запах і корозійний ефект. По відношенню до маси вихідної речовини та за стандартних умов тиску та температури жири

забезпечують найбільший питомий об'єм біогазу (1200-1250 л/кг), тоді як вуглеводи виробляють 790-800 л/кг, а білки – близько 700 л/кг питомого об'єму газу [45, 46]. Харчові відходи з високою концентрацією вуглеводів, білків і низьким вмістом ліпідів є сприятливими для виробництва метану (біогазу) через високу швидкість гідролізу вуглеводів і білків [47]. Вміст ліпідів у фруктових та овочевих відходах значно низький, але високий у кухонних відходах. Було помічено, що загальний вміст ліпідів у фруктах та овочах становив 11,8% від загального вмісту кухонних відходів 21,6% [48, 49]. Ліпіди мають високу ефективність перетворення метану та низький мікробний коефіцієнт додаткової вартості [50]. Для того, щоб переробити велику кількість складних органічних речовин необхідні різноманітні ферменти і мікроорганізми, наприклад, актинобактерії, вони можуть не тільки руйнувати лігнін, індукуючи виробництво гідролази лігноцелюлози, але також прискорювати руйнування целюлози шляхом посилення активності целюлази [51].

Наявність різноманітних мікроорганізмів частково залежить від субстрату, який розкладається. Якщо це необроблений мул або стічна вода, велика кількість бактерій з першої та другої фази вводиться разом із субстратом під час введення в експлуатацію та кожного разу, коли субстрат вводиться. З іншого боку, організми третьої та четвертої фази (як при анаеробній обробці органічних відходів) відсутні й повинні пройти під час введення в експлуатацію «Інокуляцію» можна змішувати з анаеробно обробленим субстратом. Органічні речовини, такі як вуглеводи, білки або жири, розщеплюються лише до органічних, багатих енергією проміжних продуктів, таких як кислоти та спирти. Для того, щоб досягти повного розкладання цих речовин, необхідно прагнути якомога повніше перетворити їх на біогаз [39].

На бактерії впливають різні параметри процесу анаеробного зброджування, наприклад, при збільшенні концентрації субстрату (ПОН (OLRs) відбувались зміни в популяції архей через змішаний ацетат/ H_2 з

використанням метаногенів (*Methanosarcinales*) до суворого H_2 з використанням метаногенів (*Methanobacteriales*), одним з головних шляхів утворення метану є синтрофне окислення ацетату разом із гідрогенотрофним метаногенезом (SAO-HM) [44, 52]. Важливу роль у процесі анаеробного зброджування відіграє температурний режим, у термофільних умовах для спільного перетравлення харчових відходів, їх збагачують термофільними або термофільні толерантні мікроби, вони забезпечують деградацію органіки, перенесення водню та підтримку стабільності процесу. У мезофільних умовах основні метаногени включають *Methanosaeta*, *Methanosarcina*, *Methanocellus*, *Methanospirillum*, *Methanolinea*, *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, при термофільних температурах деякі специфічні спільноти вибірково збагачуються, наприклад *Methanosarcina thermophila*, *Methanothermobacter thermophilus* [53]. Чисельність функціональних бактерій змінюється залежно від ряду параметрів, таких як: загальне органічне навантаження, час утримання мулу, склад субстрату спільного травлення, робоча температура, розділення кислотної та метаногенної фаз. [44, 54-56].

Порівнюючи анаеробного зброджування з класичними методами переробки або утилізації відходів (компостування, спалювання, захоронення, збереження на відкритих звалищах), чітко видно економічну ефективність та альтернативу вже існуючому управлінню міськими органічними відходами, тобто при скороченні кількості відходів виробляється біогаз та біодобриво, що відтворює концепцію вторинного використання ресурсів з перетворенням їх на біоенергію [57, 58].

В ряді досліджень використовували різні харчові відходи в якості субстрату в різних співвідношеннях (м'якоть томатів, виноградну м'якоть та оливкову м'якоть разом з гноєм тварин), в усіх дослідках додавання посліду збільшувало кількість отриманого біогазу та чим вищим був вміст гною, тим швидше відбувалось утворення біогазу. Фруктові та овочеві відходи мають високу вологість органічних речовин, що біологічно розкладаються та використовують для отримання біогазу, наприклад, капустяні рештки дають

0.23 м³ метану з 1 кг летких твердих речовин, насіння та шкірка томатів - 218 л метану на 1 кг, кукурудзяні рештки - 317 л метану на 1 кг, а чайні рештки - 385 м³ на 1 тонн летких речовин [59, 60]. Дослідженню впливу параметрів процесу, субстрату, сторонніх факторів на об'єми й склад біогазу присвячено велику кількість робіт науковців зі всього світу, утворення біогазу було відтворено на різних за типом установках та із різним складом субстрату, наприклад, виробляли біогаз з фруктових та овочевих відходів використовуючи інтегровану систему, де виробництво астаксантину з відходів розглядалося, як субстрат. При реалізації цього дослідження інтегрували біореактор та реактор з водоростями, утворений вуглекислий газ використовували для культивування *Haematococcus pluvialis*. Використані водорості добре зростали на вуглекислому газі з біогазу, використовуючи його, як джерело вуглецю, при цьому таке виробництво біогазу та зростання водоростей в інтегрованій системі виявилось набагато економічним та екологічно чистим ніж при окремому виробництві [61].

Проводились дослідження у три паралелі при температурі (55 °C) еталонної біогазової установки тривалістю від 33 до 37 днів (залежно від кількості виробленого біометану), зразки субстрату, дигестату та однорідні суміші збирали з біогазової установки промислового масштабу, визначено вміст піску в різних потоках субстрату для розробки експерименту щодо впливу вмісту піску на ефективність виробництва біометану. Проводились аналізи: максимальний потенціал субстрату для утворення метану в ідеальних умовах, аналізи загальної кількості твердих речовин, летких твердих речовин і рН для субстрату, дигестату та тестових зразків. При інших дослідженнях виявили, що збільшуючи час утримання з 30 днів до 50 днів концентрація ТР підвищилася з 43 г/л до 56 г/л, шляхом зменшення ЛР та збільшення виходу біогазу збільшується продуктивність процесу, це можна пояснити зміною мікробів та кращим проходженням етапу гідролізу [62].

Окрім, харчових відходів в якості субстрату часто використовують різні варіації органічних відходів, наприклад, досліджувалось анаеробне

зброджування пшеничної соломи та інших сільськогосподарських відходів зі стічними водами з інтеграцією біоелектрохімічного реактора при різних напругах. Розглядали наступні параметри: Гідравлічний час утримання, швидкість завантаження органіки та напруга живлення, де виробництво метану було максимальним ($16\,349.17 \pm 154.14$ мл), було використано біоелектрохімічний метантенк, що працює при напрузі 40 mV. Різні напруги також значно підвищили швидкість видалення ХСК, яка була найвищою (175.17 ± 81.39 мл г⁻¹) при 40 mV [63].

Склад субстрату є вирішальною відправною точкою для виробництва біогазу, оскільки він впливає на підтримку життєдіяльності, з одного боку, і формування нової клітинної речовини в організмах (розвиток біоценозу), з іншого. Основні органічні компоненти субстрату, необхідні організмам, можна розділити на вуглеводи, жири та білки. Насамперед їх слід розглядати як сировину для виробництва газу. Крім органічних речовин, живим істотам необхідна також велика кількість неорганічних речовин (азот, фосфор, кальцій, натрій, калій). Крім того, важливий збалансований запас мікроелементів [45]. Потреба в поживних речовинах для анаеробних мікроорганізмів значно нижча, ніж для аеробних бактерій, оскільки в анаеробному процесі утворюється набагато менше біомаси (пов'язаної з розкладеною органікою). Швидкість росту анаеробних бактерій також повільна [64, 72]. Анаеробні бактерії потребують значно менше вуглецю, ніж аеробні бактерії. Під час анаеробної деградації лише 1-5% маси вуглецю для утворення біомаси перетворюється, але 90-95% маси перетворюється на біогаз. Склад субстрату безпосередньо пов'язаний зі складом утворених метаболітів, так, наприклад, на пропорції основних метаболічних продуктів повного анаеробного обміну (CH₄, CO₂) істотно впливає вихідний субстрат.

Для реалізації анаеробного зброджування використовують різні види біореакторів, але не всі вони підходять для певних умов дослідів, наприклад, при застосуванні Анаеробного мембранного біореактора для обробки потоку відходів не рекомендується використовувати сировину з низьким вмістом

вологи та високим вмістом твердої речовини через проблеми масообміну та забруднення мембрани. Спільне зброджування різноманітної сировини (харчові відходи, відпрацьований осад, кавова мелена, тваринний гній і пов'язаний фільтрат), на практиці використовується постійно при процесах анаеробного зброджування, з використанням анаеробного мембранного біореактора, що підтверджується більшою потужністю очищення та більшою кількістю біогазу. Анаеробне зброджування субстратів з різними за вмістом значеннями ТР частіше використовують у дослідженнях анаеробного мембранного біореактора, завдяки кращому C/N і балансу, регулюванню вологості, розведенню токсичних речовин, а також більшій різноманітності мікробного співтовариства [55, 65, 66]. Вивчалися обмеження вмісту ТР та їх вплив на анаеробну деградацію, використовували Анаеробного мембранного біореактора з високим вмістом твердих речовин для обробки фільтрату твердих міських відходів підтримувалася стабільна ефективність очищення, а стабільний потік був визначений як 5–6 добового навантаження субстрату на одиницю площі реактора, максимум ТР = 61 г/л [67].

При інших дослідженнях, виявили, що збільшуючи час утримання з 30 днів до 50 днів концентрація ТР підвищилася з 43 г/л до 56 г/л, шляхом зменшення ЛР та збільшення виходу біогазу збільшується продуктивність процесу, це можна пояснити зміною мікробів та кращим проходженням етапу гідролізу [55, 68].

Для процесу отримання біогазу одними з ключових параметрів є, наприклад, рівень органічного завантаження, гідравлічний час утримування (ГЧУ), змішування та рН, загальний органічний вуглець (ТОС), загальний азот, розмір часток, загальна кількість твердих речовин, характеристики живлення, саме через це у 2020 році моделювали найкращі умови роботи біогазової установки купа досліджень була направлена для покращення індивідуальних умов для виробництва біогазу під час анаеробного зброджування [69–72]. Для прогнозування та визначення найкращої комбінації параметрів виробництва біогазу в різних масштабах

використовують статистичні підходи (машинне навчання та прогнозна аналітика), що допомагають при дослідженні оптимальних умов анаеробного зброджування [73, 74].

Проводились дослідження у три паралелі при температурі (55° C) еталонної біогазової установки тривалістю від 33 до 37 днів (залежно від кількості виробленого біометану), зразки субстрату та дигестату та однорідні суміші збирали з біогазової установки промислового масштабу, визначено вміст піску в різних потоках субстрату для розробки експерименту щодо впливу вмісту піску на ефективність виробництва біометану. Проводились аналізи: максимальний потенціал субстрату для утворення метану в ідеальних умовах, аналізи загальної кількості твердих речовин, летких твердих речовин і рН для субстрату, дигестату та тестових зразків. Компостування фільтрату призводило до утворення великої кількості розчинених солей, органічних речовин, аміаку, патогенних мікроорганізмів і важких металів. Незрілий компостований фільтрат має кислий рН, а зрілий фільтрат має лужний рН, фільтрат був зрілим фільтратом зі значенням рН 8,54, тобто підвищена кількість фільтрату не спричинила кислого середовища чи негативного впливу на систему, значення рН в реакторах коливалося між 7,93 і 8,24, а вимірювання рН до і після випробування показали, що значення рН протягом періоду випробування залишалося майже стабільним. Причиною високого рН у другій серії експериментів на початку був відкладений початок цього тесту порівняно з іншими. Дводенна інкубація посівного матеріалу при 55° C збільшила значення рН [75].

Тривалість випробувань для отримання біогазу в одному з досліджень відбувалося протягом 42 днів, після 15 дня виробництво біогазу на добу було менше ніж 5%, на цьому робили висновки, що процес анаеробної деградації можна завершити, всі досліджені суміші показували майже однакові значення утворення біогазу [76]. Під час випробувань в іншому дослідженні з 3 по 8 день, було отримано між 54 та 62% CH₄ [77].

При використанні в якості субстрату соєві відходи, жом, шкірки папаї, великий калган та солому, середня швидкість виробництва біогазу становила 63,01, 16,28, 54,63, 0,68, 13,94 та л/добу⁻¹, відповідно, найбільше було утворено біогазу за 25 днів – 560,47 мл, за 15 днів отримано 404,24 мл [78, 79].

Збільшенню виробництва біогазу сприяє додавання коров'ячого гною, в досліді з апельсинами, яблуками, папаєю та томатами, в якості субстрату в співвідношенні 2,2:2,8, протягом 105 днів з використанням двоступеневого напівбезперервного метантенка, показник оптимального органічного завантаження коливався між 2,68 та 2,97 кг летких речовин м⁻³ д⁻¹ показав вихід біогазу 0,87 м⁻³ кг⁻¹ ЛР з вмістом метану 57,58% в середньому [80, 41, 81].

Дослідження поступових завантажень на установці БУ-1 були реалізовані з іншими субстратами, які містили гній ВРХ, воду, сирий гліцерин, згідно з їх дослідження спостерігалися два піки, а після 8 доби бродіння біогазу стабілізувалося, тобто спостерігалась рівномірна генерація [81].

Окрім найбільш розповсюджених біотехнологій, слід відзначити найпопулярніші вторинні продукти, які вироблені із харчових відходів:

1. Біогаз є одним з найпоширеніших видів палива, що виробляється з харчових відходів, він безбарвний, немає запаху та горить синім полум'ям. Біогаз — це відновлюваний газ, який містить велику кількість метану (55-65%) і вуглекислого газу (30-45%) і меншу кількість сірководню, аміаку, водню і кисню, його здатність до горіння пояснюється наявністю достатньої кількості метану. Однак, велику роль в використанні біогазу в якості палива відіграє відсоток метану, який в ньому міститься, якщо в біогазі понад 45% метану він буде горючим, якщо вміст перевищить 80%, тоді його можна використовувати на підприємствах для різних цілей. Отримання метану з харчових відходів відбувається шляхом анаеробного зброджування з використання мікробів, під час цього процесу складні органічні компоненти перетворюються на прості складові за умови відсутності кисню. Результатом анаеробного зброджування

є біогаз, який складається з CH_4 та CO_2 , також наявні домішки у вигляді невеликої кількості сірководню (H_2S), аміаку (NH_3) та інших газів [6, 82, 83].

2. Біодобрива – це специфічні ґрунтові мікроорганізми, які в поєднанні з синтезованими ними біологічно-активними речовинами насичують культури різноманітними хімічними елементами, що сприяє стимуляції росту та якості продуктів, їх можна отримувати завдяки ряду біотехнологій, наприклад, компостування (цільовий продукт) або анаеробне зброджування (побічний продукт). Наприклад, в одному з проведених досліджень змішували овочеві відходи з бактеріями *Bacillus* і *Pseudomonas*, що були виділені з ґрунту, потім до приготовленого компосту додавали насіння зеленого грама і проаналізували різні параметри росту, з додаванням мікробного посіву спостерігалось покращення росту та стану здоров'я *Capsicum annuum* [6, 37, 42, 66, 82]. Для отримання біодобрив використовують різні технології, найбільш популярними є компостування, вермикомпостування або отримання гумусу в якості вторинної сировини в процесі анаеробного зброджування.

3. Біоетанол це екологічно чисте паливо для транспортних засобів та підприємств, яке має відновлювальний характер, його отримання відбувається шляхом зброджування цукру до спирту. Біоетанол має високе октанове число, завдяки чому не будуть пошкодженні елементи двигуна, температура кипіння складає 78°C , а ще його в'язкість вища ніж у бензині. Використовуючи різні суміші соків (фініків, винограду) вже отримували якісний біоетанол, також часто використовують інші фруктові та овочеві відходи (манго, банани тощо) [6, 16].

4. Біодизель – екологічно чисте пальне, яке отримують шляхом переестерифікації жирних кислот у присутності каталізатора (лужного або кислотного). Однією з причин для досліджень та спроби отримати біодизель є те, що значну кількість вуглекислого газу виробляють транспортні засоби та підприємства використовуючи загальноприйнятий дизель вироблений з нафти. Його отримання достатньо дороге, але при використанні гетерогенного

біокатализатора та неїстівних олій і харчових відходів з високим вмістом ліпідів, робить виробництво значного економічно ефективним [6, 12].

Під час захоронення відходів на сміттєзвалищах та полігонах відбувається ряд біологічних, хімічних та фізичних процесів, вони призводять до деградації відходів, тобто утворенню біогазу і фільтрату зі сміття, які не повинні потрапляти до навколишнього середовища, та мають бути видалені. Утворення фільтрату відбувається під час потрапляння води, що стікає через відходи, збираючи сміття та дуже негативно впливає на ґрунт та ґрунтові води, адже вміст шкідливих речовин занадто різноманітний [84-86]. Нераціональне використання більшості продуктів та неефективне управління відходами створює проблеми по всьому світі, а політичні складові впливають на відставання розвитку переробки та утилізації через відсутність умов для наукового вирішення цих питань, надалі це може створити більш серйозні проблеми для людства. Виходячи з того, що органічні відходи є цінними джерелами органічного вуглецю, який використовують для виробництва біопалива, біоматеріалів, біоактивних речовин [82].

1.4. Використання відпрацьованої кавової гущі для оптимізації біотехнологічних процесів анаеробного зброджування.

Нераціональне використання природних ресурсів людиною призводить до накопичення відходів, які не підлягають належній переробці або утилізації, одним з них є харчові відходи, їх накопичення на полігонах чи сміттєзвалищах призводить до збільшення викидів парникових газів в атмосферне повітря, тому їх ефективна та економічно вигідна переробка є актуальною проблемою. До харчових відходів відноситься відпрацьована кавова гуща, яка накопичується в великих об'ємах через збільшення споживання кави у світі та Україні. За статистичними даними Міжнародної організації кави від 2021 року, за період з 2019 по 2020 рік світове виробництво кави становило 20 трильйонів кг, цей показник збільшився на 0,1% у 2022-2023 роках, за період 2023-2024 рік підвищення споживання збільшилось до 2,2%. Світовий експорт

кави у липні 2024 року становив 11,29 млн мішків, в той час, як у липні 2023 року цей показник - 10,06 млн. Експорт за перші 10 місяців кавового року 2023/24 (жовтень 2023 - червень 2024 року) збільшився на 10,5% до 115,01 млн мішків порівняно з 104,05 млн мішків за той же період у 2022/23 році. За дванадцять місяців, що закінчилися в липні 2024 року, експорт арабіки склав 82,26 млн мішків у порівнянні з 74,37 млн мішків минулого року; тоді як експорт робусти становив 51,62 млн мішків порівняно з 49,75 млн мішків [87]. Враховуючи зростаючу кількість споживання кави у світі, неспинно збільшується показник утворення відходів з відпрацьованої кавової гущі (ВКГ), яка є підходящою сировиною для отримання біовугілля, що можна використовувати в різних сферах діяльності, як альтернативу звичним видам палива, або як інтенсифікатор процесу метанового бродіння для процесу анаеробного зброджування з метою отримання біогазу [88].

Біочар – це пористий, твердий, аморфний та багатий на вуглець залишок після піролізу біомаси, який є схожим на деревне вугілля, але з більшою питомою поверхнею, вищою ароматичністю, різноманітністю функціональних груп, та має у своєму складі водень, кисень, азот, сірку та золу. Біовугілля здебільшого характеризується трьома хімічними елементами у своєму складі, а саме Карбон, Гідроген та Нітроген, що становить приблизно 44,03, 8,04 та 0,17 % відповідно. [89, 90]. В інших дослідженнях вміст карбону та інших хімічних елементів варіювався в певному діапазоні, який залежав від температури: С – 52-75,16 % мас; Н – 6,33-7,22 % мас, N – 2,14-3,72 % мас, S – 0,13-0,15 % мас та О – 13,51-38,51 % мас [91, 92]. Інші показники сировини та біочарів, такі як вміст вологи, летючих речовин зі збільшенням температури знижувались (4,90-0,84 та 76,34-50,32 відповідно), в той час, як зв'язаний вуглець та зола показали збільшення значень (17,96-47,70 та 0,82-1,15 відповідно) [92]. Результати хімічного аналізу сировини та біочарів, що визначаються вмістом геміцелюлози, целюлози, лігніну та білку становили 32,70; 30,31; 35,37 та 10,0-17,4 мас.% відповідно [91, 93]. Значення

екстрактивності деіонізованої води, екстрактивності етанолу та загальної екстрактивності відповідали 14,46; 12,46 та 26,92 відповідно[91].

На фізико-хімічні характеристики (фізична, хімічна, спектральна, морфологічна характеристики) біовугілля найбільший вплив чинить температура. Отримання біочару відбувається за декількома технологіями, наприклад, повільний піроліз (300–700 °C), швидкий піроліз (300–1000 °C), проміжний піроліз (300–500 °C), миттєва карбонізація (300–600 °C), газифікація (600–1500 °C), торрефікація (200–300 °C), гідротермальна карбонізація (100–300 °C), мікрохвильовий піроліз (350–650 °C (400–2700 Вт)). Різниця між цими технологіями не лише в температурі, а ще в часі витримки сировини та виході біовугілля [94]. Найбільш розповсюдженими в експериментальних дослідженнях з цих технологій вважається повільний та швидкий піроліз, а найбільш ефективним за виходом біовугілля є повільний піроліз (21-80%), перспективним напрямком дослідження є також мікрохвильовий піроліз (мікрохвильове опромінення) (15-80%) [94]. Протягом процесу піролізу відбувається руйнування функціональних груп, що має вплив на структуру біовугілля та хімічні властивості, при цьому атомне співвідношення вуглецю збільшується зі збільшенням температури піролізу, інші атомні компоненти, такі як Гідроген, Оксиген, Нітроген та інші, зменшуються [95].

При піролізі кавової гуші в інтервалі температур від 200 до 850 °C та обробці різноманітними реагентами, можна отримувати різний за властивостями біочар [88]. При термічній обробці за температури 850 °C протягом часу з обмеженим вмістом O_2 (20%), шляхом карбонізації отримували біочар, маса якого здебільшого складалася з вуглецю та кисню, також була відмічена наявність незначної кількості інших мінералів. Біовугілля після обробки збільшило обсяг пор до 0.238 мл/г, з яких 0.177 мл/г відповідає мікропорам, а загальна площа поверхні мікропор становила 379 $m^2 \cdot g^{-1}$. Для кращої якості біовугілля, а саме вмісту в ньому більшого відсотка Карбону, важливу роль відіграє висока температура, завдяки швидкому

видаленню летучих сполук з біомаси сировини, за технологією швидкого піролізу соснової тирси було отримано вихід з 70,68 до 78,75% за температури 550-750 °C [96]. За технології повільного піролізу пшеничної соломи було отримано вихід 94,8 мас.%, при температурі (750–900 °C) та 30 хвилин перебування деревинної біомаси в печі, було отримано якісне біовугілля, яке може замінити звичне вугілля [97].

Проводились дослідження, в яких варіювали вплив атмосфери CO₂ з N₂ на процес повільного піролізу харчових відходів, досліди проводили при різних температурах 400, 500 та 600 °C з однаковою для всіх зразків швидкістю нагріву 5 та 15 °C/хв протягом 1 години. Отриманий біочар мав різні фізико-хімічні властивості, атмосфера CO₂ збільшувала вихід біовугілля, при цьому зменшилась кількість летучих речовин, збільшився вміст вуглецю та були отримані більш низькі молярні співвідношення O/H і O/C порівняно з атмосферою N₂. Об'єм пор (ОП) та площа поверхні (ПП) біовугілля були різними залежно від використаної сировини, наприклад: з харчових відходів (ХВ) ПП 19,9140 м²/г та ОП 0,0097 см³/г; з рисового лущиння ПП 141,0356 м²/г та ОП 0,0843 см³/г; з виноградних відходів ПП 104,5600 м²/г й ОП 0,0661 см³/г [98]. Було проведено велику кількість досліджень, які стосувались вищезазначених технологій, наприклад, було запропоновано використовувати проміжний піроліз курячого посліду в шнековому реакторі, при температурі 350 °C, швидкості нагріву 4,5 °C/хвилин, результатом стало отримання біовугілля з виходом в 55,7%, а вміст Карбону в ньому становив 62% [99]. За цією ж технологією було отримано біочар з виходом 19% шляхом процесу піролізу трави реп'яха при 600 °C та швидкості нагріву 50 °C/хв. [100]. Використання відпрацьованої кавової гущі в якості вторинної сировини не є чимось новим та недослідженим, але його переробка в біочар, наприклад, шляхом традиційного піролізу є затратним з економічної точки зору, що обмежую його використання для промислових масштабів.

Мікрохвильовий піроліз (МХ) розглядається, як альтернатива традиційним технологіям отримання біовугілля в реакторах, він є більше

регульованим порівняно з попередніми технологіями, проходить одностадійно, має економічний та енергоефективний позитивний вплив. МХ генерує тепло завдяки молекулярному руху, який викликаним рухом іонів та дипольних часток, такий вид нагріву на молекулярному рівні призводить до швидкого, ефективного та однорідного нагріву сировини по всьому реактору [101]. Переваги та недоліки цієї технології були проаналізовані під час досліджень таких параметрів процесу, як температура [102, 103], масова витрата сировини [104], потужність мікрохвильова [105], швидкість нагріву [106, 107] та час перебування сировини в реакторі [102, 108]. Ще одним позитивним фактором для використання саме мікрохвильового опромінення є більш швидкий початок нагріву, швидкість нагріву та рівномірність нагріву. Зазвичай мікрохвильові печі комерційного призначення працюють на частотах 915 МГц та 2,45 ГГц, діапазон довжини хвилі становить 10^{-3} та 1 м та енергію фотона від 1,2 мкєВ до 1,2 мєВ [109].

Харчові відходи також активно використовувалися в якості сировини для мікрохвильового піролізу, наприклад, за температури 500 °C протягом 5 с відбувався процес спалювання харчових відходів в мішках для сміття, вихід біомаси становив 61,25 мас. %, на базі цього дослідження було розроблено квадратичну поліноміальну модель для прогнозування виходу біовугілля при варіації різних параметрів процесу [110]. Біовугілля, отримане шляхом мікрохвильового піролізу кухонних відходів з рисовою соломою та ZnCl_2 в якості сенсатора продемонструвало в співвідношенні 1:1, низьку зольність у поєднанні з високою теплотворною здатністю (20,550 МДж/кг), високий вихід енергії (55,944%) та високий коефіцієнт використання палива (<5,267) [111]. Кавова гуща також була залучена при піролізі, який проводився в інтервалі температур 400–750 °C та швидкості нагріву 50 °C/с в атмосфері гелію, за результатами дослідження було отримано цільові продукти, такі як біогаз, біовугілля [112]. Отримували біовугілля з відпрацьованої кавової гущі: за температури 90°C протягом ночі висушували біомасу, потім змішували з хлоридом цинку (ZnCl_2) у співвідношенні 1:0,5 та проводили піроліз при

температурі 900°C протягом 1 годин при 10°C/хв. Отриману масу промивали водним розчином HCl (10 мас.%), та дистильованою водою й етанолом (99,7%), потім просушували при 60°C протягом ночі та отримували біовугілля [113].

Було проведено багато досліджень біовугілля на різні фізико-хімічні властивості, такі як висока ємність катіонного обміну, питома площа поверхні, пористість, різноманітні поверхневі функціональні групи та висока водоутримуюча здатність, також оцінено потенціал поглинання вуглецю від 2,57 до 6,60 Гт CO₂-еквівалента на рік у глобальному масштабі [114]. Відходи шкірки маніоки, для трансформації її в біочар використовували реактор з висхідним потоком повітря з ретортним нагріванням, де протягом 160 хв відбувалась карбонізація при піковій температурі 338 °C. Результатом піролізу стало збільшення виходу біовугілля на 55,13 % в порівнянні з іншою сировиною. Цей біочар складається з аналогічних, але з більш кисневмісних функціональних груп, площа поверхні BET та діаметр пор - 319,784 м²/г та 2,447 нм відповідно до інших відходів. Тобто відходи шкірки маніоки мають перспективу для використання в якості сировини, можуть термохімічно бути перероблені в біовугілля в реакторі без електричного живлення, процес є достатньо дешевим, екологічним та може позитивно вплинути на зниження викидів парникових газів в атмосферу. Якщо порівнювати біочар зі шкірки маніоки, то площа поверхні BET була нижчою порівняно з літературними джерелами, в яких під час термохімічної карбонізації відходи жому цукрової тростини становили 533,6 м²/г, а масляничній пальмі - 352,9 м²/г [115].

Проведені раніше дослідження біочару з відпрацьованої кавової гущі в порівнянні з біочаром з інших органічних відходів показували більш низьку зольність та вологість, при високому вмісті летучих речовин, також вміст карбонільних груп (1730 см⁻¹) був значно вищим ніж з відходів чаю. Наявні смуги в області 1250–1000 см⁻¹ характерні для целюлози, геміцелюлози та лігніну, що може належати до коливання валентних зв'язків CO. Конверсія

летучих речовин становила 76 % для кави та 65% для чаю, а вихід вуглецю 22% та 31% відповідно) [91].

Біовугілля із відходів харчової промисловості використовується в якості чистого палива, для вилучення забруднюючих речовин та компостування органічних відходів, для видалення важких металів, отримання будівельних матеріалів та використання в якості інтенсифікатора процесу метанового бродіння [115-118]. Біочар активно використовують в промислових процесах на косметичних (очищувальний засіб), медичних (активоване вугілля), харчових (кормові добавки), текстильних (каталітичні носії при очистці стічних вод від барвників), будівних підприємствах (ізоляція споруд тощо), при виготовленні електродів, наприклад, біочар застосовують для видалення смол, або в якості каталізаторів при очищенні синтез-газу [119].

Біочар використовується при анаеробному зброджування харчових відходів для підвищення ефективності та продуктивності процесу отримання біогазу. Це відбувається шляхом мікробного збагачення, збільшення буферних можливостей та інгібування аміачної кислоти біовугіллям, що дозволяє збільшити виробництво метану приблизно на 20 % та зменшити кількість накопиченого ЛЖК, якщо процес відбувався в мезофільних термічних умовах [120-124].

Отриманий біочар з відпрацьованої кавової гущі шляхом традиційного піролізу та мікрохвильового випромінення має перспективу, як матеріал, який може ефективно сорбувати іони свинцю, метою даного дослідження є порівняння сорбційних властивостей біовугілля. Сорбційні властивості є одним з показників якості, що допомагають прогнозувати дію біочарів отриманих з широкої номенклатури біомаси в якості сировини в різних процесах. Отримані біочари з органічних відходів вже проявили себе ефективними сорбентами забруднювачів навколишнього середовища, таких як іони важких металів, нафта та нафтопродукти, забруднювачі мікробіологічного походження та ін. Використання біочару при анаеробному зброджуванні підвищує продуктивність процесу та кількість отриманого

біогазу завдяки збільшенню буферних властивостей, інгібуванню аміачної кислоти біовугіллям та покращенню мікробного збагачення [120-122]. Враховуючи, що термічні умови процесу сильно впливають на анаеробне зброджування, слід зазначити, що використання біовугілля може збільшити кумулятивне виробництво метану приблизно на 20% та зменшити накопичення ЛЖК при мезофільних умовах [123]. Показано, що за термофільних умов спостерігалось 1,8-кратне збільшення виробництва біогазу [124].

Для оптимізації та удосконалення процесу анаеробної деградації використовують багаті на вуглець матеріали, які сприяють збільшенню виходу біогазу, одним з таких є біочар, що отримується в результаті термохімічної конверсії відходів біомаси, його відносять до гранульованої твердої речовини, що є стабільною та має мікропористу структуру з великою площею поверхні. Виробляти біовугілля можна в великій кількості та відносно дешево, в якості сировини для отримання біочару використовують широкий перелік органічних відходів, наприклад, кавову гущу або шкірки цитрусових.

Висновки до розділу 1

1. За результатами проведення аналізу літературних джерел, патентів, різних наукових праць, було встановлено, що на цей час гостро постали питання виробництва енергоносіїв, глобального потепління та раціонального використання харчових відходів на порозі можливого дефіциту енергії та продовольчих товарів по всьому світу. Виходячи з сьогоденних викликів, які встають перед людством, прискорений розвиток зеленої (відновлюваної) енергетики та зменшення харчових відходів є обов'язковою умовою для поліпшення нинішньої ситуації та не допущення її погіршення.

2. Встановлено, що харчові відходи від діяльності готельно-ресторанного бізнесу є джерелом забруднення навколишнього середовища через відсутність їх переробки або утилізації. Високий вміст органічних речовин в них є тягарем для муніципальних звалищ, ці відходи часто

неналежним чином утилізуються на околицях міст або поблизу водних ресурсів. Харчові відходи відносяться до IV класу небезпеки (мало небезпечні відходи), але вони мають бути утилізовані, перш ніж у них почнеться процеси бродіння та гниття, що спричиняють як викиди, так і неприємний запах, а також фільтрат, який створює потенційну загрозу для природного балансу, ґрунту та підземних вод.

3. Проаналізовано вплив харчових відходів на кліматичні зміни, а саме глобальне потепління, перш за все за рахунок викидів метану та вуглекислого газу (CO_2). З іншого боку, органічні відходи є джерелом енергії, оскільки вони перетворюють енергію сонячного випромінювання прямо (у випадку рослинного матеріалу) або опосередковано (у випадку тваринного матеріалу) і зберігають її у формі сполук вуглецю.

4. Встановлено, що біотехнологічні методи для утилізації та переробки харчових відходів в цільовий продукт із доданою вартістю є перспективними з точки зору екологічності процесу, відсутності значного антропогенного впливу та побічних наслідків для флори та фауни. Використання біотехнологій дозволяє отримувати низку вторинних продуктів, що можуть використовуватися в циклічній економіці. Енергетична криза спонукає шукати нові варіації для впровадження біотехнологій, завдяки чому можна поліпшити ситуацію. Сфера готельно-ресторанного бізнесу має перспективи для переробки харчових відходів для подальшого отримання корисної сировини як біогаз. Використання біогазових установок в готельно-ресторанних закладах дає також економічні переваги шляхом економії на комунальних послугах, виробництві та продажу біогазу та додаткового продукту — біогумусу. Для таких підприємств можливе використання невеликих за об'ємом та обсягом біогазових установок, але залежно від рівня споживання електроенергії та тепла можуть бути розглянуті, як мало масштабні реакторні установки, так і великомасштабні.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ В АНАЕРОБНОМУ ЗБРОДЖУВАННІ

2.1. Постановка мети та завдань дослідження

Для досягнення поставленої мети та завдань дисертаційної роботи виділено основні напрямки проведення теоретичних, експериментальних досліджень та програми їх реалізації, що ілюстрована на схемі (Рис 2.1)

Програма проведення дисертаційного дослідження поділена на декілька етапів, на яких базується дослідження за темою, а саме:

1. Теоретичні дослідження, які складаються з аналізу літературних джерел, патентів, наукових праць щодо впровадження біотехнологій з отримання біогазу з харчових відходів шляхом анаеробного зброджування та інших споріднених технологій для визначення методів по його дослідженню.

2. Постановка мети та завдань дослідження;

3. Комплексна оцінка впливу готельно-ресторанного комплексу на компоненти довкілля за допомогою аналізу життєвого циклу продукції та визначення екологічності приміщень. Визначено екологічні аспекти, що впливають на навколишнє середовище та розроблена методологія оцінки екологічності приміщення;

4. Переробка відпрацьованої кавової гуші на вторинну сировину для використання, як інтенсифікатора процесу метанового бродіння харчових відходів готельно-ресторанного комплексу у біогаз. Дослідження хімічного складу, сорбційних, іонообмінних, катіонних властивостей та структурних характеристик отриманих біочарів. Дослідження процесу анаеробного зброджування харчових відходів з використанням біочару. Підбір оптимальних умов для проведення анаеробного зброджування та аналіз показників процесу.

5. Удосконалення переробки відпрацьованої кавової гуші у вторинну сировину із доданою вартістю та переробки харчових відходів при процесі

анаеробного зброджування. Удосконалення технологічних схем біотехнологічних процесів;

6. Впровадження розроблених технологій у виробництво на підприємстві Кафе-бар «РіО» (готельно-ресторанний комплекс) та у навчальний процес (дисципліни «Інженерні методи захисту довкілля у розділі «Методи переробки та утилізації відходів» та Екологічна безпека технології виробництв у розділі «Екологізація виробництва»).

Методологія експериментального дослідження базується на системному аналізі технологій захисту навколишнього середовища направлено на виявлення факторів, що впливають на екологічну безпеку та можуть виступати джерелами викидів забруднюючих речовин та нести антропогенний вплив на компоненти довкілля. Експериментальне дослідження проводили за розробленою програмою (Рис. 2.1.) та подальшою обробкою результатів статистичними методами. Методом балансових схем та релевантних таблиць було проведено якісно та кількісно оцінку життєвого циклу продукції готельно-ресторанного господарства та його вплив на довкілля. Використовуючи бальну систему оцінки екологічного менеджменту було ідентифіковано та оцінено екологічні аспекти готельно-ресторанного комплексу, розроблена програма організаційних, технічних та технологічних заходів системи екологічного менеджменту.

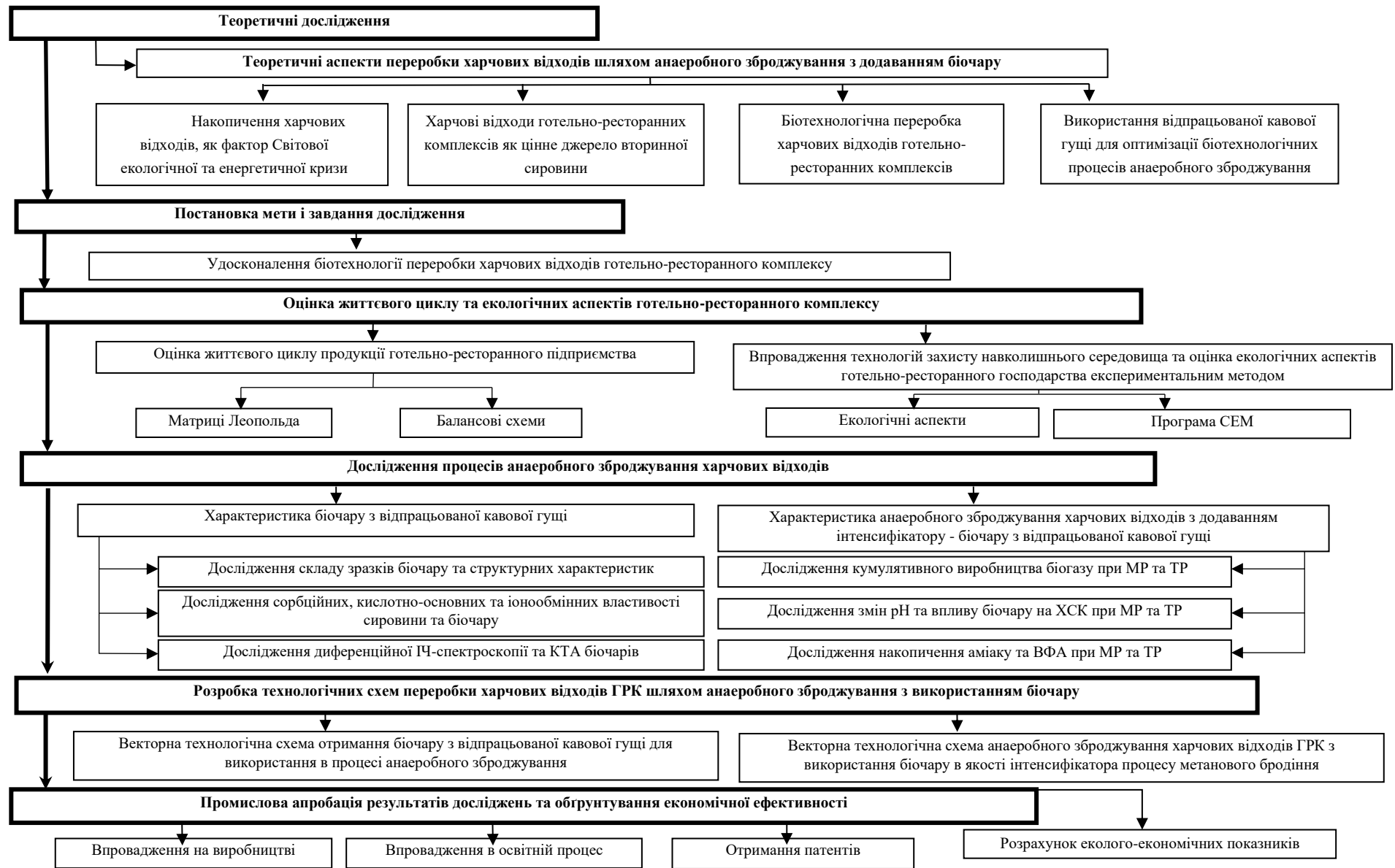


Рис. 2.1 – Програма дисертаційного дослідження

2.2. Оцінка життєвого циклу та екологічних аспектів продукції готельно-ресторанного комплексу на компоненти навколишнього середовища

Важливою складовою технологій захисту навколишнього середовища в розрізі даного дисертаційного дослідження є вивчення впливу факторів господарської діяльності готельно-ресторанних комплексів, що негативно діють на компоненти довкілля, використовуючи методи оцінки життєвого циклу та екологічних аспектів виробництва продукції сфери HoReCa. Оцінка екологічної небезпеки це комплексний, складний та інтеграційний процес, що вивчається не перший рік. На цей час існує широкий перелік методик та підходів до оцінки екологічності, але вони не утворюють єдиного комплексного методу, який міг би в повному масштабі оцінити вплив підприємств готельно-ресторанного комплексу на живу природу, її стан в цілому та здоров'я людей і тварин. [125, 126]. Ці методології містять оцінку життєвого циклу на базі програмного забезпечення Sima Pro, Ecoinvent та інших, а саме: Екоіндикатор-95, Екоіндикатор-99, ReCiPe, MIPS-аналіз, ПЕЕПГ [127, 128].

У цьому дослідженні вивчається глобальний вплив харчових відходів, фактори, що впливають на їх утворення та потенційні екологічні вигоди від запобігання відходам. У ньому вивчаються показники споживчих харчових відходів, де викидається близько 17,5% готової їжі, включаючи кухонні відходи (2,2%), відходи обслуговування (11,3%) та залишки їжі клієнтів (3,9%) [129]. Крім того, у дослідженні розглядаються стійкі методи управління відходами, включаючи методи попередньої обробки, такі як апсайклінг, мікробна конверсія, анаеробне спільне зброджування тощо, спрямованих на скорочення відходів на 20-30%. Також оцінюються моделі машинного навчання для прогнозування попиту на кейтеринг з точністю 85% та аналізується тенденція скорочення відходів на 25% у шведському громадському харчуванні. Дослідження висвітлює проблеми та майбутні перспективи повторного використання харчових відходів у ресторанному та

готельному секторах. Зараз повторно використовується лише 10-15% харчових відходів, з потенціалом збільшення до 30-40% шляхом удосконалених методів та технологій. Продовження досліджень та інновацій у галузі сталого управління відходами може потенційно скоротити загальну кількість відходів на 25%, зберегти ресурси та сприяти більш стійкій продовольчій системі [130].

Серед методик оцінки життєвого циклу продукції та екологічних впливів найбільш популярними в Європейському просторі є балансові схеми, та матриці Леопольда (релевантні таблиці), вони дозволяють якісно, кількісно та всебічно оцінити вплив різних продуктів та процесів на компоненти довкілля протягом всіх етапів ЖЦП готельно-ресторанних комплексів, а саме від проектування продукції до її утилізації [127, 128, 131].

2.2.1. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного комплексу методом балансових схем

Аналіз вхідних та вихідних даних всіх видів сировини, матеріалів, енергії, а також матеріальних та енергетичних витрат є важливим для оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) готельно-ресторанного комплексу та його впливу на навколишнє природне середовище. До уваги береться стан нерухомості, обладнання, матеріалів, потоки сировини, основні та допоміжні матеріали всього єдиного виробничого циклу, вплив на НС, що виражається у формі викидів в атмосферне повітря, водні басейни, та ґрунти таких забруднювачів, як повітря, тепло, стоки та відходи. Отримані дані ОЖЦ є базою для дозвільної документації суб'єктів господарювання, що стосується концепції поводження з відходами, оцінці впливу на довкілля, та загалом подання екологічної звітності до державних інстанцій та органів.

Методологія, використана у цьому дослідженні для огляду, складається з п'яти ключових кроків: (1) встановлення цілі огляду; (2) визначення відповідних баз даних, ключових слів та критеріїв для пошуку та вибору; (3) проведення пошуку та вибір відповідних документів; (4) заповнення зведених

таблиць; та (5) аналіз зібраної інформації. Метою цього синтезу є консолідація наявних знань, виявлення прогалин у дослідженнях та виділення областей, що вимагають подальшого вивчення [132].

На першому підготовчому етапі аналізу життєвого циклу продукції розглядаються постачальники й субпостачальники сировини та матеріалів, на завершальному етапі визначають покупців та споживачів продукції, враховуючи всі екологічні аспекти, які розглядаються з точки зору економічної доцільності та затребуваності в процесах. Отримані результати аналізу допомагають визначити, яка є потреба в інвестиційній діяльності та санкційних заходах для готельно-ресторанного комплексу, що є важливим складником оцінки ступеня ризику виникнення ситуацій різного характеру [133].

2.2.2. Оцінка життєвого циклу продукції методом релевантних таблиць (матриць Леопольда)

Нині визнано, що моделі є дуже ефективною формою вираження теоретичних ідей, і одним з найбільш плідних методів дослідження є моделювання, тобто побудова, тестування і дослідження моделей і інтерпретація отриманих на основі результатів. проведення екологічних експертиз та оцінки впливу на навколишнє середовище у різних країнах. Матриця Леопольда являє собою контрольний список, що містить якісну інформацію про причинно-наслідкові зв'язки та джерело інформації про результати. У матриці Леопольда використовуються «ваги» або «сила впливу» для позначення відносної важливості процесів та впливів, однак чітких критеріїв для присвоєння числових значень цієї ваги не існує. Результати підсумовуються у 8800 осередках матриці (88 x 100). Матриця не рекомендує процедуру перевірки після завершення заходів, але вказує напрямок зміни довкілля, тобто ймовірність накопичення забруднення чи інших негативних наслідків. Хоча матричний аналіз має безліч обмежень, він часто буває корисним як початковий орієнтир при плануванні подальших досліджень.

Оцінювачі (аналітики, розробники проєктів, експерти) можуть вільно модифікувати матрицю відповідно до своїх конкретних завдань [134].

Методологія базується на бальному методі, який за своєю природою дозволяє узагальнити загальні характеристики впливу компанії на навколишнє середовище. Фактори впливу оцінюються за трибальною шкалою на основі значень визначених параметрів. Підсумковий бал розраховується як результат перемноження балів за трьома параметрами і характеризує вплив цього фактору. Для оцінки екологічної небезпеки можна використовувати один експериментальний метод — матрицю Леопольда (А, В і С-аналіз, таблиця взаємозв'язків). За допомогою цього методу всі екологічні аспекти можна розділити за ступенем впливу на компоненти довкілля і кількісно оцінити найважливіші екологічні аспекти. При цьому також можна простежити етапи життєвого циклу і сформулювати пропозиції щодо мінімізації негативних впливів, які виникають в результаті діяльності готельно-ресторанного комплексу [135]. Вплив на навколишнє середовище оцінювався за допомогою аналізу А, В і С і був представлений у вигляді матриці Леопольда. Вплив на повітряне середовище включав: CO_2 -екв., CO , NO_x , SO_2 , CH_4 , NH_3 , зважені частинки, діоксини, відпрацьоване тепло, пари, фтор, хлорорганічні сполуки, НМЛОС; на водне середовище - БСК5, ХСК, кислоти/луги, азот ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$), нітрати, нітроти, органічні речовини, солі, важкі метали та завислі речовини. Фактори, що впливають на ґрунт, включають БСК5, ХСК, кислоти/луги, азот ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$), нітрати, нітроти, органічні речовини, солі, важкі метали, завислі речовини, вплив твердих залишків, використання ресурсів та ризику [136]. Метод оцінки та ранжування впливів на довкілля широко використовується в екологічних дослідженнях під назвою А, В і С-аналіз або матриця Леопольда (таблиця взаємозв'язків). Перевагами цього методу є його простота, наочність і точність, що дозволяє правильно визначити ключові проблеми для прийняття ефективних рішень; можливість виявити найбільш важливі екологічні аспекти екологічного рішення [137]. Ступінь впливу сировини, технологічних стадій і підрозділів невиробничих

технологічних процесів, стадій життєвого циклу та екологічних аспектів оцінюється за бальною сумою:

- А — значний вплив (300-600 балів);
- В — помірний вплив (100-300 балів);
- С — незначний вплив (0-100 балів).

Особливістю цього методу є те, що всі екологічні аспекти можна ранжувати за ступенем їхнього впливу на компоненти життєдіяльності. За допомогою матері Леопольда можна оцінити аспекти впливу на довкілля, пов'язані з життєвим циклом, такі як земля, сировина, що використовується, та технологічні процеси:

- вплив основних факторів життєвого циклу розвиненої економіки на компоненти довкілля (повітря, воду та ґрунт);
- оцінка утворення відходів та надмірного споживання;
- екологічні аспекти в зоні ризику.

У цьому методі ступінь впливу оцінюється в балах, і експерти відмічають кожен з них у рейтинговій таблиці:

- відсутній (0 балів);
- незначний (2 бали);
- помірний (5 балів);
- серйозний (10 балів);
- критерії перевищені (в цьому випадку компанія не може працювати) [137].

Для роботи з матрицею Леопольда необхідно виконати такі завдання: у кожному комірці матриці ввести інтенсивність впливу (ω) на об'єкт впливу. Інтенсивність впливу оцінюється за шкалою від 0 до 3 балів: 0 балів – відсутність впливу, 1 бал – слабка дія, 2 бали – помірна дія, 3 бали – сильна дія. Розрахунок значущості (γ) всіх впливів відбувається за формулою:

$$\gamma = \frac{100}{n} \quad (2.1)$$

де n – кількість значних осередків у матриці, тобто таких осередків, у яких $\omega \neq 0$.

Загальна сила впливу розраховується за формулою:

$$I = Y \cdot \sum_{i=1}^n w_i \quad (2.2)$$

Міжнародні екологічні стандарти серії ISO 14000 широко використовують бальну систему для ранжування та визначення найбільш важливих критеріїв з точки зору їх значущості з метою оцінки екологічних аспектів діяльності компанії, ISO 14000 використовує наступну бальну систему для оцінки екологічних аспектів передових промислових комплексів: масштабність, ризикованість, терміновість та регульованість [138].

2.2.3. Оцінка пріоритетності екологічних аспектів готельно-ресторанного комплексу

Поняття екологічних аспектів є однією з основних складових категорії екологічного аудиту, по-перше, відповідно до статті 8 Закону України «Про екологічний аудит», збір достовірної інформації про екологічні аспекти виробничої діяльності об'єкта екологічного аудиту та формування на основі цієї інформації висновків екологічного аудиту, тобто оцінка екологічних аспектів, є одним з основних завдань при оцінці об'єкта. З іншого боку, в стандартах серії ISO 14000 на системи екологічного менеджменту одним з перших кроків є вимога визначення важливих (критичних) екологічних аспектів на підприємстві, тобто розробка і впровадження планів і процедур для контролю найбільш важливих аспектів в кожному конкретному випадку. Стандарти ISO 14000 визначають екологічний аспект як елемент діяльності, продукції або послуг об'єкта, який може взаємодіяти з навколишнім природним середовищем. Вплив готельно-ресторанного комплексу на навколишнє середовище – це зміна в навколишньому середовищі, як позитивна, так і негативна, викликана повністю або частково діяльністю, продукцією або послугами організації. Якщо екологічний аспект діяльності

організації спричиняє значний вплив на навколишнє середовище, цей аспект слід вважати значущим і включити в систему управління НПС. Суттєві екологічні аспекти знаходяться в центрі уваги системи екологічного менеджменту (СЕМ) компанії або об'єкта. Крім того, вони є основою для процесу встановлення, оцінки та вдосконалення ключових показників, постановки цілей і завдань, а також постійного моніторингу та перегляду. Слід зазначити, що наразі існує достатня кількість методичних підходів та рекомендацій щодо ідентифікації та розмежування екологічних аспектів. Основою для їх створення стали стандарти EMAS (Environmental Eco-Management and Audit Scheme) та ISO 14000.

Визначення ступеня пріоритетності екологічних аспектів здійснюється експериментальним шляхом з урахуванням рівня екологічного ризику у разі аварії, яка може багаторазово збільшити рівень впливу на навколишнє середовище. Процедура ідентифікації важливих екологічних аспектів виглядає наступним чином:

- 1 – ідентифікація всіх екологічних аспектів;
- 2 - визначення критеріїв суттєвості з урахуванням законодавства;
- 3 - ідентифікація важливих екологічних аспектів на основі критеріїв суттєвості.

На першому етапі важливо виявити та визначити пріоритетність прямих екологічних аспектів: викиди в атмосферу, викиди у водні об'єкти, поводження з відходами, використання та забруднення ґрунтів, використання природних ресурсів (включаючи енергію), регіональні аспекти (шум, вібрація, запахи, пил тощо), вплив на біологічні об'єкти тощо), вплив на біорізноманіття. Непрямі екологічні аспекти (наприклад, екологічні показники та практика підрядників, субпідрядників і постачальників) вимагають особливого підходу з боку керівництва для забезпечення впливу на вищезазначені категорії та інші зацікавлені сторони. Ідентифікація прямих екологічних аспектів: загальний огляд організації та її інфраструктури (джерела викидів, скидів, утворення відходів, трубопроводи, лінії

електропередач тощо); огляд існуючих ключових екологічних показників компанії; огляд матеріалів і сировини, що використовуються готельно-ресторанним комплексом; огляд чинного законодавства (нормативно-правові акти, технічні вимоги тощо); технічна документація компанії документації компанії (наприклад, паспорти безпеки матеріалів, ліцензії); дослідження досвіду інших компаній; обговорення з керівництвом та працівниками.

Виявлення непрямих екологічних аспектів: обговорення з клієнтами та підрядниками, дослідження життєвого циклу продукції, вивчення досвіду інших компаній, обговорення з громадськими організаціями та іншими зацікавленими сторонами, аналіз інформації про продукцію та послуги.

Пріоритетність екологічного аспекту оцінюється за такою формулою:

$$\text{ПРІОРИТЕТНІСТЬ} = \text{МАСШТАБНІСТЬ} + \text{РЕГУЛЬОВАНІСТЬ} + \text{ТЕРМІНОВІСТЬ} + \text{РИЗИК}$$

Визначення величини масштабу (масштабності) Для кожного окремого аспекту оцінюються такі характеристики на предмет масштабованості:

- чи пов'язаний екологічний аспект або дія з використанням невідновлюваних природних ресурсів або сировини;
- чи пов'язаний він з використанням невідновлюваних природних ресурсів або сировини;
- чи є можливість застосувати найкращу доступну технологію до цього екологічного аспекту, чи необхідно замінити старе обладнання на нове.

Якщо є три позитивні відповіді, аспект оцінюється як великий; якщо є дві позитивні відповіді, аспект оцінюється як середній; якщо є одна позитивна відповідь, аспект оцінюється як малий. Рівень шкали може бути виражений чотирма значеннями від «0» до «3»: - великий масштаб (ВШ) - значення «3»; - середній масштаб (СШ) - значення «2»; - малий масштаб (МШ) - значення «1»; - немає параметрів — значення «0».

Визначення обсягу регулювання впливу на довкілля (регульованості) характеризується наявністю договорів, угод (міжнародних), законів та нормативно-правових актів, що регулюють конкретні види впливів.

Регульованість оцінюється за формулою «так» або «ні»: - «0», якщо відповідь на вищезазначену умову «ні», «2», якщо відповідь «так». Визначення ступеня зниження рівнів впливу (тяжкості).

На характеристику терміновості впливають наступні фактори:

- перевищення встановлених референтних значень;
- думка місцевих жителів або персоналу підприємства;
- думка органів державної влади.

Терміновість оцінюється за допомогою відповіді «так» або «ні». Якщо отримано три позитивні відповіді або перевищено еталонне значення, аспект оцінюється як «високий»; якщо отримано дві позитивні відповіді, аспект оцінюється як «середній»; якщо отримано одну позитивну відповідь, аспект оцінюється як «низький».

- Великої терміновості (ВТ) - присвоюється значення "3";
- Середньої терміновості (СТ) - присвоюється значення «2»;
- Малої терміновості (МТ) - присвоюється значення «1»;
- Відсутність параметра - присвоюється значення «0».

Визначення ризику (небезпеки) події для аспектів за нормальних і ненормальних умов значення ризику дорівнює «0». Для кожного ризику оцінюється ймовірність настання події. Рівень ризику характеризується чотирма значеннями в діапазоні від «0» до «3»:

- високий ризик - (події, що мали місце в минулій діяльності структурного підрозділу) - присвоюється значення «3»;
- значний ризик - (події, що мали місце в минулій діяльності інших структурних підрозділів компанії або галузі) - присвоюється значення «2»;
- низький ризик (події не мали місця, але теоретично можливі) - присвоюється значення «1»;
- немає параметрів — присвоюється значення «0».

Пріоритетні значення для окремих економічних аспектів - це сума від 0 до 11, отримана в результаті відповідей на запитання.

Пріоритетність екологічних аспектів визначається на основі переліку визначених числових характеристик. Дуже важливо враховувати ситуації запуску та зупинки об'єкта, передбачувані надзвичайні ситуації та незаплановані ситуації. Крім того, слід брати до уваги минулі, теперішні та майбутні показники роботи об'єкта.

Для кожного екологічного аспекту пріоритетність оцінюється відповідно до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. – Оцінка пріоритетності кожного екологічного аспекту

Пріоритетність	Сума балів
Мала	0-2
Середня	3-5
Велика	6 -11

Екологічні аспекти малої пріоритетності не є істотними, в той час, як аспекти середньої і великої пріоритетності відносяться до істотних та суттєвих відповідно [139].

2.3. Матеріали та методи дослідження біочару отриманого з відпрацьованої кавової гущі

2.3.1 Підготовка сировини для отримання біочару

Сировиною для отримання біочару може бути широкий перелік органічних відходів, які використовують для конкретних технологічних процесів. Враховуючи спрямованість даного дослідження на аналіз життєвого циклу та переробці харчових відходів готельно-ресторанного комплексу, було оцінено кількість утворених відходів від приготування кави, що є щоденним продуктом для вживання та обрано в якості матеріалу – відпрацьовану кавову гущу. Сировину для дослідження отримували з ресторану «Цуккіні» (м. Одеса, Україна), щоденний об'єм якої становив 0,7-1,3 кг, якого було достатньо для проведення лабораторних досліджень та моделюванню виробничих можливостей по виробництву біовугілля, як окремого продукту. Готельно-

ресторанні комплекси, з точки зору отримання в якості сировини відпрацьовану кавову гущу, є здебільшого спрямовані на інші технологічні процеси, але при цьому об'єми кавових відходів достатньо високі. Якщо оцінювати кількість щоденних відходів з кав'ярень, які є націленими загалом на приготування кави або кавових напоїв, то кількість утворених відходів зростає в декілька разів, а це є багате джерело сировини для отримання продукту із доданою вартістю, а саме – біочар. Отримані від ресторану «Цуккіні» відходи кави не були розділені по відсотковому співвідношенню Арабіки або Робусти, тобто використовували для подальшої обробки загальну масу. Перед обробкою ВКГ промивали деіонізованою водою, після висушували в сушильній шафі при температурі 105 °С протягом 24 годин і зберігали в герметичному контейнері до початку термічного та мікрохвильового піролізу. Підготовлена до піролізу сировина наведена на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Відпрацьована кавова гуща підготовлена до термічного та мікрохвильового піролізу.

2.3.2. Термічний піроліз відпрацьованої кавової гущі.

Повільний піроліз це основний термохімічний метод, який використовується для отримання біочару шляхом тривалого розкладання біомаси при високій температурі (250-600 °С) з дефіцитом кисню та за низької

швидкості нагріву, враховуючи досвід з літературних джерел, шляхом варіацій температур було підбрано оптимальні умови, а саме 300 та 500°C. При піролізі за температури вище 550-600°C зразки ВКГ згорали до золи та не були придатні для подальшого аналізу.

Процес піролізу проводився в трубчастій печі з безперервною продувкою газом азоту зі швидкістю 30 мл/хв та швидкістю нагріву 15°C/хв, що призначена для досліджень за різних атмосфер - CO₂ та N₂. Варіювання атмосфер при процесі повільного піролізу не проводили, бо значного впливу на отриманий біочар порівняно зі змішаними харчовими відходами – не було. Зразки сировини витримували при температурах 300°C та 500°C протягом 30 хвилин в атмосфері азоту та маркували, як біочар-300 та біочар-500 відповідно. Процес карбонізації здійснювався на експериментальній лабораторній установці, схема та фото наведені на рис. 2.3 та 2.4.

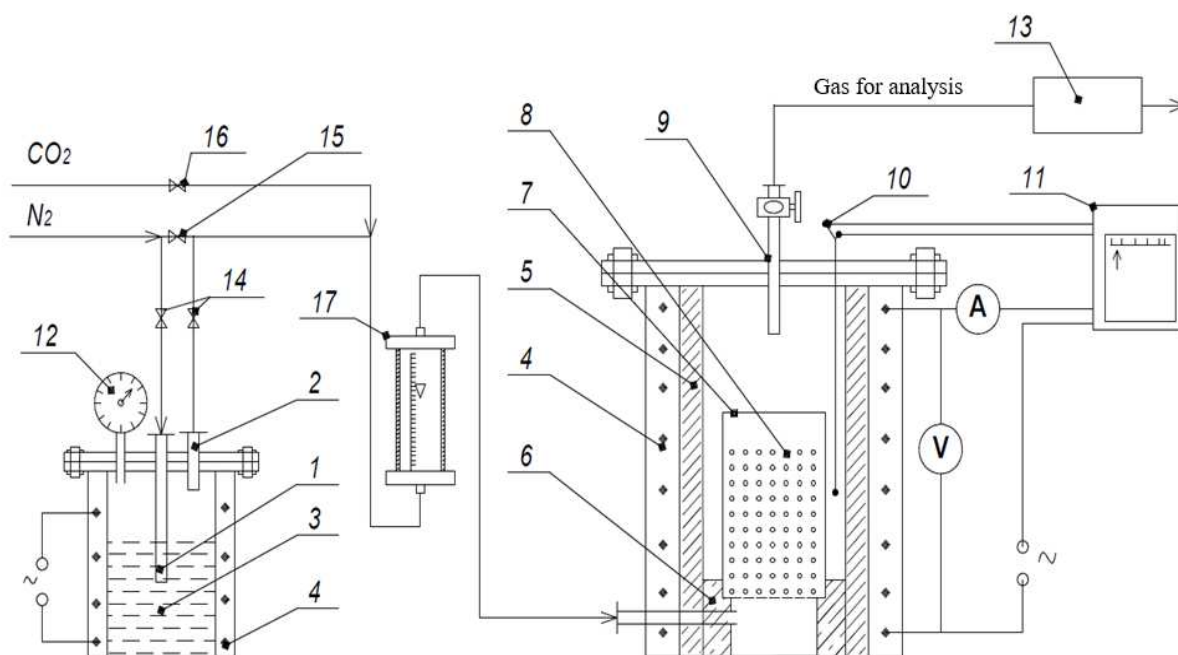


Рис. 2.3 - Схема експериментальної установки для карбонізації кавової гуші та активації карбонізату

1- патрубок для підведення азоту; 2 - патрубок виходу суміші азот-водяна пара; 3 - парогенератор; 4 - електронагрівач; 5 - реактор; 6 - упорне кільце; 7 - реакційна склянка з перфорованим дном; 8 - сировина; 9 - патрубок

виходу газу; 10 - термопара; 11 - прилад КС-2; 12 - манометр; 13 - газоаналізатор; 14, 15, 16 - вентилі; 17 - витратомір.



Рис. 2.4. – Експериментальна установка для піролізу відпрацьованої кавової гущі.

Наважку кавової гущі (40 г) 8 після промивання і сушіння поміщали у реакційну склянку 7 з перфорованим дном. За закритих вентилів 14 і 16 відкривали вентиль 15 і продували установку азотом для видалення повітря з реактора 5. Вмикали електричний нагрівач 4 реактора 5 і встановлювали температуру процесу за допомогою датчика, вбудованого в компенсаційний самописець 11. Температура контролювалась за допомогою термопари 10. Утворений газ піролізу аналізували на вміст компонентів за допомогою газоаналізатора Gasboard 3100R 13. Отриманий карбонізований продукт має сірий колір і зберігає свою вихідну морфологічну форму.

2.3.3 Мікрохвильовий піроліз відпрацьованої кавової гущі

Економічна складова процесу піролізу є важливим елементом в біотехнологічних процесах, адже витрати на постійну або періодичну підтримку певної температури, що може сягати понад 300°C та інші параметри, становлять перешкоду для промислового формату використання існуючих технологій. Мікрохвильовий піроліз є альтернативою основного термохімічного методу, що має свої переваги та перспективи для дослідження,

однією з яких є більша економічність порівняно із традиційним піролізом. Отримувати біочар можна шляхом використання побутових мікрохвильових печей або модифікованих під конкретні задачі та залежно від цілей отримання побічних продуктів. В даному дослідженні використовували звичайну кухонну мікрохвильову піч Веко потужністю НВЧ 800 Вт, в якій протягом 15 хвилин відбувався піроліз (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Мікрохвильова піч Веко потужністю НВЧ 800 Вт.

Максимальна температура мікрохвильового піролізу на кухонній печі Веко становить 230 °С, підготовлену сировину, що вже була промита деіонізованою водою та просушена, поміщали в корпус реактора при бажаному співвідношенні біомаси до води (1:2), а потім посудину щільно закривали. Потім встановлювали значення параметрів процесу проведення експерименту (температура - 230 °С, час витримки – 15 хвилин), після чого витримували зразки в реакційній суміші протягом відповідного часу. Після завершення реакції реактор охолоджували вентилятором до кімнатної температури. Кінцевий вуглеводневий продукт (біочар) кілька разів промивали деіонізованою водою, а потім сушили в сушильній шафі при 105°С протягом 24 годин. Отриманий біочар був маркований методом отримання, як біочар-МХ.

2.3.4 Визначення гранульованого та біополімерного складу зразків сировини та біочару

Визначення гранулометричного складу зразків біочару є важливим враховуючи, що зібрана сировина має різні фракції в своєму складі, які по

різному впливають на ряд властивостей отриманих біочарів. Для визначення гранульованого складу отриманих біочарів, після проведення процесу піролізу в кульковому млині їх подрібнювали, використовуючи ситовий метод, просіювали на різні фракції (розмір отворів сит 0,1 – 2,0 мм) та визначали вагу кожної фракції з подальшою класифікацією частинок за розміром, варіації сит наведені на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Сита для визначення гранульованого складу біочарів

До макромолекулярних сполук біологічного походження, що визначали протягом аналізу відносяться: геміцелюлози (ГМЦ), целюлоза, загальний азот, білкові речовини, лігнін, ліпіди та зола.

Геміцелюлози, целюлоза та лігнін:

Залежно від відмінностей в надмолекулярній структурі (енергії сил міжмолекулярної взаємодії) полісахариди поділяються за швидкістю гідролітичної деструкції на ті, що легко або важко гідролізуються. Полісахариди, що легко гідролізуються обробляють розбавленими мінеральними кислотами, наприклад 2-5% соляною кислотою за температури приблизно 100°C. Полісахариди, що важко гідролізуються, гідролізують концентрованими мінеральними кислотами, наприклад 64-80% сірчаною кислотою, при нормальній температурі, що становить приблизно 20°C, інший варіант, гідролізація розбавленими мінеральними кислотами при підвищеній температурі - 160-190°C. Геміцелюлози це полісахариди, що складаються з пентозних і гексозних ланок, а швидкість кислотного гідролізу залежить від

їх будови. Визначення біополімеру геміцелюлози відбувалося за методикою полісахаридів, що легко гідролізуються, використовували для обробки біочарів хлороводневу кислоту масовою часткою 2% та за метод Хагедрона-Ієнсена (величиною редукції здатності) множили на коефіцієнт 0,88 [140-142]. Гідролізуючи залишок після видалення ГМЦ сірчаною кислотою за методикою гідролізу полісахаридів, що важко гідролізуються - визначали целюлозу. За температури 100⁰С протягом 5 годин обробляли 85-відсотковою сірчаною кислотою, а у гідролізатах визначали редукуючі речовини і множили їх величину на коефіцієнт 0,9 [141]. Лігнін визначали, як залишок після гідролізу целюлози, а саме ступінь делігніфікації целюлози чи напівцелюлози (по Каппа, між числом Каппа і вмістом лігніну існує майже прямолінійна залежність) характеризується кількістю мілілітрів 0,1 н. розчину KMnO₄, що йде на окислення лігніну, який міститься в 1 г абс. сух. волокна протягом 10 хв при температурі 25 °С і витраті перманганату 50% від заданого [143]. При відомому приблизному вмісті лігніну наважку целюлози можна визначити з табл. 2.2.

Таблиця 2.2. – Маса наважки абс. сух. целюлози (напівцелюлози) для визначення ступеня делігніфікації при відомому вмісті лігніну [143].

Поглинання перманганату, %	Лігнін, %	Наважка (г) при вмісті лігніну (%)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0			2,35	1,55	1,15	0,92	0,76	0,65	0,57	0,50
50				4,10	2,67	2,00	1,60	1,34	1,14	0,99	0,88
70				6,20	4,10	3,05	2,45	2,00	1,73	1,50	1,35
30	10	0,45	0,41	0,37	0,35	0,30	0,32	0,28	0,26	0,25	0,24
50		0,79	0,71	0,65	0,60	0,52	0,56	0,49	0,46	0,43	0,41
70		1,20	1,09	0,99	0,92	0,85	0,85	0,74	0,70	0,66	0,62
30	20	0,22	0,21	0,20							
50		0,39	0,37	0,35							
70		0,59	0,56	0,53							

Взяту з точністю до 0,0002 г підготовлену наважку целюлози, розбавляли у 250 мл дистильованої води в мішалці-гідророзбивачі до зникнення грудочок, уникаючи розрізання волокон. Отриману масу

переносили у реакційну склянку місткістю 1 л. Посудину ретельно споліскували 100 мл дистильованої води, яку також виливали у реакційну склянку. Пробу целюлози в склянці розмішували мішалкою до зникнення грудочок маси. Не перериваючи перемішування маси, доливали до неї суміш, що складається з 50 мл 0,1 н. розчину KMnO_4 і 50 мл 4 н. розчину H_2SO_4 , попередньо відміряних в склянку. Склянку з-під суміші споліскували 50 мл дистильованої води, яку також виливали у реакційну склянку, загальний об'єм рідини в якій повинен складати точно 500 мл. Через 5 хв із моменту додавання розчину вимірювали температуру реакційної суміші, яка знаходилася у межах $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Через 10 хв від початку реакції в реакційну склянку додавали з мірного циліндра 10 мл 1 М розчину KI для припинення реакції окислення лігніну шляхом відновлення перманганату йодистим калієм за реакцією:



Продовжуючи перемішування, титрували 0,2 н. розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ вільний йод, що виділився, до солом'яного кольору, потім додавали 5...10 крапель 0,5%-го розчину крохмалю і продовжували титрування до знебарвлення суміші. Реакція взаємодії йоду із тіосульфатом натрію:



Паралельно визначають витрату тіосульфату натрію на титрування холостої проби. Розрахунок ступені делігніфікації целюлози відбувається за формулою:

$$x = \frac{V_d}{m} [1 + 0,013 (25 - t)] \quad (2.3)$$

де V – витрата 0,1 Н розчину KMnO_4 , мл,

d - коефіцієнт перерахування на 50% витрати марганцевокислого калію, що залежить від V (визначають з табл. 2.3);

m - маса наважки абс. сух. целюлози, г;

t - середня температура реакційної суміші, $^\circ\text{C}$

$$V = \frac{(V_1 - V_2)H}{0,1} \quad (2.4)$$

V_1 - об'єм 0,2 н. розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, витрачений на титрування холостої проби;

V_2 - об'єм 0,2 н. розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, витрачений на титрування аналізованої проби з наважкою целюлози, мл;

N - нормальність розчину $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

Таблиця 2.3 – Значення поправкового коефіцієнта d до визначення ступеня делігніфікації.

Поглинання KMnO_4 , мл	Поглинання KMnO_4 , мл									
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
15	0,958	0,960	0,962	0,964	0,966	0,968	0,970	0,973	0,975	0,977
20	0,979	0,981	0,983	0,985	0,987	0,989	0,991	0,994	0,996	0,998
25	1,000	1,002	1,002	1,004	1,006	1,009	1,011	1,015	1,017	1,019
30	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,033	1,035	1,037	1,039	1,042

При вмісті лігніну 2...16% між ступенем делігніфікації целюлози та вмістом в ній лігніну існує прямолінійна залежність, знаючи ступінь делігніфікації, можна легко визначити кількість лігніну у волокнистому напівфабрикаті за рівняннями, %:

$$\text{для сульфїтної целюлози} \quad L = x \cdot 0,17\%; \quad (2.5)$$

$$\text{для сульфатної целюлози} \quad L = x \cdot 0,15\%; \quad (2.6)$$

$$\text{для напівцелюлози} \quad L = x \cdot 0,16\%, \quad (2.7)$$

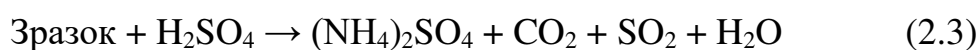
x – це ступінь делігніфікації.

Загальний азот та білкові речовини:

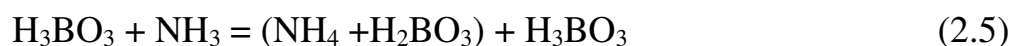
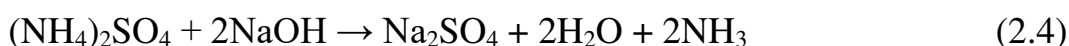
Метод К'ельдаля використовують для визначення Нітрогену в органічних сполуках [144, 145]. Досліджувану речовину розкладають кип'ятінням з концентрованою H_2SO_4 у присутності каталізатора (HgSO_4 або його суміші з CuSO_4 або SeO_2) і натрію або калію сульфату (для підвищення $T_{\text{кип}}$ суміші). До розчину додають луг. При цьому виділяється NH_3 , який відганяють, поглинають розчинами сульфатної або хлоридної кислот.

Залишки кислоти визначають титриметрично, а аміак — фотометрично (з реактивом Несслера, нінгідрином або йодофеноловим синім). При визначенні Нітрогену за методом К'ельдаля в нітро-, нітросо-, азо-, гідроазо-, діазосполуках пробу попередньо відновлюють з використанням відновників HI, Zn, Na₂S₂O₃ та ін. Метод К'ельдаля має певну послідовність: пробопідготовка, мінералізація, дистиляція та титрування [145].

Мінералізація гомогенізованого зразка відбувається під дією концентрованої сірчаної кислоти в присутності каталізатора, в результаті отримують розчин, що містить сульфат амонію:



Наступний етап дистиляція відбувається у присутності надлишку луку, NH₄⁺ перетворюється на NH₃, який можна відокремити від зразка перегонкою з парою:



Аміак, кількісно перегнаний з парою, збирається в поглинаючому розчині, а вміст азоту в зразку визначається кількістю поглинутого аміаку. Титрування проводять із використанням кольорових індикаторів або потенціометричним методом. Існує два методи титрування: пряме (використовують борну кислоту) і зворотне (використовують сірчану і соляну кислоту):



Білкові речовини визначали методом множення загального азоту на коефіцієнт 6,00 [146].

Ліпіди:

Ліпіди визначали гравіметричним методом екстракцією неполярним розчинником. Метод полягає в екстракції жиру сумішшю хлороформу та етилового спирту з використанням ділильної лійки для подальшого визначення маси ліпідів після видалення розчинника. Перед початком аналізу, бюкси мили, сушили в сушильній шафі, охолоджували в ексікаторі, а потім

зважували, далі готували суміш для екстракції відібравши два об'єми хлороформу та змішуючи з одним об'ємом етилового спирту. Використовували установку для екстрагування жиру. Наважку масою 2 г за допомогою скляної палички та 5 см³ етилового спирту переносили у фільтрувальну ділильну лійку, додавали 20 см³ екстрагуючої суміші, закривали лійку та струшували протягом 2 хв. Після струшування лійку приєднували до приймача, включали водоструминний насос і відсмоктують отриманий екстракт жиру, екстракцію повторювали двічі, доливаючи до наважки у лійці по 15 см³ екстрагуючої суміші і струшуючи лійку протягом 1 хв. За допомогою 10 см³ екстрагуючої суміші екстракти з приймача кількісно переносили в ділильну лійку місткістю 1000 см³, додавали 100 см³ дистильованої води та 3 г хлористого натру, струшували протягом 2 хв, а після розподілу шарів нижній хлороформенний шар зливали у бюкс. Бюкс з отриманим екстрактом поміщали на водяну баню і випаровували розчинник до зникнення запаху, потім бюкс з екстрактом сушили в сушильній шафі за температури 100 ± 5 °C протягом 10 хв, а далі охолоджували 25...30 хв. в ексікаторі та зважували. Для розрахунків використовували формулу масової частки жиру X , в %:

$$x = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.8)$$

де m_1 - маса жиру, г;

m - маса наважки продукту, г.

Зола:

Золу також визначали гравіметричним методом, що ґрунтуються на прожарюванні (обзоленні) наважки біовугілля і зважуванні зольного залишку. Існує два варіанти прожарювання – прискорений та повільний, перший дає менш точні результати, тому використовували в розрізі даного дослідження повільне обзолення. Наважки 2 г поміщали в тиглі та починали обзолювання в муфельній печі при кімнатній температурі підіймаючи температуру до 250 °C протягом 30 хв. В наступні 30 хв підвищували температуру до 500 °C, після

чого протягом 60 хв витримували при цій температурі. Зольність біовугілля розраховували за формулою:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (2.9)$$

де, m_1 – маса тигля, г;

m_2 – маса тигля з пробєю, г;

m_3 – маса тигля з золюю, г.

2.3.5. Структурні характеристики вихідної сировини та біочарів

Структурні характеристики вихідної сировини та біочару визначали за допомогою стандартної вакуум-сорбційної установки з кварцовою пружиною Мак-Бена при температурі 25°C [147]. Вимірювання рівнів ртуті виконували за допомогою катетометра КМ-8 з точністю 0,5%. Під час дослідів, установку укладали в кожух з органічного скла в якому підтримували температуру на рівні 25°C ± 0,2°C за допомогою спеціально сконструйованого терморегулятора. Масу води, що сорбувалася, визначали за формулою:

$$Q = \frac{\Delta l}{\Delta L * M} \quad (2.10)$$

де ΔL – подовження кварцової спіралі залежно від маси сорбенту; Δl – подовження кварцової спіралі залежно від маси сорбату; M – молекулярна маса сорбату.

Бувши переведеним у лінійну форму, рівняння ізотерми полімолекулярної сорбції БЕТ має вид:

$$\frac{\frac{P}{P_s}}{a \left(1 - \frac{P}{P_s} \right)} = \frac{I}{a_m * C} + \frac{C - I}{a_m * C} P \quad (2.11)$$

де: P_s – тиск насиченої пари за даної температури; $\frac{P}{P_s}$ – відносний тиск пари; a – поверхнева концентрація сорбату; a_m – поверхнева концентрація сорбату при заповненні всіх активних центрів; C – константа БЕТ.

Питому поверхню зразків розраховували за рівнянням

$$S_{yg} = a_m * N_A * S_0 \quad (2.12)$$

де: N_A —число Авогадро; S_0 —площа поперечного перерізу молекул сорбату (води), дорівнює 10,6 А.

Середній ефективний радіус пор визначали за рівнянням

$$S = \frac{v_{max}}{2 S_{yg}}; \quad (2.13); \quad v_{max} \text{ —ний об'єм води, котрий сорбується.}$$

2.3.6. Сорбція іонів свинцю та ізотерми адсорбції

Сорбція іонів свинцю:

Досліджувані зразки (0,25 г) поміщали у розчин ацетату свинцю концентрацією 0,01 моль/л, гідромодуль 20. У холостому досліді зразки поміщали в дистильовану воду. Препарати витримували в розчинах солі свинцю протягом 17 годин (час встановлення сорбційної рівноваги) при 37°C, а потім у фільтрах встановлювали концентрацію іонів свинцю спектрофотометрично [148]. Величину сорбції свинцю визначали за різницею початкової та залишкової концентрації іонів свинцю в розчині. Діапазон довжин хвиль спектрофотометра становить 190–1100 нм (для УФ/Vis приладів), точність $\pm 1\text{--}2$ нм, смуга пропускання ≤ 3 нм (вузька смуга зменшує накладання спектрів), використовували кювети 1 см. Довжина хвилі становила 520–530 нм при дослідженні з 4-(2-піридилазо)резорцин (PAR).

Ізотерми адсорбції:

Для визначення ізотерм адсорбції однакові наважки біочарів (0,1 г) поміщали у розчин ацетату свинцю (0,25–2,0 мг/мл). Через 2,5 години інкубації при постійному перемішуванні при 20°C визначали залишкові концентрації ацетату свинцю та для кожної концентрації розраховували кількість сорбату, поглиненого одиницею маси (0,1 г) сорбенту, тобто питому ємність сорбенту. Кількість ацетату свинцю, адсорбованого 1 г біочару, розраховували за формулою:

$$\Gamma = ((C_0 - C_{(pivn.)}) \cdot a) / V \quad (2.14)$$

де CO - вихідна концентрація ацетату свинцю, мг/мл; $C_{\text{рівн.}}$ – залишкова (рівноважна) концентрація ацетату свинцю, мг/мл; a – об'єм розчину ацетату свинцю, доданий до наважки біочару, мл; B – вага біочару, г.

Отримані результати представлені графічно – по осі ординат відкладали питому ємність сорбенту (мг/г), а по осі абсцис – відповідні їм значення залишкової концентрації ($C_{\text{рівн.}}$, мг/мл).

Статистична обробка результатів експериментальних досліджень проводилась з використанням програмного забезпечення R, Prism та Excel.

2.3.7. Кислотно-основні та іонообмінні властивості біочару

Для вивчення кислотно-основних та іонообмінних властивостей зразків біочару застосовували потенціометричне титрування за методом окремих наважок [147]. Для визначення кислотних і основних функціональних груп спочатку їх приводили до форми внутрішньої солі. Для цього препарати біочару попередньо обробляли водою до нейтральної реакції, що призводило до гідролізу відповідних форм (кислотних та основних). Далі, отримані зразки біочару, титрували лугами для визначення груп основної природи.

Іонну силу розчинів підтримували постійною, додаючи до розчину розраховану кількість електроліту – KCl. Величина іонної сили $\mu = 1$.

Для розрахунку величини pK кислотних (основних) угруповань використовували рівняння Гендерсона-Гессельбаха [149]:

$$pK = \overline{pH} + \frac{\lg \lambda}{1 - \lambda} \quad (2.15)$$

де pK - константа кислотно-основної дисоціації; pH - значення pH всередині іоніту; λ – ступінь нейтралізації розчину.

При $\lambda = 0.5$, тобто у випадку 50% насичення іоніту іонами рівняння приймає вигляд:

$$pK = \overline{pH} + \lg[Na^+] - \frac{\lg[x]}{2} \quad (2.16)$$

де pH - значення цієї величини в розчині; $[Na^+]$ - концентрація іонів у зовнішньому розчині, мекв/г ПВ; $[x]$ - концентрація активних груп, мекв/г ПВ.

2.3.8 Диференційна ІЧ-спектроскопія зразків сировини та біочарів

ІЧ-спектри таблетованих зразків знімали на приладі Perkin Elmer FT-IR Spectrometer Frontier (діапазон хвильових чисел 400-4000 см^{-1} , роздільна здатність 4 см^{-1}) (Рис. 2.7). Суміш в співвідношенні 1 мг речовини на 200 мг KBr пресували під тиском 7 т/см² протягом 30 с.

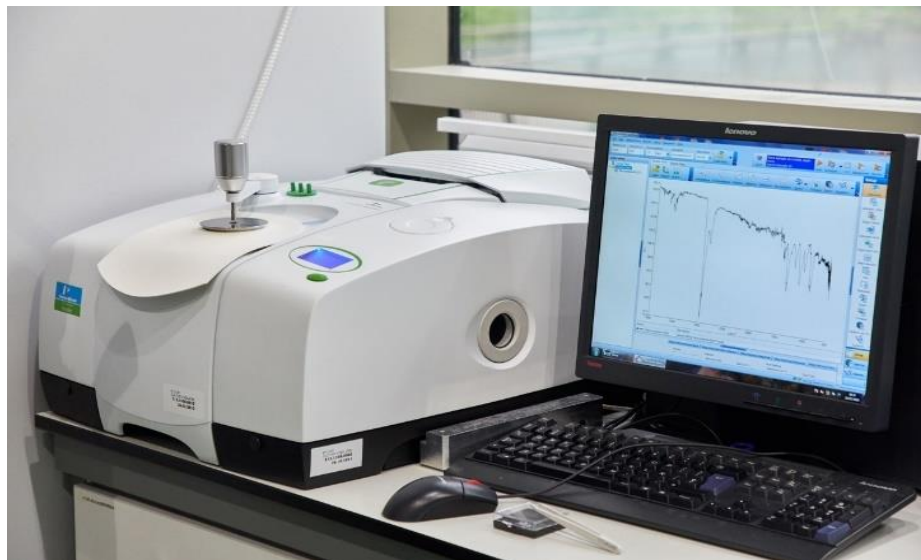


Рис. 2.7. Perkin Elmer FT-IR Spectrometer Frontier (діапазон хвильових чисел 400-4000 см^{-1} , роздільна здатність 4 см^{-1})

Аналіз зразків сировини та біочарів методом диференційної ІЧ-спектроскопії вели за значенням відносної оптичної густини, використовуючи метод базисної лінії й внутрішнього стандарту [150, 151]. Базисна лінія проводилася як дотична до мінімумів поглинання в області 3400...2500 см^{-1} і 1800...700 см^{-1} , як внутрішній стандарт брали максимум поглинання при 1425 см^{-1} , що відповідає деформаційним коливанням СН-груп. Розраховані величини відносної оптичної щільності вибраних смуг поглинання (ВВОЩ) знаходили як співвідношення:

$$ВВОЩ = \frac{D_x}{D_{ст}}, \quad (2.17)$$

де D_x – оптична щільність досліджуваної смуги поглинання з хвильовим числом x ;

$D_{ст}$ – оптична щільність внутрішнього стандарту.

Величину оптичної щільності обчислювали за формулою:

$$D = \lg \frac{T_0}{T_X}, \quad (2.18)$$

де T_0 – пропускання в % точки на базисній лінії;

T_X – пропускання в % відповідної точки спектра.

Диференційні спектри порівняння зразків препаратів будували в координатах: зміна Δ ВВОЩ як функція від хвильового числа χ .

Статистична обробка результатів експериментальних досліджень проводилась з використанням програмного забезпечення R, Prism, Excel та ACDLabs 6.0 Professional.

2.3.9. Комплексний термічний аналіз зразків біочару та сировини

Для оцінки впливу температури на термічний розклад зразків використовували комплексний термічний аналіз, який включає термогравіметрію (ТГ), диференціальну термогравіметрію (ДТГ) та диференціальний термічний аналіз (ДТА). Аналіз проводили на дериватографі Q-1500 системи Пауліка - Пауліка-Ердея, підключеному до персонального комп'ютера (Рис 2.8.). Зразки нагрівали в атмосфері повітря до температури 1000°C. Швидкість нагріву зразків становила 50°C хв⁻¹. Маса всіх зразків становила 50 мг. Референсною речовиною слугував оксид алюмінію.

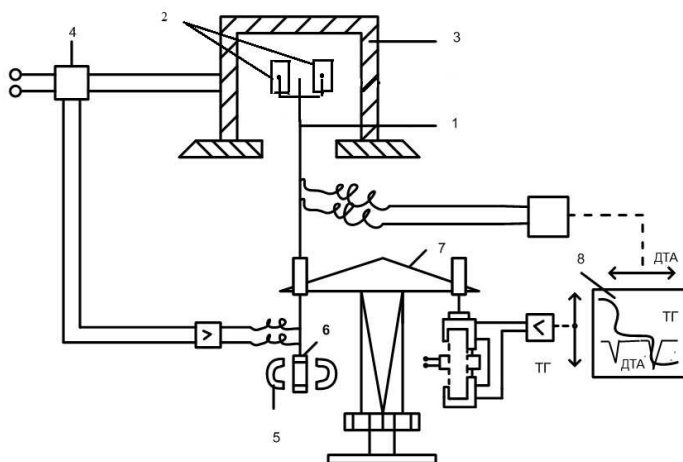


Рис. 2.8. принципова схема дериватографа Q-1500 системи Paulik-Paulik-Erdei, виробником якого є фірма MOM.

Досліджувана речовина розміщувалась в платиновому, корундовому або кварцовому тиглі 2, який встановлений на одному із плечей керамічної трубки-тримача 1. На іншому плечі керамічної трубки 1 знаходиться тигель з еталонною речовиною. Кінці термопар містяться в середині керамічної трубки – тримача. Сигнал комбінованої термопари каналу диференційного термічного аналізу (DTA) через підсилювач подається на реєструючий пристрій 8.

Керамічна трубка-тримач 1 закріплена на одному кінці коромисла аналітичних ваг 7. Піч 3 за допомогою регулятора 4 підіймає температуру з рівномірною швидкістю, яка може становити 0,6; 1,25; 2,5; 5,0; 10; та 20°C/хв. Максимальні температури в жаровому просторі можуть складати 150; 250; 500; 1000°C. В міру зміни маси котушка індуктивності 6, яка прикріплена до плеча ваг 7, починає повільно рухатись в полі постійних магнітів 5, які її оточують. Величина напруги, що індукується в котушці 6, є пропорційною швидкості втрати маси. Струм, що виникає в котушці 6, фіксується і сигнал перетворювача записується у вигляді диференційної кривої зміни маси (ДТГ) досліджуваного зразка. Одночасно за допомогою диференційного трансформатора перетворювача сигналу відбувається запис кривої втрати маси зразка – термогравіметричної кривої (ТГ). Максимальна чутливість ваг при наважці 20 мг складає 0,2 мг на одне ділення шкали.

Зміна температури фіксується за допомогою простої термопари, розташованої безпосередньо у зразку. Тиглі, в які поміщається проба й еталон, мають спеціальну форму, яка запобігає прямому контакту гарячого спаю з пробой. Вимірювання температури відбувається не всередині проби, а через стінку у впадині тигля.

Дериватограф заводського виготовлення має один суттєвий недолік - реєстрація сигналів каналів T, TG, DTG, DTA здійснюється лише за допомогою аналогового багатоканального самописця, тому перетворення експериментальних даних для подальшої обробки в цифровий вигляд є трудомістким процесом. З метою безпосереднього вводу вимірюваних параметрів в комп'ютер в багатьох дослідних лабораторіях використовують

автоматизовану систему, яка забезпечує перетворення сигналів термопар дериватографа в цифровий код.

Такою автоматизованою системою перетворення сигналів забезпечений дериватограф Q-1500 системи Paulik-Paulik-Erdei, який знаходиться в дослідній лабораторії кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії НУ «Львівська політехніка» (Рис. 2.9). Функцію вимірювання і передачі даних до комп'ютера виконує аналого-цифровий інтерфейс на базі мікроконтролера C8051F350 фірми Silicon Labs з прецизійним багатоканальним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), таймерами й периферією вводу-виводу.



Рис. 2.9. Дериватограф Q-1500 системи Paulik-Paulik-Erdei

За допомогою даної системи відбувається неперервна обробка даних в режимі реального часу, та їх графічна візуалізація на екрані монітора. Система дає змогу переглядати термограми та роздруковувати в форматах bitmap і pdf, а також зберігати експериментальні дані в форматі програми «Origin» для подальшої обробки.

Функцію вимірювання і передачі даних до комп'ютера виконує аналого-цифровий інтерфейс на базі мікроконтролера C8051F350 фірми Silicon Labs з прецизійним багатоканальним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП),

таймерами й периферією вводу-виводу. Для термопар використовуються прецизійні інтегральні підсилювачі, аналоговий компенсатор температури холодного спаю, а також операційні підсилювачі для сигналу ваги й узгодження рівня сигналів з АЦП мікроконтролера. Передача й обмін даних з комп'ютером реалізується через гальванічно-ізолюваний СОМ-порт.

Програма для передачі даних до комп'ютера розроблена в середовищі MS Visual Studio. Крім вищезгаданих функцій обробки і візуалізації інформації вона забезпечує ведення файлу журналу, в який вноситься дата та умови проведення дослідження.

2.4 Матеріали та методи для процесу анаеробного зброджування

2.4.1. Сировина для анаеробного зброджування

В якості сировини використано змішані харчові відходи ресторану «Цуккіні» (м. Одеса, Україна), які зібрано впродовж трьох робочих днів ресторану у літній сезон його функціонування, були видалені домішки, які не придатні для анаеробного зброджування, такі як кістки. Очищені харчові відходи подрібнювали на м'ясорубці й зберігали при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в скляних контейнерах. Вихідні хімічні параметри харчових відходів були такими: рН 6,1, загальні тверді речовини (ТР) $18.4 \pm 0,3\%$, леткі речовини (ЛР) $17.9 \pm 0,3\%$, вміст білка $4.0 \pm 0,2\%$.



Рис. 2.10. Харчові відходи ресторану «Цуккіні»

Для прискорення та поліпшення процесу метанового зброджування субстрати МТ (суміш харчових відходів (ХВ) та коров'ячого гною (КГ) при

зброджуванні в мезофільному температурному режимі в ваговому співвідношенні 2:1) та ТТ (співвідношення харчових відходів (ХВ) та коров'ячого гною (КГ) при зброджуванні в термофільному температурному режимі в ваговому співвідношенні 2:1) попередньо в реакторі протягом 5 днів інкубували гній великої рогатої худоби, до якого потім додавали харчові відходи. До окремо підготовлених контрольних груп МТ та ТТ додавали біочар, отримуючи ще дві групи МТ з 5, 10 та 15 відсотків вмісту біочару, а також ТТ з 5, 10 та 15 відсотків вмісту біочару.

Посівний матеріал отримували з лабораторного анаеробного реактора, в якому обробляли суміш FW та CM. Його хімічні параметри такі: рН 8.1, загальні тверді речовини (TP/TS) 43.0 ± 2.8 г л⁻¹, леткі речовини (LP/VS) 16.0 ± 2.5 г л⁻¹, хімічне споживання кисню (ХСК/sCOD) 360 мг л⁻¹.

2.4.2. Експериментальна установка та експлуатація реактора

Процес анаеробного зброджування проводили на лабораторній біогазовій установці БУ-1 типу UASB об'ємом 76,8 м³, в якому відбувалися всі чотири стадії утворення метану (рис. 2.11).

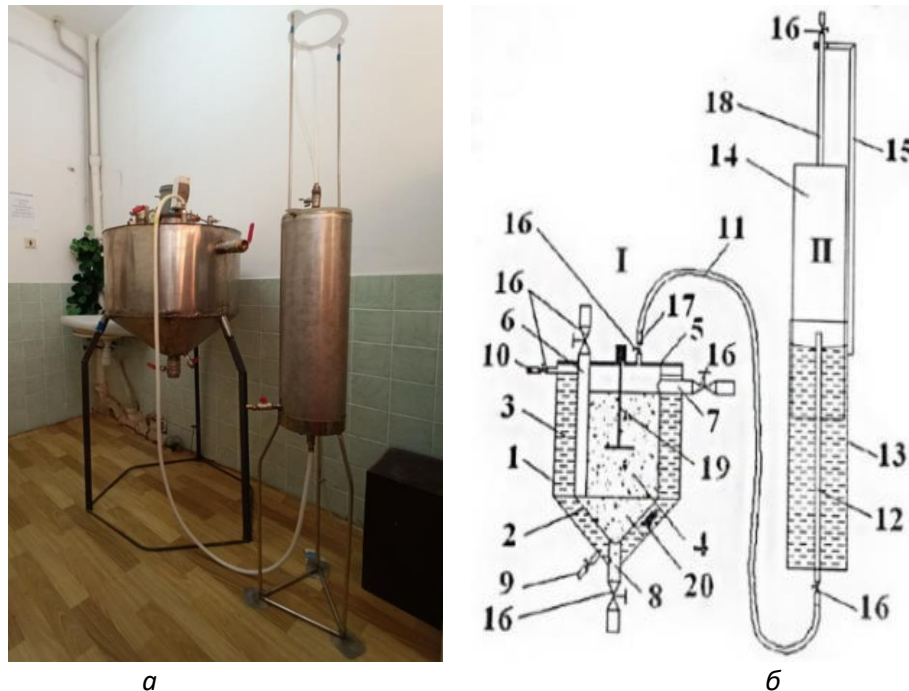


Рис. 2.11: а - біогазова лабораторна установка БУ-1 типу UASB; б - принципова схема біогазової установки типу UASB.

БУ-1 складається з метантенка, в якому відбувається метанове бродіння, і газгольдера, призначеного для накопичення біогазу. Важливим елементом установки є пристрій для підігрівання і перемішування субстрату. Метантенк І складається з зовнішнього 1 і внутрішнього 2 корпусів, між якими знаходиться водяна сорочка 3 - ємність, яка наповнюється водою через трубу 9 і служить для передачі тепла від нагрівача 20 субстрату. При заливанні води у водяну сорочку, повітря видаляється через трубу 10 і вентиль 16. Для створення герметичності активної зони метантенка 4, зверху його накривають кришкою 5 з ущільнювачем. Через трубу 6 в активну зону метантенка 4 вносять субстрат. Труба 6 доходить майже до дна активної зони біореактору 4, тому свіжа частина субстрату подається в нижню частину активної зони реактору, тим самим витісняючи біомасу, яка перебродила через трубу 7. Для зливу всієї біомаси використовується труба 8. Для запобігання утворення кірки, а так само забезпечення однорідності біомаси, використовується мішалка 19, яка періодично перемішує біомасу в активній зоні реактора. Біогаз із реактора через трубу 17 по газопроводу 11 і далі по трубі 12 надходить у газгольдер II. У даній установці використовується «мокрый» газгольдер, який складається з двох циліндричних ємностей: корпусу 13 і циліндра-рівнеміра 14, а так само направляючої 15. Корпус газгольдера 13 наповнений водою, в якому, як поплавок плаває порожній циліндр-рівнемір 14. Біогаз через трубу 12 надходить у внутрішню порожнину циліндра-рівнеміра 14, який при наповненні біогазом по направляючій 15 піднімається над корпусом газгольдера, що в свою чергу дозволяє визначити наявність і обсяг газу в газгольдері.

Реактори завантажували на $\frac{2}{3}$ свого об'єму. Суміші щоденно переміщували та зволожували для того, щоб утримувати рівень вологості на рівні приблизно 80 % протягом 20-25 діб, під час процесу кожного дня відбирались наважки, маса яких становила приблизно 5 г, що використовувались для дослідження перебігу процесу [152]. Реактори були

ізолювані, вплив температури навколишнього середовища на отримані дані не враховується. Кожне дослідження було проведено в трикратному повторенні.

Таблиця 2.4. - Умови проведення дослідів, які застосовані в цьому дослідженні.

Режим	Температура (°C)	Біочар, %	Субстрат
Мезофільний режим			
MT	35	-	ХВ + КГ
MB5	35	5	ХВ + КГ
MB10	35	10	ХВ + КГ
MB15	35	15	ХВ + КГ
Термофільний режим			
TT	55	-	ХВ + КГ
TB5	55	5	ХВ + КГ
TB10	55	10	ХВ + КГ
TB15	55	15	ХВ + КГ

2.4.3. Аналітичні методи

Визначали вміст сухої речовини та вміст органічної сухої речовини методом заснованим на визначенні маси матеріалу до і після висушування при 100-105°C та 500°C [153; 154]. Використовували муфельну піч BZH Series BZH-12-10. Хімічну потребу в кисні: 5220 D, закритий рефлюкс, колориметричний метод [153]. Під час дослідження спостерігали за параметрами процесу, такі як: температура суміші, показник рН, кількість та склад біогазу. Температура субстратів визначали за допомогою спиртового термометру, зануреного в суміш. Для визначення значення рН водної витяжки використовували лабораторний рН-метр «Hanna». Кожні 5 днів відбувався відбір проб газової суміші, що за об'ємом становила 50 см³, для цього використовували пластикові шприци, що приєднували до трубки для відходу газів із реакторів. Була дотримана певна послідовність при відборі проб, через 5 хвилин після струшування реактора відбирали біогаз. За допомогою газоаналізатора Gasboard 3100R 13 визначали компонентний склад біогазу у відібраних пробах. Вимірювання об'єму газу відбувалося волюметричним методом (збір газу в газгольдерах з вимірюванням об'єму).

Розрахунок кумулятивного виходу біогазу розраховували за формулою:

$$CH_4 \text{ (м}^3\text{/кг ЛР)} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i^{CH_4} - V_i^{\text{бланк}})}{m_{\text{ЛР}}} \quad (2.19)$$

де, $V_i^{CH_4}$ – об'єм метану на i -ту добу (м^3);

$V_i^{\text{бланк}}$ - об'єм метану в контролі (бланку) на i -ту добу (м^3)

$m_{\text{ЛР}}$ - маса летких твердих речовин у субстраті (кг)

Дослідження змін рН середовища при мезофільній та термофільній обробці з додаванням біочару визначалось прямим вимірюванням в реакторі, а саме відбувався відбір проб (5 мл) стерильним шприцом через септу, при відборі за термофільних умов охолоджувався до 25°C , занурювали електроди в пробу на 2-3 см та очікували стабілізації значень рН ± 0.01 .

Хімічне споживання кисню визначали кількістю кисню, необхідного на окиснення органічної речовини у пробі сильним окисником 0,25 Н калій дихроматом ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в кислому середовищі сірчаної кислоти (H_2SO_4) з срібним сульфатом (Ag_2SO_4), індикатором фєроїном та сульфатом заліза амонію в якості титранту, використовуючи титрувальний метод. Щодобово з реактора відбирали пробу 5-10 мл, центрифугували (4000 об/хв, 10 хв), фільтрували через мембрану 0.45 мкм та розводили, для мезофільного режиму співвідношення становило 1:10-1:50, а для термофільного: 1:20-1:100 (через вищу концентрацію). В колбу поміщали 10 мл проби, додавали 5 мл 0.25 Н $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та 15 мл $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ag}_2\text{SO}_4$, нагрівали на піщаній бані 2 години при температурі 35°C для МР та 1,5 години при 55°C для ТР. Визначення залишку дихромату відбувалось із додаванням 2-3 крапель фєроїну при титруванні $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ до зміни кольору. Розрахунок ХСК відбувався за формулою:

$$\text{ХСК} = \frac{(V_0 - V_1) \times N \times 8 \times 1000}{V_{\text{проби}}} \quad (2.20)$$

де, V_0 - об'єм титранту для бланку (мл)

V_1 - об'єм титранту для проби (мл)

N - нормальність титранту

8 - еквівалент кисню

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (іон амонію-азоту) визначали фотометричним методом (Метод Несслера), він базується на реакції амонію з реактивом Несслера ($\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ у лужному середовищі) з утворенням жовто-коричневого комплексу:



Відбирали 10 мл проби, центрифугували (4000 об/хв, 10 хв) та фільтрували через мембрану 0.45 мкм, потім додавали 0,5 мл тартрату калію-натрію (для запобігання осадженню важких металів), потім додавали 0,5 мл реактиву Несслера та протягом 10 хв відбувалась реакція за кімнатної температури. Спектрофотометричне вимірювання проводили при $\lambda = 425$ нм, використовуючи кювету 10 мм, за діапазону вимірювання 0.02–2 мг/л $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Згідно ISO 14156 газохроматографічним методом визначали ЛЖК. Брили пробу об'ємом 10-15 мл, центрифугували 10 000 об/хв, 15 хв, фільтрували мембраною 0.22 мкм та підкислювали H_3PO_4 до рН 2.5-3.0. Використовували колонку HP-FFAP (30 м × 0.32 мм), температуру змінювалась наступним чином: 80°C (2 хв) → 240°C (10°C/хв). Детектором виступав ПІД (FID) з температурою 250°C, газ носій гелій 1.5 мл/хв. Для МР та ТР використовували типові концентрації 500-3000 мг/л та 1000-8000 мг/л відповідно.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено програму дисертаційного дослідження, яка включає: теоретичні дослідження; постановку мети та завдань; комплексну оцінку впливу готельно-ресторанного комплексу на компоненти довкілля; обґрунтування переробки відпрацьованої кавової гущі в біочар, як товар із доданою вартістю, що використовували, як інтенсифікатора процесу метанового бродіння для отримання біогазу; обґрунтування біотехнології анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу для отримання біогазу; розробку технологічних схем та удосконалення біотехнології анаеробного зброджування, промислову апробацію та обґрунтування економічної ефективності.

2. Для оцінки життєвого циклу продукції готельно-ресторанного господарства використовували метод балансових схем та релевантних таблиць (Матриці Леопольда), що є якісним та кількісним методом.

3. Ранжували екологічні аспекти готельно-ресторанного господарства шляхом бальної оцінки, яку використовують в системах екологічного менеджменту згідно з вимогами міжнародних екологічних стандартів серії ISO 14000.

4. Характеристика процесу отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі включає: методику підготовки сировини та отримання біочару термічним та мікрохвильовим піролізом, аналіз біополімерного та гранульованого складу біочару та сировини, сорбційних, катіонних та іонно-обмінних властивостей біочару та сировини, ІЧ-спектроскопію Фур'є, комплексний термогравіметричний аналіз.

5. Характеристика процесу переробки харчових відходів шляхом анаеробного зброджування включає: підготовку субстрату до зброджування, процес анаеробного зброджування з підтримкою встановлених умов мезофільного та термофільного температурних режимів, якісна та кількісна оцінка біогазу, pH, ХСК, $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Використовували широкий перелік методів для визначення важливих показників процесу анаеробного зброджування та отриманого з додаванням біочару – біогазу, а саме: титрувальний, фотометричний, газохроматографічний тощо.

6. Результати дослідження оброблювались методами математичної статистики.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ

Оцінка впливу готельно-ресторанного комплексу на компоненти довкілля є важливим для фіксації продуктів та процесів, що є продуцентами шкідливих викидів забруднюючих речовин в довкілля. Для цього використовуються комплексна оцінка, в яку входять оцінка життєвого циклу та екологічних аспектів готельно-ресторанного господарства якісними та кількісними методами. АЖЦ являє собою основний інструмент отримання інформації про величину антропогенного впливу суб'єктів господарської діяльності на компоненти довкілля, що дозволяє визначити шляхи зниження негативного ефекту від закладів HoReCa.

3.1. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного підприємства

Для класифікації видів забруднення від діяльності готельно-ресторанного комплексу, в даному дисертаційному дослідженні використовували релевантні таблиці та балансові схеми, що наочно ілюструють ситуацію із забруднення довкілля від різних джерел викидів. Початком складання аналізу життєвого циклу є виділення чотирьох етапів для всього підприємства, процесів, продукції, сировини та місця розташування закладу, а саме: 1 – встановлення мети; 2 – матеріальний баланс; 3 – аналіз впливів на довкілля; 4 – оцінка та заходи з покращення. Завдяки використанню поетапного визначення формується перелік ризиків, що впливають на виникнення аварійних ситуацій та формат забруднення навколишнього середовища, а також визначаються заходи, направлені на попередження та запобігання антропогенного навантаженні від господарської діяльності.

3.1.1. Оцінка життєвого циклу методом балансових схем

Еко-баланс підприємства для оцінки життєвого циклу готельно-ресторанного комплексу формується з усіх вхідних, вихідних та ризикових

екологічних аспектів, що можуть виникати в процесі роботи підприємства. На підприємствах готельно-ресторанного господарства виробничий процес складається із наступних стадій: планування та закупівля; приготування їжі; обслуговування гостей; обслуговування номерів; контроль якості; логістика та зберігання; адміністративне управління; підтримка гігієни та санітарії; аналіз та оптимізація. Виробничий процес готельно-ресторанного комплексу наведений на рис. 3.1.

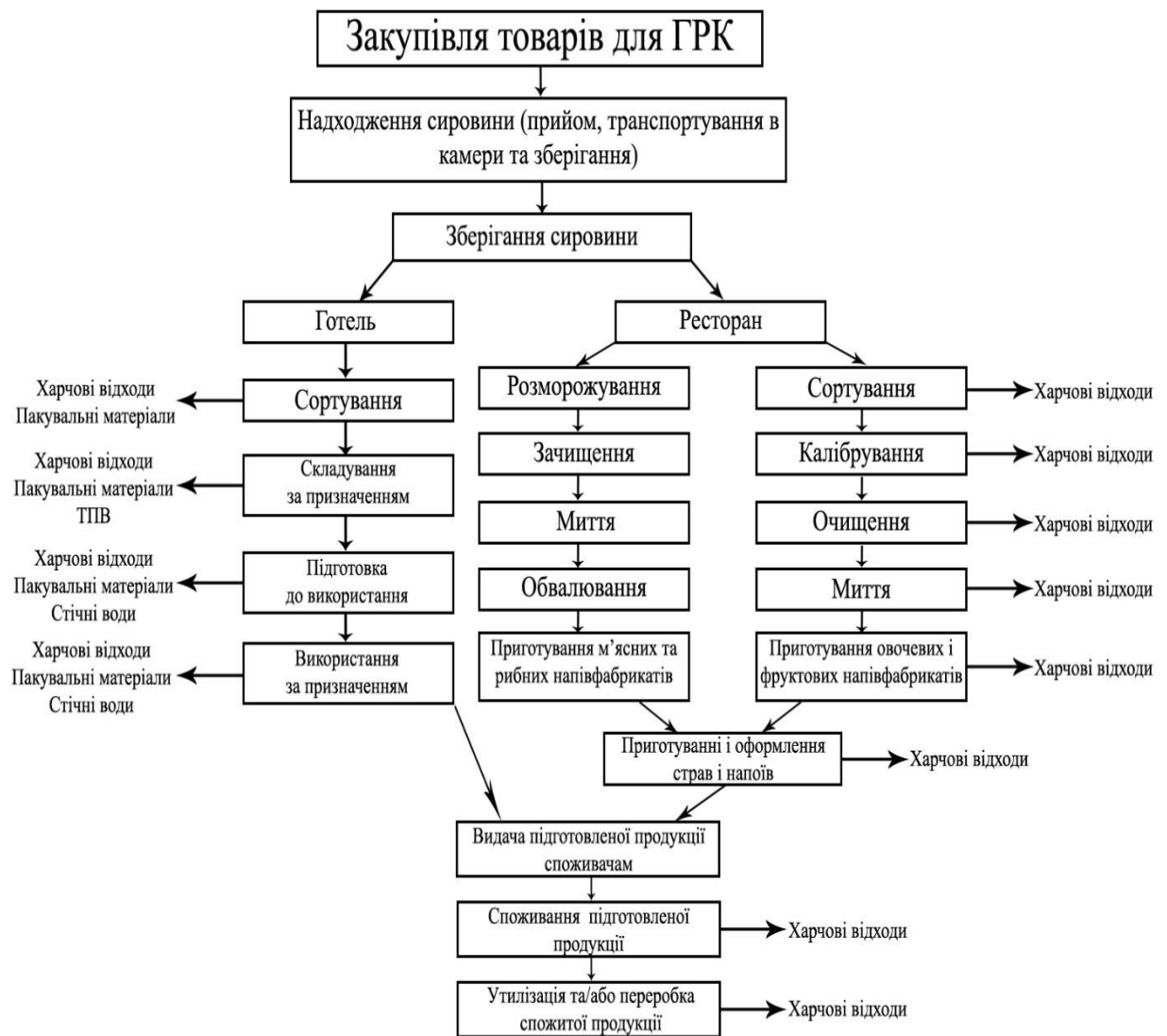


Рис. 3.1. Схема виробничих процесів готельно-ресторанного комплексу

На рис. 3.1. наведені виробничі процеси без деталізації за окремим видом діяльності, що включають закупівлю, надходження, зберігання, підготовку сировини та товарів в залежності від виду готової продукції та її

видачу, споживання та утилізацію. На всіх цих етапах спостерігається утворення харчових відходів, пакувальних матеріалів, стічних вод тощо, що мають антропогенний вплив на довкілля. Готельно-ресторанний комплекс має широкий асортимент продукції та послуг, що є джерелами викидів відходів та ЗР, деталізувати кожен з процесів доволі складно, через особливості послуг кожного окремого суб'єкту господарювання. В даному дослідженні пропонується розглянути декілька виробничих процесів, які впроваджені в будь-якому ГРК та показують узагальнений вплив на компоненти навколишнього середовища, наприклад, прання та виготовлення хлібобулочних виробів, що проілюстровані на рис. 3.2. та 3.3 відповідно.

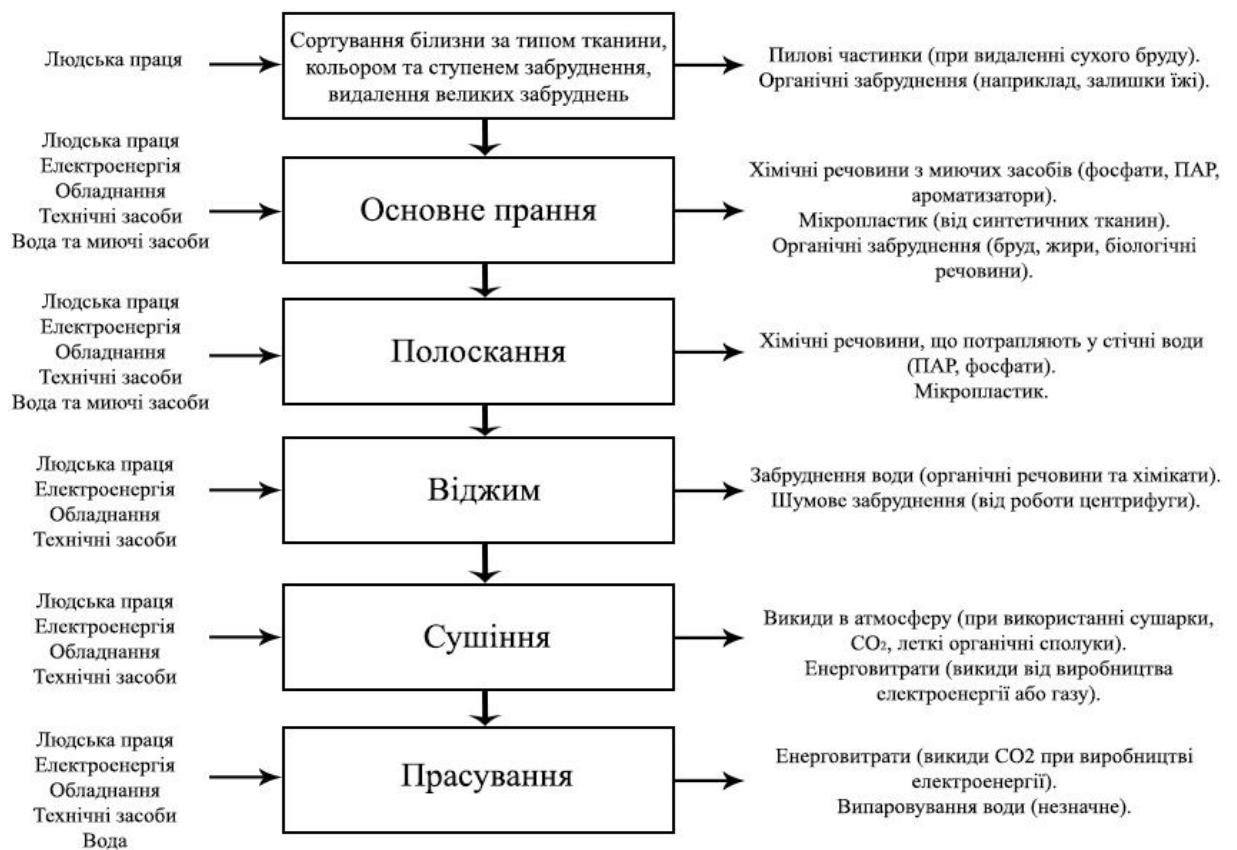


Рис. 3.2. Балансова схема процесу прання білизни

Як показано на рис 3.2. навіть при відтворенні такого, на перший погляд, простого виробничого процесу, як прання, використовуються широкий перелік ресурсів та викидаються різноманітні забруднюючі речовини до навколишнього середовища. Основними джерелами забруднення є: стічні води (хімічні речовини з миючих засобів та мікропластик); атмосферні викиди

(CO₂ та інші гази при використанні сушарки); тверді відходи (забруднені фільтри пральних машин, упаковка від миючих засобів). Зниження антропогенного навантаження від процесу прання може бути запропоновано: використовувати екологічно чисті миючі засоби; для економії та раціонального використання електроенергії - віддавати перевагу холодній воді під час прання; використовувати енергоефективні прилади; утилізувати мікропластик (наприклад, встановлювати спеціальні фільтри) тощо.

На рис. 3.3. показано більш детальний процес виробництва хліба, який охоплює всі етапи ОЖЦ продукції починаючи з пророшування пшениці, збору, фасування та помелу борошна, підготування дріжджів та добування солі. На етапі проведення робіт, залучені такі ресурси, як: людські, електроенергія, с/г. техніка, добрива, паливо, земельні ресурси, водні ресурси, пестициди, транспорт, вода, хімічні реактиви, пакувальні матеріали тощо. При цьому викиди в атмосферне повітря, водні басейни, підземні води та ґрунти є більш масштабними через збільшення переліку технологічних процесів, а саме: забруднення продуктами згорання палива, стічні води, шум, вібрація, пил, домішки, тепло, волога, хімічні відходи, пакувальні матеріали, дріжджова суспензія, димові гази, SO₂ тощо. Екологічними заходами для зниження забруднення довкілля є: зменшення викидів CO₂ та енерговитрат (використовувати енергоефективне обладнання, впроваджувати відновлювані джерела енергії, оптимізувати процеси випікання); зменшення споживання води та забруднення стічних вод (проваджувати системи оборотного водопостачання, використовувати технології, що зменшують витрати води, наприклад, замкнуті цикли тощо); зменшення впливу на ґрунти та водні ресурси через відмову від хімічних добрив та пестицидів; переробляти відходи, використовувати біопакувальні матеріали тощо), використовувати фільтри для очищення повітря від пилу та інших забруднень тощо.

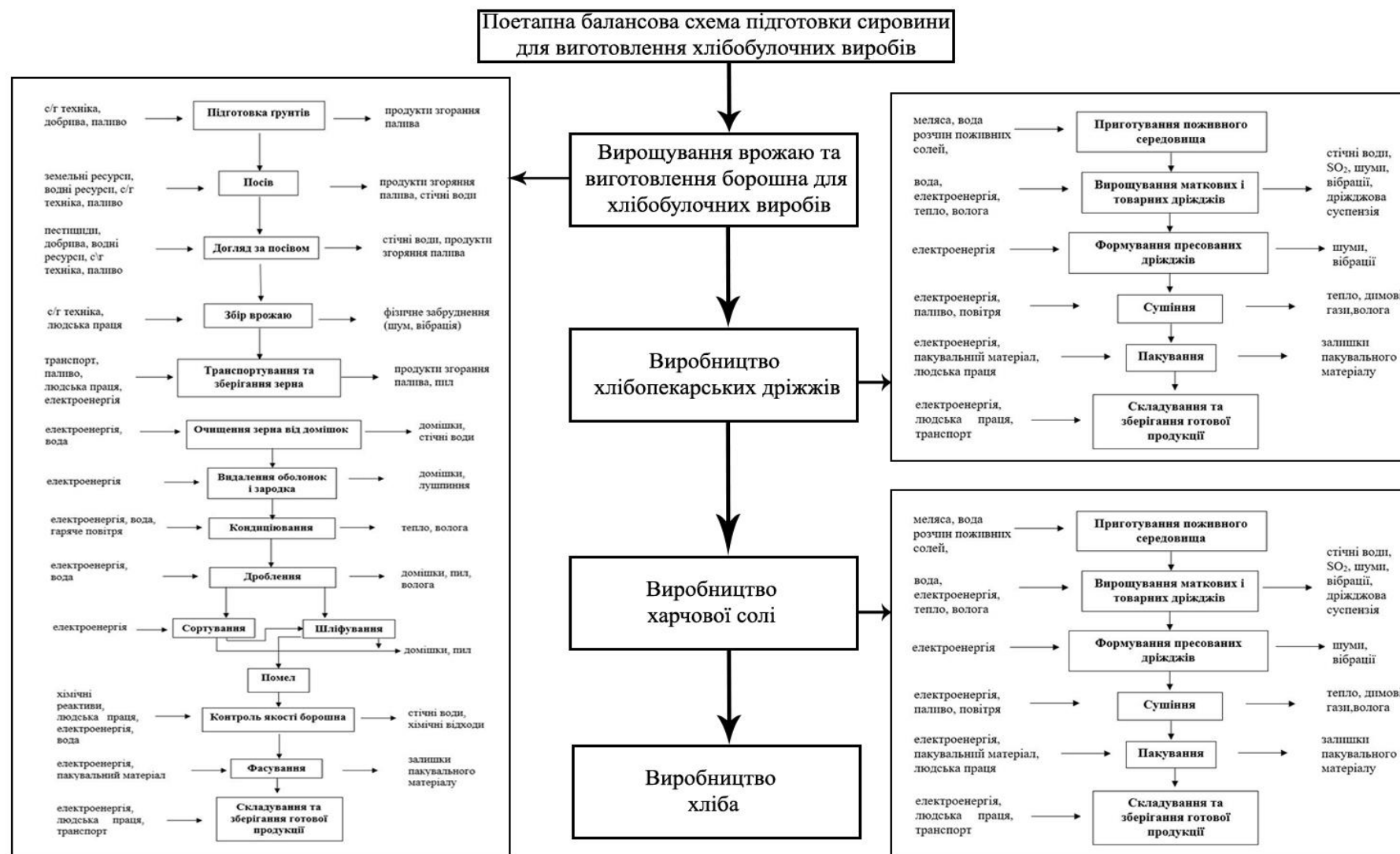


Рис. 3.3. Поетапна балансова схема підготовки сировини для виготовлення хлібобулочних виробів

До оцінки життєвого циклу готельно-ресторанного комплексу відносять аналіз балансових схем приготування напівфабрикатів тваринного та рослинного походження, готових страв, напоїв в холодному та гарячому цехах, що наведена на рис. 3.4.

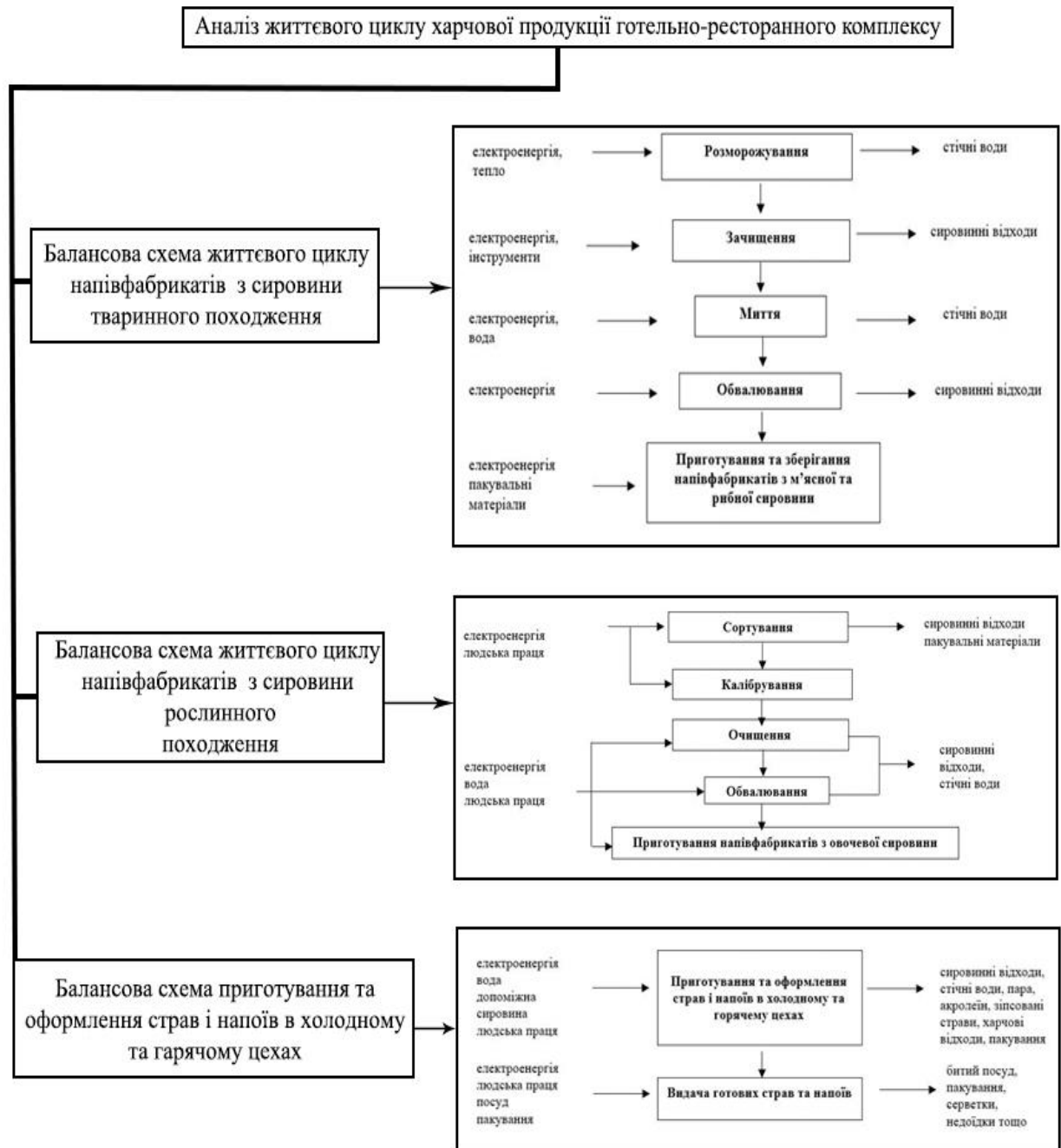


Рис. 3.4. Аналіз життєвого циклу харчової продукції готельно-ресторанного комплексу

Важливу роль в аналізі життєвого циклу відіграє місця розташування готельно-ресторанного підприємства, як фактор антропогенного впливу на навколишнє середовище. Територія розташування закладу потребує

вилучання земель, використання автотранспорту, технічні засоби, при цьому в процесі виробляються гази автотранспорту, зміна ландшафту земель тощо, при процесі будівництва або реконструкції відбувається порушення ґрунтів, забруднення стічними водами та іншими хімічними сполуками, утворення пилу, шуму, вібрації, викиди парникових газів, утворення відходів різних категорій тощо. Аналізуючи ці фактори на наведені балансові схеми можна зробити висновок, що функціонування готельно-ресторанного комплексу чинить значний негативний вплив на довкілля, а саме утворенням та викидами: пари, пилу, стічних вод, ТВП, харчових відходів, нафтопродуктів, ПАВ, СПАР, проливні мастильні матеріали, НМЛОС, CO₂, NO_x, SO₂ тощо.

Для комплексного аналізу всіх факторів, що впливають на навколишнє середовище через функціонування ГРК необхідно ідентифікувати та кількісно визначити екологічні аспекти, які включають вхідні та вихідні дані, що наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні та вихідні екологічні аспекти

Еко – баланс	
Вхід:	Вихід:
–Нерухомість – земельні ділянки, будівлі; –Основні виробничі засоби – виробниче обладнання, передавальні пристрої, транспортні засоби; –Обігові засоби – сировина, матеріали, напівфабрикати; –Енергія – струм, мазут, природний газ; –Вода – питна, технічна, дощова; –Повітря – кількість і навантаження.	– Вихід продукції – напівфабрикати, готова продукція; – Відходи – цінні відходи, рештки, інші відходи; – Виділення теплової енергії; – Стоки – кількість, навантаження; – Відпрацьоване повітря – кількість, навантаження; – Забруднення ґрунтів.

Схему аналізу життєвого циклу готельно-ресторанного комплексу наведено на рис. 3.5., що включає основні екологічні аспекти готельно-ресторанного господарства на довкілля. До вхідних аспектів відносяться допоміжні матеріали, електроенергія, водні та сировинні ресурси, повітря,

синтетичні миючі засоби та паливно-мастильні матеріали, а на виході ресторанне підприємство повертає у навколишнє середовище забруднені стічні води, викиди у атмосферне повітря, ТПВ, зокрема харчові відходи, надає послуги, а також існує ризик виникнення проливів, аварій, пожеж та інших надзвичайних ситуацій. Варто відмітити, що при наданні послуг: обслуговування гостей, кейтеринг, проведення банкетів та доставлення їжі завдають опосередкований вплив закладом, що спричиняє накопичення відходів, використання одноразового посуду та інших пакувальних матеріалів.



Рис. 3.5. Схема аналізу життєвого циклу готельно-ресторанного комплексу

3.1.2. Оцінка життєвого циклу продукції готельно-ресторанного господарства методом релевантних таблиць (матриць Леопольда)

Метод релевантних таблиць (матриць Леопольда) дозволяє оцінити окремі етапи життєвого циклу продукції готельно-ресторанного комплексу, вплив сировини, допоміжних матеріалів та технологічних процесів на навколишнє середовище. В табл. 3.2. охарактеризовано впливи на компоненти довкілля від виробництва та сировини готельно-ресторанного комплексу, що враховує повний життєвий цикл продукції. В таблиці 3.3. наведені не виробничі процеси.

Таблиця 3.2 - Оцінка впливу сировини, допоміжних матеріалів та технологічних процесів готельно-ресторанного комплексу на довкілля

Елементи довкілля		Сировина і допоміжні матеріали			Технологічні процеси виробництва																Відповідність	Оцінка
		Сировина рослинного походження	Сировина тваринного походження	Вода питна	Збір та транспортування сировини	Підготовка сировини	Миття сировини	Холодний цех	Гарячий цех	Сервіровка страв	Пакування напівфабрикатів та готових страв	Видалення відходів	Миття посуду	Автостоянка, гараж	Будівництво та реконструкція	Використання енергії	Управління відходами	Транспортні послуги для гостей готелю	Використання хімічних засобів у пральні	Обслуговування гостей протягом проживання в апартаментах		
Повітря	CO ₂	5	5	0	2	0	0	0	5	0	0	5	0	5	2	3	2	4	2	1	41	С
	CO	5	5	0	2	0	0	2	5	0	0	2	0	5	2	2	2	4	2	1	39	С
	NO _x	5	5	0	5	0	0	0	5	0	0	2	0	5	2	2	2	4	2	1	40	С
	SO ₂	5	5	0	5	0	0	0	5	0	0	5	0	5	2	2	2	2	2	1	41	С
	Фторорганічні сполуки /Хлорорганічні сполуки	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	2	1	0	1	16	С
	Низькомолекулярні легколетучі органічні сполуки	5	2	2	0	0	0	0	5	0	0	2	2	2	2	0	2	3	0	1	28	С
	CH ₄	2	5	2	2	0	0	0	2	2	0	2	2	2	2	2	2	3	0	1	31	С
	N ₂ O	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	0	2	3	0	1	17	С
	Кислоти/луги	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	2	0	5	1	20	С
	Неорганічні речовини	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	5	2	2	1	0	2	0	0	1	21	С
	Зважені частинки	2	2	2	5	2	2	2	2	0	0	5	2	2	5	0	2	1	2	1	39	С
	Важкі метали	2	2	5	5	0	0	0	0	0	0	10	2	2	2	0	2	0	1	1	34	С
	Відпрацьоване тепло/холод	2	5	0	2	2	5	2	10	2	2	5	5	5	3	0	2	3	2	1	58	С
	Пара	0	0	2	2	2	2	0	5	2	2	2	5	0	2	0	2	3	4	1	36	С

Продовження табл. 3.2

Вода	БПК ₅	2	2	0	0	5	5	5	5	0	0	5	2	0	0	0	4	0	2	1	38	С
	ХПК	2	2	0	0	5	5	5	5	0	0	5	2	0	0	0	4	0	2	1	38	С
	Кислоти/луги	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	4	0	5	1	14	С
	N(NH ₃ +NH ₄)	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	4	0	3	1	20	С
	Нітрати (NO ₃ ⁻)	5	2	0	0	2	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	4	0	3	1	24	С
	Нітрити (NO ₂ ⁻)	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	3	1	21	С
	Органічні речовини	5	5	0	0	2	2	2	2	0	0	10	2	0	2	0	4	0	3	1	38	С
	Солі	2	5	2	0	0	2	2	2	0	0	5	5	0	0	0	4	0	4	1	34	С
	Аміни	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	4	0	4	1	18	С
	Відпрацьоване тепло/холод	0	2	0	2	0	2	5	5	0	0	2	5	2	2	0	4	0	4	1	34	С
	Важкі метали	2	2	2	2	0	2	0	0	0	2	10	5	5	2	0	4	0	4	1	41	С
	Тверді тіла (вода)	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	5	5	2	2	0	4	0	2	1	31	С
Ґрунти	N	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	4	0	2	0	16	С
	P	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	3	0	2	0	15	С
	Пестициди	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	2	0	22	С
	Важкі метали	5	2	2	5	0	0	0	0	0	0	5	2	5	2	0	3	3	0	0	32	С
	Галогенні речовини	0	0	0	2	5	0	2	0	0	0	5	0	2	0	0	3	2	2	0	23	С
	Відпрацьоване тепло/холод	2	5	0	2	2	5	2	10	2	2	5	5	2	2	0	3	3	2	0	52	С
	Солі	2	5	2	0	0	2	2	2	0	0	5	5	2	2	0	3	2	2	0	34	С
	Підготовка ґрунту	10	5	5	5	2	0	0	0	0	0	10	2	5	3	0	3	2	0	0	49	С
Відходи	Видобуток сировини	10	5	10	10	0	0	0	0	0	0	5	5	2	0	0	3	0	0	0	50	С
	специфічні відходи	10	10	0	5	0	2	2	2	0	5	10	5	5	5	0	5	2	0	2	65	С
	інертні речовини	2	2	2	5	0	0	0	0	0	0	10	0	5	2	0	5	2	0	2	33	С
	горючі речовини	5	5	0	10	0	0	0	5	0	2	10	0	5	4	0	5	4	0	2	53	С
	вторинна сировина	10	10	0	0	2	2	2	2	2	2	10	2	5	4	0	5	2	0	2	58	С
	забруднюючі воду речовини	10	10	0	5	5	5	2	2	0	0	10	10	5	5	0	4	4	4	1	73	С
	осад стічних вод	10	5	0	5	0	10	0	2	0	0	10	10	5	5	0	5	2	5	2	71	С

Продовження табл. 3.2

Споживання	електроенергія	5	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	0	0	2	5	5	89	С
	легкозаймисті (в т.ч. ПММ)	2	2	0	10	0	0	0	10	0	2	10	0	10	5	3	3	2	0	1	60	С
	металеві	2	2	2	10	5	5	5	10	2	2	10	5	5	0	3	3	3	0	1	75	С
	неметалеві	5	5	5	5	2	2	5	5	10	10	10	5	5	0	3	3	2	0	1	83	С
	відновлювані	5	2	0	2	0	0	0	2	5	2	5	0	5	0	3	3	2	0	1	37	С
	вода	10	10	10	5	5	10	5	10	2	2	10	10	5	0	3	3	2	5	5	111	В
Інші	шуми	2	5	5	5	2	2	0	2	0	0	5	0	5	0	0	0	4	2	2	41	С
	вібрації	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	2	0	5	0	0	0	4	1	1	22	С
	ізотопи	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	13	С
	використання с/г земель	10	10	5	5	0	0	0	0	0	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0	45	С
	будівництво	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	10	0	2	0	0	0	0	0	0	19	С
	мікроорганізми	10	10	0	0	5	5	5	0	2	2	10	2	0	0	2	2	0	0	0	55	С
	ГМО	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	24	С
	електромагнітне випромінювання	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	9	С
Ризик	вибухонебезпечні речовини	2	2	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	5	0	2	2	4	0	0	47	С
	легкозаймисті речовини	2	2	0	10	0	0	0	5	0	5	10	0	5	0	2	2	3	0	0	46	С
	токсичні речовини	2	2	0	5	0	0	0	0	0	0	10	0	5	0	2	2	2	0	0	30	С
	речовини, забруднюючі воду	10	10	0	10	0	5	0	5	0	0	10	10	5	0	2	2	4	5	1	79	С
	роз'їдаючі речовини	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	2	2	4	5	1	26	С
	окиснювачі	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	2	2	4	5	1	26	С
	небезпечні зараженням	2	10	0	0	0	2	0	0	0	0	10	2	0	0	2	2	4	0	0	34	С
	гази, тиск	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	5	0	5	0	1	1	4	2	1	39	С
	реагуючі з Н ₂ О	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	5	5	0	3	3	1	2	1	42	С
	реагуючі з кислотами	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	1	0	1	9	С
Відповідність		237	239	83	210	66	93	62	169	36	49	385	168	180	77	47	168	111	114	63		
Оцінка		В	В	С	В	С	С	С	В	С	С	А	В	В	С	С	В	В	В	С		

Таблиця 3.3 - Оцінка впливу не виробничих стадій ЖЦ, інфраструктури та відходів ГРК на довкілля

Елементи довкілля			Діяльність											Відповідність	Оцінка
		Стадії ЖЦ				Інфраструктура									
		Вирощування сировини (рослинного і тваринного походження)	Реалізація продукції	Споживання	Утилізація	Агропромисловий комплекс	Ресторан	Готель	Автостоянка, гараж	Котельня	Пральня				
Повітря	CO ₂	5	5	5	2	5	5	4	5	5	3	5	49	С	
	CO	2	5	0	5	5	5	4	5	10	2	10	54	С	
	NO _x	5	2	0	5	2	5	4	5	10	2	10	50	С	
	SO ₂	2	2	0	5	2	2	1	5	5	1	5	30	С	
	Фторо-, хлорорганічні сполуки	2	2	0	2	2	0	0	0	2	3	5	18	С	
	НМЛОС	0	0	0	2	0	0	0	2	5	2	5	16	С	
	CH ₄	2	2	0	2	2	2	3	2	2	1	5	23	С	
	N ₂ O	2	0	0	2	0	0	0	0	5	1	5	15	С	
	Кислоти/луги	0	0	0	2	0	2	4	0	0	5	2	15	С	
	Неорганічні речовини	0	0	0	5	2	0	0	0	2	5	5	19	С	
	Зважені частинки	2	2	0	5	5	0	0	2	5	3	5	29	С	
	Важкі метали	5	0	0	2	5	0	0	2	0	1	5	20	С	
	Відпрацьоване тепло/холод	5	2	0	0	5	5	5	2	10	3	5	42	С	
Пар	0	10	0	5	2	10	10	2	10	0	5	54	С		
Вода	БПК ₅	5	5	2	5	2	10	10	0	0	0	10	49	С	
	ХПК	5	5	2	5	2	10	10	0	0	0	10	49	С	
	Кислота/луги	2	0	0	5	0	2	4	0	0	5	0	18	С	

Продовження табл. 3.3

	N(NH ₃ ⁺ ,NH ₄)	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	5	20	С
	NO ₃	2	0	0	2	2	0	0	0	2	0	5	13	С
	NO ₂	2	0	0	2	2	0	0	0	2	0	5	13	С
	Органічні матеріали	10	10	2	10	10	5	2	0	0	2	10	61	С
	Солі	5	5	0	0	2	2	5	0	0	3	5	27	С
	Аміни	2	2	0	0	2	0	0	0	0	4	2	12	С
	Відпрацьоване тепло/холод	5	10	0	5	5	10	10	2	10	2	5	64	С
	Важкі метали	5	0	0	5	5	0	0	2	0	2	5	24	С
	Тверді тіла(вода)	5	5	0	2	5	2	3	2	0	1	5	30	С
ґрунти	N	5	0	0	2	5	2	2	0	0	1	5	22	С
	P	5	0	0	2	5	2	2	0	0	1	2	19	С
	K	5	0	0	2	5	2	2	0	0	0	5	21	С
	Пестициди	10	0	2	2	10	0	0	0	0	1	2	27	С
	Важкі метали	5	2	0	0	2	0	0	0	0	0	5	14	С
	Галогеновмісні матеріали	2	5	0	0	2	2	2	2	2	2	5	24	С
	Відпрацьоване тепло/холод	5	10	0	5	5	10	10	5	10	0	5	65	С
	Використання ґрунтів	10	0	0	0	10	2	2	2	0	0	10	36	С
	Видобуток сировини	10	5	0	0	5	5	5	2	10	0	5	47	С
Відходи	Небезпечні відходи	5	2	0	5	5	2	2	5	2	0	10	38	С
	Інертні речовини	2	2	0	5	2	0	0	0	2	0	5	18	С
	Залишки	5	5	0	10	5	10	10	0	5	2	10	62	С
	Горюча сировина	5	2	0	5	5	2	2	10	10	1	10	52	С
	Вторинна сировина	5	5	0	5	5	10	10	2	0	1	5	48	С
	Осад стічних вод	10	10	0	5	10	5	5	5	2	3	5	60	С
	Легкозаймісті речовини	2	5	2	5	2	2	2	10	10	0	10	50	С
Сировина	Металеві речовини	0	2	0	5	2	2	2	5	0	0	5	23	С
	Неметалеві речовини	5	2	0	5	2	2	2	2	5	0	5	30	С
	Відновлювальні речовини	5	5	0	5	2	2	2	2	0	0	5	28	С
	Вода	10	10	5	5	10	10	10	5	2	0	5	67	С

Продовження табл. 3.3

	Вибухонебезпечні речовини	0	5	0	0	2	2	2	2	5	2	5	25	С
Ризик	Пожежонебезпечні речовини	2	10	0	5	2	5	5	10	10	1	10	60	С
	Токсичні речовини	0	2	0	5	2	2	2	5	2	3	5	28	С
	Речовини які забруднюють воду	5	5	0	5	5	5	5	5	2	5	10	52	С
	Корозійні матеріали	2	2	0	5	2	0	0	5	0	3	5	23	С
	Окиснювачі	0	0	0	0	2	2	2	2	0	5	2	15	С
	Небезпека зараження	5	5	5	5	2	5	5	2	0	0	10	44	С
	Гази під тиском	2	0	0	2	2	5	5	5	5	5	2	32	С
	Реакції з водою	5	2	0	2	2	0	0	0	0	5	5	21	С
	Реакції з кислотами	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	2	9	С
Відповідність		222	182	30	196	204	180	175	136	174	97	324		
Оцінка		В	В	С	В	В	В	В	В	В	С	А		

Аналізуючи дані наведені в табл. 3.2. та 3.3. слід зазначити, що виробничі та невиробничі процеси сумарно несуть суттєвий антропогенний вплив на довкілля, що оцінюється по шкалі А (324 бали). Під негативний вплив підпадають атмосферний та водний басейни, ґрунти. При цьому найбільший вплив на компоненти НС чинить накопичення відходів від діяльності готельно-ресторанного комплексу.

3.2. Впровадження технологій захисту навколишнього середовища та оцінка екологічних аспектів готельно-ресторанного господарства експериментальним методом

Для всеохоплюючої оцінки істотних аспектів системи екологічного менеджменту доцільно використовувати експертний метод оцінки, що відповідає вимогам СЕМ відповідно ДСТУ ISO 14001:2015. Завдяки АЖЦ можна ідентифікувати екологічні аспекти підприємства, які поділяються на вхідні, вихідні та ризикові, у табл. 3.4. наведені основні екологічні аспекти, що формуються в процесі функціонування готельно-ресторанного комплексу.

Таблиця 3.4 – Характеристика екологічних аспектів системи екологічного менеджменту готельно-ресторанного комплексу

Вид діяльності, назва підрозділу	Технологічний процес, обладнання– джерела утворення аспекту	Екологічний аспект	Вплив на навколишнє середовище
Приготування страв (овочевий, м'ясний холодний цехи)	Очищення, нарізка сировини	Сировинні відходи, пакувальні матеріали, тара	Забруднення ґрунтів
	Миття сировини і використаного посуду	Бруд, залишки ґрунту, синтетичні мийні засоби	Скиди стічних вод
Обслуговування ресторану, бару, банкетного залу	Прибирання бару, конференц – залу, столиків в ресторані	Папір, битий посуд, пляшки, зіпсовані меблі, харчові відходи	Забруднення ґрунтів
Обслуговування номерів, приміщень загального користування тощо	Прибирання номерів, коридорів, конференц-залів та інших приміщень загального користування	папір, тканина, пакувальні матеріали, пил, зіпсовані меблі, пляшки, харчові відходи	Забруднення ґрунтів
Пральня, миття посуду у цехах, душові кабінки	Прання робочого одягу та текстилю, миття посуду, використання душу персоналом	Вуглеводні, синтетичні мийні засоби	Скиди стічних вод, викиди в атмосферу

Продовження табл. 3.4.

Вид діяльності, назва підрозділу	Технологічний процес, обладнання– джерела утворення аспекту	Екологічний аспект	Вплив на навколишнє середовище
Автомобільна стоянка, гараж	Робота автомобілів	Викиди CO ₂ , N _x O _y , пари бензину	Викиди в атмосферу
		Пролив та відходи паливно –мастильних матеріалів, старі шини та акумулятори, відпрацьовані запчастини	Забруднення ґрунтів
		Змиті паливно – мастильні матеріали	Скиди стічних вод
Котельня	Робота котельні	Викиди CO ₂	Викиди в атмосферу
Холодний, гарячий цехи	Ризик вибуху обладнання, що працює під тиском		Викиди та скиди
Овочевий, м'ясний, холодний та гарячий цех	Холодильники	Ризик псування сировини	Забруднення ґрунтів

Аналіз екологічних аспектів ГРК свідчать про істотні впливи на компоненти довкілля від викидів стічних вод, витрат паливно-енергетичних ресурсів та харчових відходів (очистки овочів та фруктів і залишки їжі). В таблиці 3.5. наведена бальна оцінка екологічних аспектів готельно-ресторанного комплексу за обґрунтованими критеріями.

Таблиця 3.5 – Бальна оцінка екологічних аспектів системи екологічного менеджменту ГРК

Екологічний аспект	Основні джерела утворення, що складають більше 80% величини аспекту (назва цеху; назва технологічного процесу)	Фактичний і потенційно можливий вплив на навколишнє середовище	Масштабність	Регульованіс	Терміновіс	Ризик	Інтегральна значущість аспекту	Рангове місце аспекту
Сировинні відходи	М'ясо – рибний і овочевий цехи: приготування напівфабрикатів Ризик псування сировини	Забруднення ґрунту	3	2	3	2	10	1
Папір	Ресторан: прибирання столиків М'ясо – рибний і овочевий цехи: приготування напівфабрикатів	Забруднення ґрунту	1	2	2	0	5	4
Битий посуд	Ресторан: прибирання столиків та залу М'ясо – рибний і овочевий цехи: приготування напівфабрикатів	Забруднення ґрунту	2	2	1	0	5	4
Зіпсовані меблі	Зал ресторану, номери готелю, допоміжні приміщення, бар	Забруднення ґрунту	1	2	1	0	4	5
Пакування	М'ясо – рибний і овочевий цехи: приготування напівфабрикатів	Забруднення ґрунту	3	2	2	1	8	2
Викиди CO ₂	Котельня: під час роботи котла Автомобільна стоянка: під час роботи двигунів автомобілів	Забруднення атмосфери	3	2	2	1	8	2
Викиди N _x O _y	Автомобільна стоянка: під час роботи двигунів автомобілів	Забруднення атмосфери	2	2	2	1	7	3
Викиди парів бензину	Автомобільна стоянка: під час роботи двигунів автомобілів	Забруднення атмосфери	2	2	2	1	7	3
Паливно – мастильні матеріали	Автомобільна стоянка: під час роботи двигунів автомобілів, ризик виникнення течі	Забруднення атмосфери, ґрунту	1	1	1	1	4	5
Вуглеводні	Пральня: очищення забрудненого одягу та білизни	Забруднення стічних вод	3	2	2	1	8	2
Синтетичні мийні засоби	Пральня: очищення забрудненого одягу та текстилю М'ясо – рибний, овочевий, холодний та гарячий цехи: під час миття сировини та обладнання	Забруднення стічних вод	3	2	2	1	8	2

Згідно з релевантними таблицями найбільш істотний вплив та навантаження направлене на ґрунти та водне середовища, що характеризується накопиченням великої кількості різних відходів (харчові відходи, ТПВ тощо) та скидами стічних вод підприємства, що контаміновані колоніями мікроорганізмів, синтетичними миючими засобами, мінеральними домішками та розчином мастильних матеріалів. Можна зробити висновок, що виробничі цехи та пральня спричиняють негативний вплив на компоненти довкілля.

Враховуючи проведений аналіз впливу функціонування готельно-ресторанного комплексу на компоненти навколишнього середовища, необхідно окреслити заходи, що можуть бути направлені на зниження антропогенного навантаження та впроваджені на підприємствах сфери HoReCa, як природоохоронні та ресурсозбереженні. В таблиці 3.6. наведена програма заходів по скорочено викидів від роботи готельно-ресторанного комплексу, що сприятиме зниженню навантаження на довкілля.

Таблиця 3.6 – Програма природоохоронних заходів готельно-ресторанного господарства

Підрозділи, процеси	Екологічні аспекти	Природоохоронні заходи	Відповідальні особи	Термін виконання
Етап 1				
Екологічна політика: Підприємство зобов’язується знизити ризикові аспекти підприємства; дотримуватись природоохоронних законодавчих вимог.				
Екологічні цілі: зменшення викидів в атмосферне повітря від котельні, холодного та гарячого цехів, автотранспорту; зменшення викидів на 3%.				
Холодний та гарячий цехи	Пар	Встановлення обладнання по збиранню та конденсації пару	Директор, шеф-кухар	3 місяці
		Встановлення обладнання для збирання та рециклінгу пару	Директор, шеф-кухар	

Продовження табл. 3.6

	Акролеїн	Встановлення обладнання для вловлювання акролеїну, накопичення його в ємності та знезараження	Директор, шеф-кухар	3 місяці
	Ризик вибуху посудин під тиском та пожеж	Оновлення обладнання	Директор, шеф-кухар	3 місяці
		Ремонт обладнання	Директор, шеф-кухар	Протягом тижня після виявлення
		Інструктаж працівників	Шеф-кухар	1 раз на місяць
Котельня	CO ₂	Встановлення обладнання для вловлювання CO ₂	Директор	3 місяці
		Удосконалення технологічного процесу	Інженер котельні	
Автотранспорт	CO ₂ , N _x O _y , пари бензину	Використання електротранспорту	Директор	6 місяців
		Ремонт несправних автомобілів	Механік	За вимогою
Етап 2				
Екологічна політика: підприємство зобов'язується зменшити скиди стічних вод				
Екологічні цілі - забезпечити постійне зниження рівня забруднюючих речовин у стічних водах ресторанного закладу; знизити ГДК за вмістом завислих речовин у стічних водах на 10 %; зменшення скидів в стічні води синтетичних мийних засобів від хімічистки, пральні, холодного та гарячого цехів на 5 %; зменшення скидів в стічні води від миття сировини в овочевому цеху та м'ясо-рибного цеху на 3 %.				
Пральня	Синтетичні мийні засоби	Удосконалення технології	Адміністратор	1 місяць
		Застосування безпечних миючих засобів		
М'ясний, холодний та гарячий цехи	Жир	Застосування жировловлювача	Шеф-кухар	3 місяці
		Використання засобів для розщеплення жирів		
	Синтетичні мийні засоби	Удосконалення технології	Шеф-кухар	1 місяць
		Застосування безпечних миючих засобів		
	Відходи сировини	Застосування подрібнювачів	Шеф-кухар	3 місяці
		Встановлення накопичувального бункеру		
		Заміна діючої технології та апаратурного використання і перероблення відходів		

Продовження табл. 3.6

Душова кімната	Синтетичні мийні засоби	Застосування безпечних миючих засобів	Адміністратор	1 місяць
Овочевий цех	Відходи сировини	Застосування подрібнювачів	Шеф-кухар	3 місяці
		Встановлення накопичувального бункеру		
		Встановлення решіток		
		Компостування відходів	Адміністратор	
	Бруд	Встановлення пісколовок	Шеф-кухар	3 місяці
		Попереднє очищення сировини від бруду		
Гараж, автомобільна стоянка	Паливно – мастильні матеріали	Герметизація вузлів та агрегатів автомобіля	Механік	3 місяці
		Захист ґрунту від проливів	Директор	3 місяці
	Бруд, залишки ґрунту	Очищення автомобілів від бруду та ґрунту	Водій	Перед миттям
	Ризик виникнення течі паливно-мастильних матеріалів	Діагностика та ремонт автомобілів	Механік	За вимогою
Етап 3.				
Екологічна політика: зменшення об'єму утворення відходів				
Екологічні цілі: зменшення утворення харчових відходів з овочевого та м'ясо – рибного цехів; зменшення утворення побутових відходів із усіх підрозділів підприємства; утилізація та рециклінг відходів; зменшення сировинних відходів на 10 %; зменшення кількості побутових відходів на 15 %.				
Овочевий, м'ясний, холодний та гарячий цехи	Сировинні відходи	Удосконалення технології підготовки сировини	Шеф-кухар	2 місяці
		Удосконалення технології утилізації харчових відходів ресторанного господарства		
	Ризик псування сировини	Обслуговування холодильного обладнання	Шеф-кухар	За вимогою
		Оновлення обладнання		2 місяці
Овочевий, м'ясний цехи	Папір	Повторне використання	Адміністратор	За вимогою
		Збір макулатури	Прибиральниця	Щоденно
	Пакувальні матеріали	Використання багаторазових пакувань (склотара, контейнери)	Шеф-кухар	Щоденно

Продовження табл. 3.6

		Сортування використаних пакувальних матеріалів	Прибиральниця	Щоденно
		Збір та передача вторсировини на переробку		
	Битий посуд	Бережне використання посуду	Адміністратор	1 місяць
		Покращення технології обслуговування		
		Навчання персоналу		
Гараж	Автомобільні шини	Відправка на переробку	Механік	За вимогою
	Паливно-мастильні матеріали	Недопущення проливів		3 місяці
		Захист ґрунтів		
	Відпрацьовані акумулятори	Відправка на переробку		За вимогою
	Зламані деталі автомобілів	Збір металобрухту		За вимогою
		Ремонт деталей		
Етап 4.				
Екологічна політика: ресурсозбереження та ефективне використання сировини та допоміжних матеріалів				
Екологічні цілі: - скоротити забір та використання води на 7%, зменшити споживання електроенергії на 5%				
Усе підприємство	Економія води	Встановлення фільтрів та очисних систем	Директор	4 місяці
		Повторне використання води		
	Економія енергетичних ресурсів	Встановлення економічних ламп	Директор	1 місяць
		Використання альтернативних джерел енергії		12 місяців
		Використання електричних обігрівальних пристроїв		6 місяців

Висновки до розділу 3

1. Методом балансових схем досліджено життєвий цикл продукції готельно-ресторанного комплексу на усіх етапах виробництва та функціонування закладу, що дозволяє оцінити негативний вплив на компоненти довкілля по вузько направленим критеріям кожного окремого етапу. Враховуючи особливості роботи ГРК слід зазначити, що було визначено

основні чинники негативного впливу, а саме: CO₂, паливно-енергетичні та водні ресурси, забруднення атмосфери парниковими газами, пилом, навантаження на літосферу, накопичення відходів.

2. Методом релевантних таблиць визначили, як найбільш впливовий чинник антропогенного впливу на довкілля від функціонування готельно-ресторанного комплексу – накопичення відходів, що оцінено по шкалі А та відносить до значного впливу.

3. Були ідентифіковані істотні екологічні аспекти готельно-ресторанного комплексу, а саме: стічні води, відходи виробництва, паливно-мастильні матеріали тощо. Також результатом оцінки екологічних аспектів є запропонована програма природоохоронних та ресурсозбережених заходів направлених на зниження негативного впливу на довкілля.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

4.1. Отримання та дослідження впливу біочару з відпрацьованої кавової гуші на процеси анаеробного зброджування харчових відходів.

4.1.1. Отримання біочару шляхом термічного та мікрохвильового піролізу

Харчові відходи здебільшого є лігноцелюлозними матеріалами, до складу яких входять целюлоза (різновид полімеру глюкози з добре впорядкованою структурою та довгими ланцюгами), лігнін (мономери фенольної природи утворюючи розгалужені молекули з довгими ланцюгами, є важливим компонентом для склеювання целюлозних волокон між собою) та геміцелюлози (розгалужені полісахариди, що складаються з двох або більше моносахаридів). Всі органічні сполуки, що входять в склад біомаси мають певні температурні інтервали при процесі розкладання протягом піролізу без доступу кисню, головними параметрами, що впливають на вихідний продукт є: температура процесу, час перебування, тип біомаси та швидкість нагрівання. Розкладання геміцелюлози відбувається в інтервалі температур 220-315°C, целюлози – 315-400°C, в результаті чого перетворюється на неконденсований газ та органічні пари, що конденсуються. Процес розкладання лігніну відбувається повільно починаючи при температурі 160°C та завершуючи за температури 900°C [155].

Отримані зразки біочару при термічному та мікрохвильовому піролізі, візуально мають зміну зовнішнього вигляду. Сировина та біочар-МХ мають схожий колір та структуру, при візуальному порівнянні біочар-МХ має трішечки темніший колір ніж сировина. В той час, як біочар-300 та біочар-500 отримані традиційним піролізом при збільшених температурах, мають насичений чорний колір не змінюючи морфологічної форми. Зразки сировини та біочарів отриманих шляхом традиційного та мікрохвильового піролізу, наведені на рис 4.1.



a



6



B

 Γ

Рис. 4.1. Зразки сировини та біочарів отриманих шляхом традиційного та мікрохвильового піролізу: *а* – сировина; *б* – біочар-МХ; *в* – біочар-300; *г* – біочар-500.

4.1.2. Гранульований та біополімерний склад зразків сировини та біочару

В першу чергу в розрізі даного дослідження визначали хімічний склад харчових відходів, а саме відпрацьованої кавової гущі, що в подальшому піддавалась піролізу та мікрохвильовому опроміненню та також аналізувались на біополімерний склад. В табл. 4.1. наведено результати дослідження

хімічного складу сировини та біочарів, які отримано, а саме: біочар, що отриманий піролізом при температурі 300°C (біочар-300), біочар, що отриманий піролізом при 500°C (біочар-500) і біочар, що отриманий за допомогою мікрохвильового опромінення (біочар-MX).

Таблиця 4.1. - Результати визначення хімічного складу сировини та зразків біочару

Біомаса	Білок, (%)	Ліпіди, (%)	Геміцелюлози, (%)	Целюлоза, (%)	Лігнін, (%)	Зола, (%)
Кавова гуща (сировина)	11,2	15,4	19,1	8,6	24,3	1,2
Зразки, отримані піролізом сировини						
Біочар-300	5,6	7,5	10,7	20,3	29,3	6,3
Біочар-500	1,4	2,3	6,7	27,7	31,9	8,9
Зразки, отримані мікрохвильовим опроміненням сировини						
Біочар-MX	2,7	3,8	8,5	25,2	33,5	6,1

Як свідчать результати визначення хімічного складу сировини та біочарів, отриманих піролізом та мікрохвильовим опроміненням, зі збільшенням температури піролізу збільшується доля лігніну та золи. Зі збільшенням температури піролізу починається деструкція термічно стійких сполук, що впливає на збільшення долі золи, як негорючого залишку. В зразка з високою температурою горіння висока доля лігніну характеризується діапазоном температури, яка знаходиться в межах 160-900 °C, в той час, як інші органічні сполуки згоряють при більш низьких. У біополімерному складі біочару, який отримано з використанням мікрохвильового опромінення, зростає також доля целюлози.

З метою збільшення активної поверхні біочару матеріал після карбонізації піддавався подрібненню в кульовому млині з подальшою

класифікацією частинок за розміром. Дані дослідження розміру частинок наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. - Гранулометричний склад біочарів після подрібнення

Розмір частинок, мм	>1	1– 0,61	0,61– 0,45	0,45– 0,30	0,30– 0,25	0,23– 0,17	0,17– 0,10	<0,1	Всього
Біочар-300									
Вміст, мас. %	0,4±0,02	0,1±0,01	0,6±0,04	3,2 ±0,07	0,2 ±0,01	6,7±0,1	5,9 ±0,07	82,9±0,40	100
Біочар-500									
Вміст, мас. %	0,3±0,02	0,1±0,01	0,7±0,05	3,8 ±0,08	0,1 ±0,01	6,9±0,1	4,6 ±0,08	83,5±0,43	100
Біочар-MX									
Вміст, мас. %	0,4±0,02	0,1±0,01	1,1±0,05	4,8 ±0,06	0,5 ±0,01	6,2±0,1	5,9 ±0,06	81,0±0,37	100

З табл. 4.2. видно, що найбільшим вмістом (82,9 % мас., 83,5 % мас., та 81,0% мас.) у карбонізаті після подрібнення характеризується фракція частинок із розміром < 0,1 мм.

4.1.3. Структурні характеристики сировини та біочарів

Біополімерний склад і структурні характеристики поверхні біочарів надають суттєвий вплив на функціональні властивості біочарів. Це і було передумовою для вивчення вказаних показників. Результати дослідження середнього радіусу пор (r , 10^{-10} м) та питомої поверхні ($S_{\text{пит}}$, $\text{м}^2/\text{г}$) наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. - Структурні характеристики поверхні біочарів

Зразок	Структурні характеристики поверхні	
	$r \cdot 10^{10}$	S пит., м ² /г зразка
Біочар-500	24,80	164,21
Біочар-300	27,01	132,77
Біочар-MX	26,99	152,19
Сировина	26,98	130,07

Як видно з наведених в таблиці 4.3. експериментальних даних порівняльного дослідження структурних характеристик поверхні біочарів та сировини, з яких вони виготовлені, питома поверхня біочарів значно більша, ніж питома поверхня сировини, що вказує на доцільність вибраних методів модифікації сировини з метою збільшення її функціональних властивостей. Питома поверхня біочарів визначається кількістю доступних сорбційних центрів для іонів свинцю, чим більша питома поверхня (м²/г), тим більше сорбційні властивості зразків. Сорбційні властивості біочарів залежать від радіусу пор, що впливає на процес сорбції іонів свинцю, при більших розмірах пор Pb^{2+} , який має певний гідратований радіус, може проникати в пори біовугілля, при цьому менші розміри занадто малі для сорбування. Збільшення температури піролізу супроводжується збільшенням питомої поверхні пор, однак найкращі показники розвиненої поверхні біочарів спостерігаються для зразка біочару, отриманого з використанням мікрохвильового піролізу, що вказує на перспективність та доцільність використання цього методу модифікації сировини для отримання біочарів з високими функціональними властивостями при їх використанні в природоохоронних технологіях.

4.1.4. Сорбційні властивості сировини та біочарів

Прогнозування дії біочарів в різних процесах, де вони використовуються, здійснюються на основі контролю ряду показників якості,

основне місце серед яких займають сорбційні властивості. Відомо, що біочари є ефективними сорбентами забруднювачів навколишнього середовища, таких як іони важких металів, аміаку, нафти та нафтопродуктів, забруднювачі мікробіологічного походження та ін.

В процесі анаеробного зброджування використання біочару в якості інтенсифікатора має важливе значення, а саме сорбцію аміаку під час метаногенезу, який виступає в якості лімітуючої стадії процесу. В той час, як механізми сорбції свинцю (іонообмін, хелатування, адсорбція за рахунок електростатичного тяжіння) та аміаку (фізична та хімічна адсорбція), маю певні відмінності, але фактори, що впливають на процес, наприклад, рН 5-7 та кінетика з рівновагою, що може бути описана моделями Ленгмюра та Фрейндлиха мають схожі риси. Опираючись на це, та той факт, що використання сорбційних властивостей біочарів для додаткових технологічних процесів є більш широким з точки зору сорбції іонів свинцю (видалення забруднюючих речовин зі стічних вод, питної води, промислових відходів тощо) було вирішено проводити дослідження сорбційних властивостей по іонам важких металів.

У таблиці 4.4. представлені результати визначення сорбції іонів Pb^{2+} сировини та біочарів, які отримані різними фізичними методами.

Таблиця 4.4. - Сорбція іонів свинцю біочарами та сировиною

Зразок	Сорбція Pb^{2+}	
	мг/г нос.	% від вихід.
Кавова гуща	8,6±0,02	21,5±0,28
Біочар-300	12,8±0,07	34,5±0,41
Біочар-500	13,3±0,12	35,7±0,06
Біочар-MX	10,9±0,05	29,2±0,17

Досліджуючи взаємодію іонів свинцю із рослинною сировиною та її модифікованими формами, надали характеристику закономірностей їх сорбції цими ентеросорбентами. Отримані результати (табл. 4.4.) свідчать про те, що сорбція модифікованими формами значно вища, ніж рослинною сировиною, ймовірно, завдяки відмінностям у хімічному складі, властивостях поверхні та ін. Зіставлення даних сорбції іонів свинцю модифікованими формами (біочарами) дозволяє зробити висновки про значний вплив методу отримання на величину сорбції. Температура піролізу біочару надає сприятливий вплив на сорбційні властивості зразків, зі збільшенням температури збільшуються сорбційні властивості.

Найбільш доцільним підходом дослідження механізму адсорбції є вивчення ізотерм адсорбції. Важливими характеристиками адсорбції є: а) швидкість адсорбції; б) форма ізотерми; в) наявність плато на багатьох ізотермах; г) ступінь адсорбції розчинника; ґ) тип адсорбції – багат шаровий або моношаровий; д) орієнтація адсорбованих молекул; е) вплив температури; є) природа взаємодії між адсорбатом та адсорбентом.

Ізотерми адсорбції, зображені на рис. 4.2., можна віднести до L-типу. Процеси адсорбції, що відповідають даному типу ізотерм, характеризується зневажливо малою взаємодією між адсорбованими молекулами, коли енергія активації не залежить від ступеня заповнення поверхні. До ізотерм такого типу призводить паралельна орієнтація молекул розчиненої речовини. На початковій ділянці ізотерми класу L увігнуті щодо осі концентрацій.

Для інтерпретації ізотерм сорбції іонів свинцю біочарами застосовували рівняння Ленгмюра:

$$a = \frac{a_m \cdot K \cdot C}{1 + K \cdot C} \quad (4.1)$$

де C – рівноважна концентрація ацетату свинцю у розчині, моль/л;

a – кількість ацетату свинцю в молях, яка сорбована одиницею маси біочару, моль/г;

a_m – константа сорбційної здатності, що характеризує максимальну кількість сорбату, яка може мономолекулярно сорбуватись сорбентом;

K - константа спорідненості, що характеризує міцність сил, що залучаються до взаємодії (константа афінності).

Експериментальні результати оброблялися за допомогою рівняння Ленгмюра у лінійній формі (рис. 4.2.). Результати оцінки величини сорбційних констант представлені у табл. 4.5.

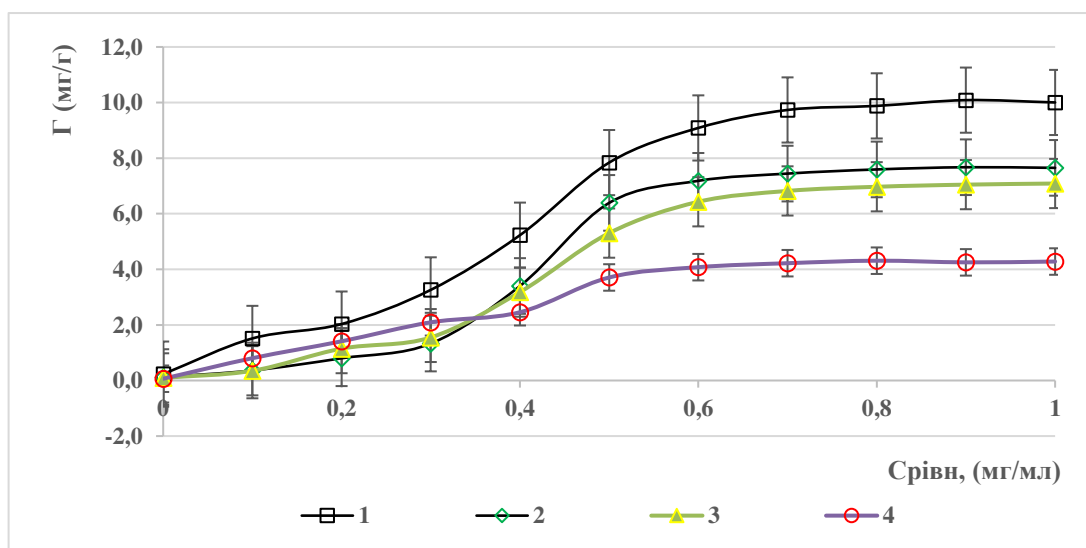


Рис. 4.2. Ізотерми адсорбції ацетату свинцю: 1) сировина; 2) біочар-300; 3) біочар-500; 4) біочар-MX.

Таблиця 4.5. - Сорбційні константи іонів свинцю біочарами

Сорбент	Константа афінності, K , моль/л	Константа сорбційної здатності, a_m , моль/г
Біочар-300	$359 \pm 1,44$	$0,042 \pm 0,002$
Біочар-500	$341 \pm 1,43$	$0,033 \pm 0,002$
Біочар-MX	$374 \pm 1,63$	$0,078 \pm 0,004$

Порівнюючи сорбційну здатність біочарів, виходячи зі значень констант сорбційної здатності a_m можна зробити висновок про те, що на поверхні біочар-MX є велика кількість сорбційних центрів, здатних взаємодіяти з іонами свинцю. Біочар-MX утворює також міцні зв'язки з іонами свинцю.

Результати експериментальних досліджень щодо впливу концентрації іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами, що представлені в табл. 4.6., свідчать, що максимальні значення сорбції спостерігаються в умовах досліду при початковій концентрації іонів свинцю 1,00 мг/мл.

Таблиця 4.6. - Вплив концентрації іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами

Зразок	Початкова концентрація кислоти, мг/мл	Сорбція	
		мг/г препарату	% від вих.
Кавова гуща	0,25	0,7±0,03	10,7±0,07
	0,50	1,9±0,03	15,3±0,04
	0,70	3,5±0,04	20,1±0,03
	1,00	7,5±0,02	29,8±0,05
	2,00	13,8±0,08	27,6±0,07
Біочар -500	0,25	0,7±0,03	10,8±0,11
	0,50	2,2±0,01	17,4±0,02
	0,70	5,1±0,04	29,3±0,13
	1,00	10,1±0,02	40,5±0,23
	2,00	19,9±0,11	39,8±0,24
Біочар -300	0,25	0,5±0,07	8,2±0,06
	0,50	1,4±0,12	10,9±0,14
	0,70	4,3±0,19	24,8±0,13
	1,00	7,5±0,09	30,1±0,08
	2,00	14,6±0,16	29,1±0,09
Біочар-МХ	0,25	0,6±0,08	9,1±0,08
	0,50	2,3±0,02	18,3±0,19
	0,70	5,3±0,06	30,4±0,07
	1,00	10,1±0,04	40,3±0,07
	2,00	16,4±0,10	32,8±0,09

Аналіз ізотерм сорбції іонів свинцю зразками біочарів, графічне рішення рівняння Ленгмюра, що дає прямопропорційну залежність у координатах: рівноважна концентрація кислоти – відношення рівноважної концентрації до величини сорбції (рис. 4.3.) та розрахунок констант сорбції підтверджують адекватність досліджуваного процесу теорії мономолекулярної адсорбції Ленгмюра.

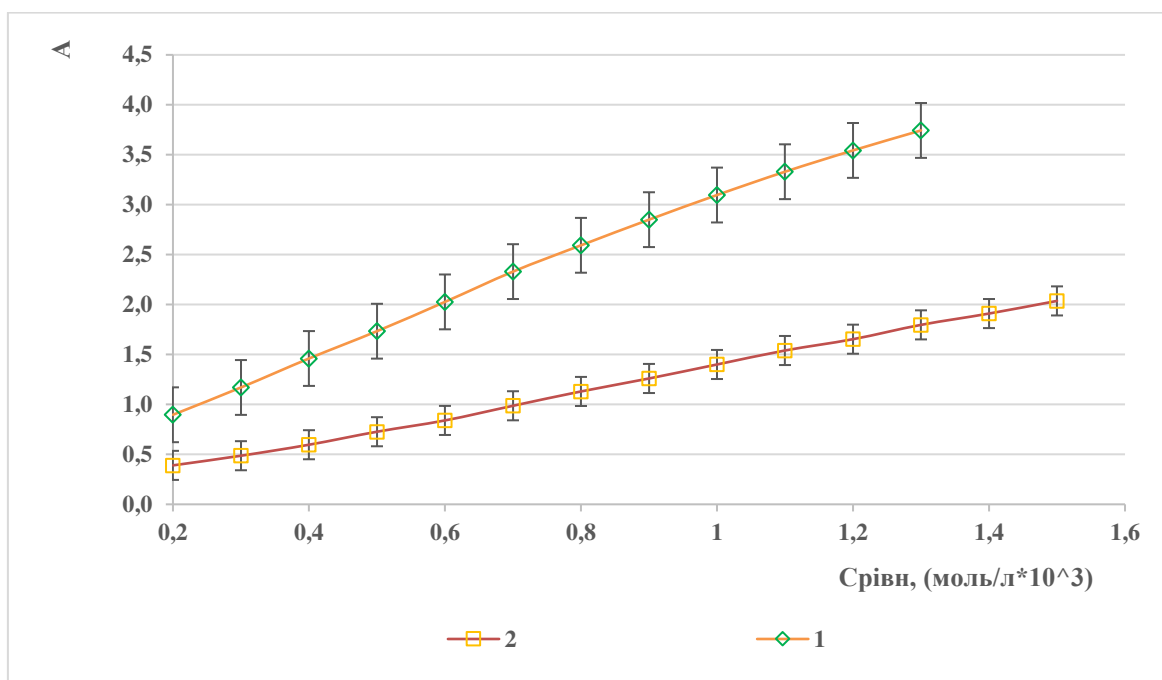


Рис. 4.3. Залежність рівноважної концентрації ацетату свинцю від відношення рівноважної концентрації до величини сорбції: 1 – біочар-500; 2 – кавова гуща.

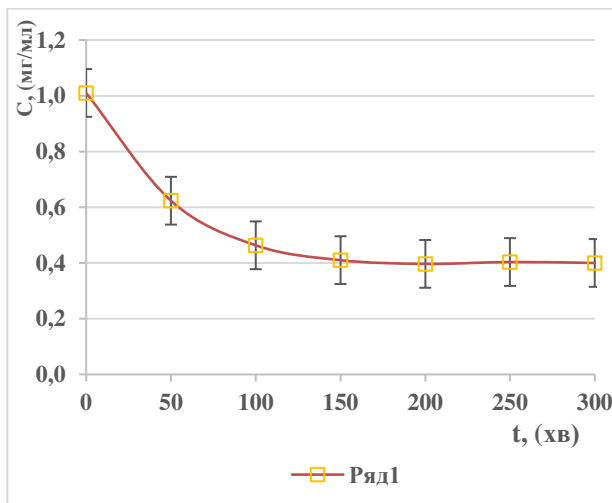
Кінетика сорбції іонів свинцю біочарами

На рис. 4.4. представлений характерний перебіг кривої залишкових концентрацій іонів свинцю, у тому числі видно, що рівновага у системі досягається за кілька годин. Виходячи з одного із наслідків загальної теорії процесів, контрольованих дифузією, між залишковою концентрацією c_t і коренем квадратним з часу $\sqrt{t}$ існує лінійна залежність. Лінеаризація кривої залишкових концентрацій дає можливість порівнювати між собою константи

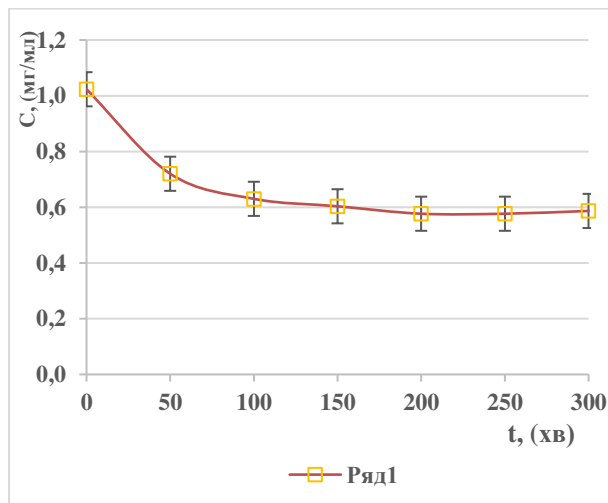
швидкості сорбції, що визначаються як відношення кількості сорбованого матеріалу (P) до маси сорбенту (m) і квадратного кореня з часу:

$$K = \frac{P}{m\sqrt{t}} \quad (4.2)$$

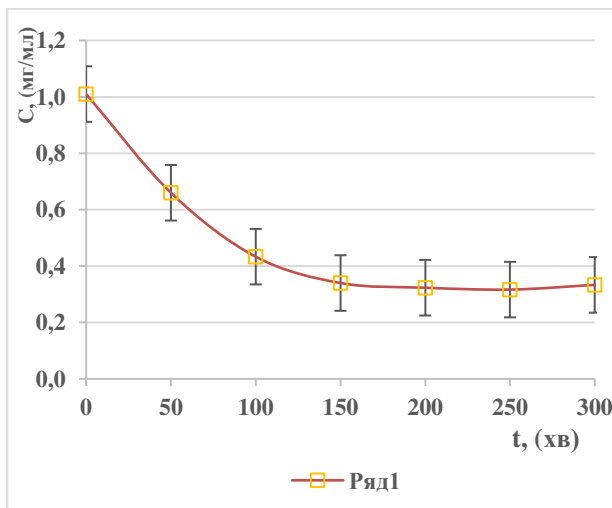
Графічно K визначається за нахилом кривої залишкових



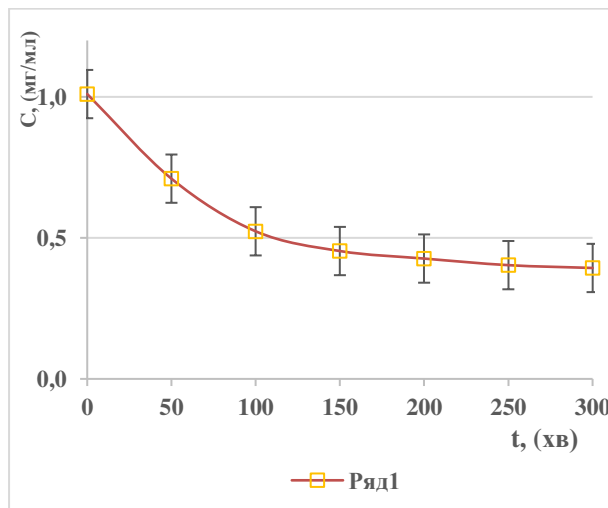
а



б



в



г

Рис. .4.4. Залежність залишкових концентрацій іонів свинцю від часу інкубації на сировині та зразках біочарів: на сировині (а), на біочарів-300 (б), на біочарів-500 (в), на біочарів-MX (г) в 0,1% розчині іонів свинцю.

Кількість матеріалу (Q) сорбованого одиницею маси сорбенту ($Q = \frac{P}{t}$), лінійно пов'язане з величиною $\sqrt{t}$:

$$Q = K \cdot \sqrt{t} \quad (4.3)$$

Якщо диференціювати цей вираз по dt , отримуємо швидкість сорбції (v):

$$v = \frac{dQ}{dt} = \frac{K}{2\sqrt{t}} \quad (4.4)$$

Результати визначення швидкості сорбції іонів свинцю сировиною та біочарами (табл. 4.7) свідчить, що швидкість сорбції іонів свинцю зростає при збільшенні температури піролізу. Найвища швидкість сорбції іонів свинцю спостерігається для біочару, отриманого при використанні мікрохвильового опромінення.

Таблиця 4.7. - Швидкість сорбції іонів свинцю сировиною та біочарами

Зразок	Швидкість сорбції, мг/г хв
Сировина	0,065±0,0038
Біочар-300	0,085±0,0048
Біочар-500	0,098±0,0024
Біочар-МХ	0,1025±0,0004

В таблиці 4.8. наведений вплив часу інкубації на величину сорбції іонів свинцю рослинними препаратами. Виходячи з поданих у табл.7 даних щодо впливу тривалості інкубації біочарів у розчинах іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами, можна зробити висновок, що максимальні значення сорбції спостерігаються через 2,5...3 години інкубації. Величина сорбції іонів свинцю препаратом біочар-300 становить 40,7% після 3-х годин їх спільної інкубації. Збільшення часу взаємодії не призводить до суттєвого зростання ступеня сорбції іонів свинцю рослинною сировиною та її модифікованими формами.

Таблиця 4.8. - Вплив часу інкубації на величину сорбції іонів свинцю рослинними препаратами

Зразок	Час сорбції, хв	Сорбція	
		мг/г препарату	% від вихід.
Кавова гуща	30	2,8±0,03	11,4±0,03
	60	4,5±0,04	18,3±0,05
	120	6,3±0,01	25,6±0,02
	180	7,4±0,03	29,9±0,08
	240	7,5±0,02	30,2±0,14
	360	7,5±0,03	30,4±0,04
Біочар-300	30	1,0±0,02	3,8±0,03
	60	5,2±0,05	20,8±0,04
	120	9,3±0,08	37,4±0,02
	180	10,1±0,05	40,7±0,03
	240	10,4±0,17	41,8±0,04
	360	10,7±0,08	43,1±0,40
Біочар-500	30	1,8±0,09	7,4±0,17
	60	4,9±0,05	20,1±0,03
	120	7,4±0,06	29,7±0,05
	180	8,4±0,01	33,8±0,02
	240	8,6±0,08	34,8±0,20
	360	8,7±0,06	35,1±0,03
Біочар ХВ	30	2,6±0,03	10,4±0,03
	60	6,4±0,01	25,7±0,04
	120	9,8±0,29	39,5±0,06
	180	10,1±0,10	40,6±0,05
	240	10,4±0,12	41,9±0,21
	260	10,5±0,10	42,2±0,02

4.1.5. Кислотно-основні та іонообмінні властивості сировини та біочарів

Біочари впливають на обмін мінеральних речовин, змінюючи рН, що є важливим аспектом при використанні їх в якості інтенсифікатора для

анаеробного зброджування харчових відходів. В основі цього явища лежать іонообмінні властивості біочару, що обумовлені наявністю в їх складі різних іоногенних груп як кислотного, так і основного характеру. Джерелами перших можуть бути як геміцелюлози, лігнін, і супутній компонентам біочару білок, він же, являючись амфолітом, володіє і основними властивостями завдяки наявності в амінокислотах низки R-угруповань.

Деякі дослідники вважають, що велика маса використовуваних біочарів може чинити негативний вплив на всмоктування кальцію, заліза і деяких мікроелементів за рахунок необоротного зв'язування останніх біочаром. Інші заперечують можливість порушення балансу мінеральних речовин під впливом біочару, мотивуючи це тим, що основні компоненти, відповідальні за зв'язування катіонів (геміцелюлози), практично повністю розкладаються під дією мікроорганізмів, вивільняючи таким чином ці іони, і роблячи їх знову доступними для обмінних процесів мікроорганізмів.

Припускаючи, що оцінка шляхів впливу біочару на процеси анаеробного зброджування повинна враховувати їхню здатність функціонувати як іонообмінники, ми здійснили вивчення їх кислотно-основних та іонообмінних властивостей. Біочар характеризували за допомогою потенціометричного титрування. В якості об'єктів дослідження використовували відпрацьовану кавову гущу, біочар-300, біочар-500 і біочар-MX, отриманий з використанням мікрохвильового опромінення.

Типові криві потенціометричного титрування біочару наведено на рис. 3 і 5 Їхній характер визначається адитивним внеском усіх іонізованих груп біочару і дає змогу віднести досліджувані продукти до категорії іонообмінників поліфункціонального типу. На підставі цих кривих визначали концентрацію окремих іоногенних груп та їхній сумарний вміст у біочарі. Для цього вищенаведені криві титрування виражали в диференціальному вигляді (рис. 4.6 та 4.8), що дало змогу точніше визначити локалізацію стрибка титрування. Величини pK кислотних (основних) угруповань визначали за рівнянням Гендерсона-Гессельбаха для поліелектролітів. Нижче, у табл. 4.9.,

наведені значення максимальної катіонообмінної ємності даних сировини та біочару. Їх величини свідчать про те, що біочари мають менш виражену схильність до обміну катіонів, ніж сировина, катіонообмінна ємність якої перебуває переважно в інтервалі 1...3 мекв/г. Діапазон змін цього показника біочару вужчий і лежить в області низьких значень – 0,89...1.15 мекв/г. Слід вважати, що меншому значенню катіонообмінної ємності біочару відповідає їхній менший вплив на мінеральний баланс мікроорганізмів під час анаеробного зброджування.

Інтегральна величина, що характеризує здатність відпрацьованої кавової гущі до обміну катіонів (аніонів) залежить від вмісту в сировині окремих угруповань з різним ступенем іонізації. Локальне оточення чинить сильний вплив на величину pK . У табл. 4.9. наведено значення уявних величин pK_a різних типів іонізованих груп біочару та їхній кількісний внесок в інтегральну обмінну ємність біочару. Відомо, що сильні кислоти мають низькі, а сильні основи – високі значення pK . Згідно з наведеними даними, величини pH_a кислотних угруповань біочару лежать в інтервалі 7,1...10,7, що характеризує їх як слабкокислотні угруповання. Інтегральні та диференційні криві потенціометричного титрування зразків наведені на рис. 4.5 та рис. 4.6.

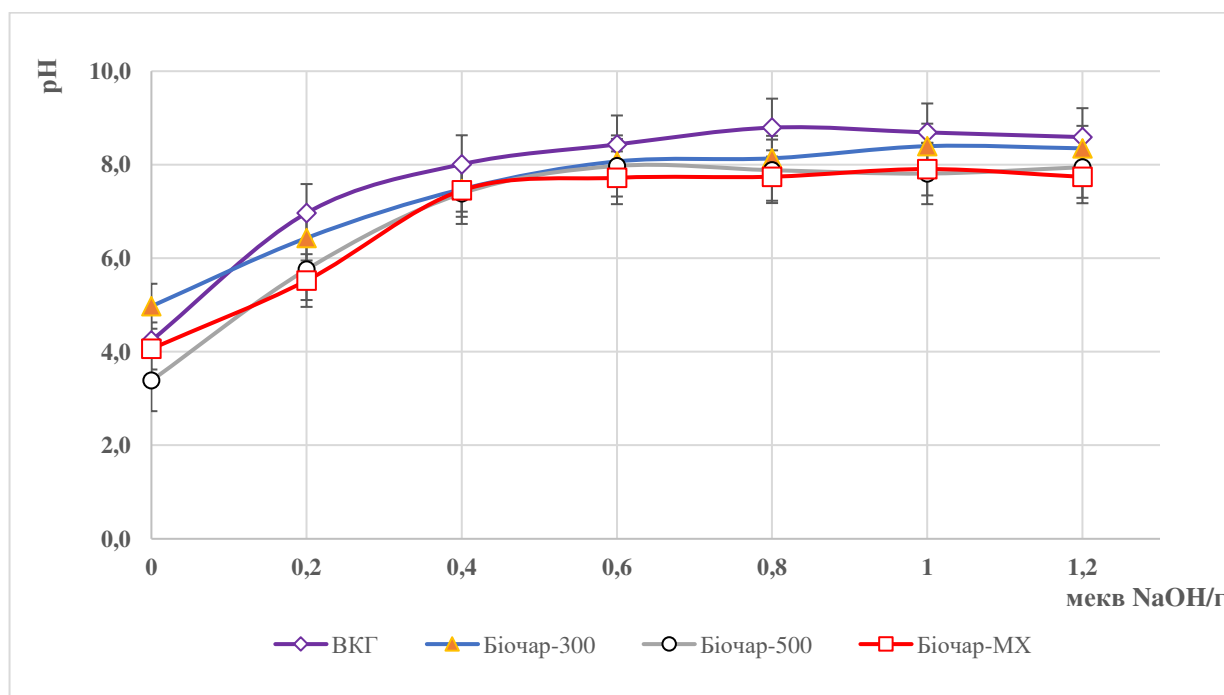


Рис. 4.5. Інтегральні криві потенціометричного титрування

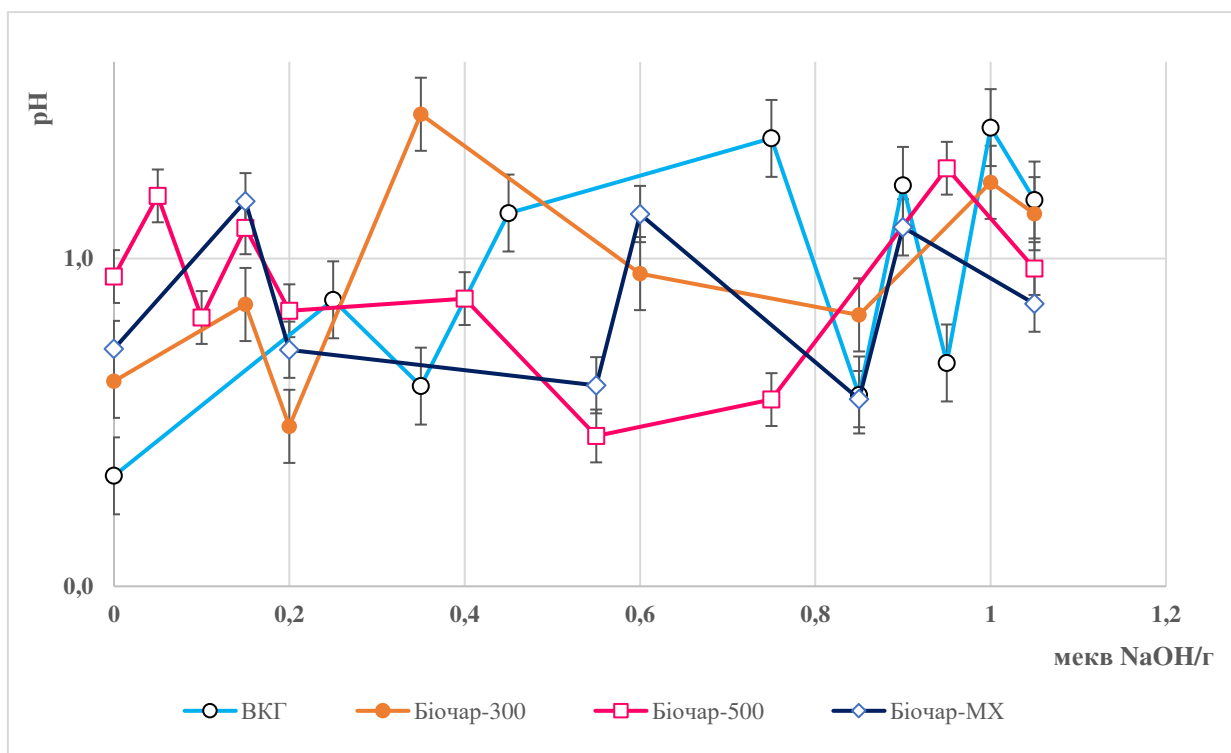


Рис. 4.6. Диференційні криві потенціометричного титрування

Для порівняння наведемо такі дані: pK_a оцтової кислоти 4,76; поліелектроліти фенольні гідроксили – pK_a 9...10; сульфгідрильна група цистеїну – 8,3; гуанідова група аргініну – 12,5. Таким чином, очевидно, що віднесення кислотних груп біочару, які одночасно включають не тільки всі зазначені у прикладі речовини, а й інші угруповання, видається вельми складним. Можна лише з більшою часткою допущення віднести групи біочару з найменшим значенням pK_a (7,1...7,5) до карбоксилів залишків уронових кислот в геміцелюлозах; з величиною 8 і вище – до фенольних гідроксилів і R-груп деяких амінокислотних залишків білка. При цьому слід дуже індивідуально підходити до біочарів, виготовлених з використанням різних методів. Наприклад, в біочарі-300 кислотні властивості визначаються наявністю pK_a 9,6...10,7 – найімовірніше фенольних гідроксилів. У сировині приблизно така сама кількість груп із близьким значенням pK_a , хоча ця сировина характеризується значно більшим вмістом компонента поліфенольної природи.

Таблиця 4.9. - Кислотні та катіонообмінні властивості сировини та біочару

Зразок	Значення pK_a	Вміст функціональної групи, мекв/г	Максимальна ємність обміну, мекв/г
Кавова гуща	7,1	$0,3 \pm 0,3$	1,0
	8,0	$0,3 \pm 0,4$	
	9,9	$0,7 \pm 0,9$	
	7,3	$0,2 \pm 0,3$	0,9
	9,8	$0,7 \pm 1,0$	
Біочар-МХ	7,4	$0,1 \pm 0,2$	1,1
	7,9	$0,2 \pm 0,2$	
	9,2	$0,9 \pm 1,2$	
Біочар-300	8,4	$0,1 \pm 0,2$	0,9
	9,6	$0,2 \pm 0,3$	
	10,7	$0,7 \pm 0,9$	
Біочар-500	7,2	$0,2 \pm 0,3$	1,2
	7,8	$0,5 \pm 0,7$	
	9,4	$0,5 \pm 0,7$	

Нижче, в табл. 4.10., наводяться дані, що характеризують здатність біочару зв'язувати катіони конкретних металів – кальцію і свинцю. Вибір першого з них зумовлений тим, що біочару найчастіше присуджують негативний вплив на баланс кальцію, тому порівняння біочару і сировини (відпрацьованої кавової гущі) за цим показником викликало особливу зацікавленість. За величиною зв'язування іонів свинцю біочару можна дати попередню оцінку їхньої здатності зв'язувати іони важких металів, присутніх в органічних відходах.

Таблиця 4.10. - Характеристика властивості зразків зв'язувати іони кальцію та свинцю

Зразок	Сорбція Pb^{2+}		Сорбція Ca^{2+}	
	мг/г	% вихідної маси	мг/г	% вихідної маси
Кавова гуща	$8,6 \pm 0,02$	$21,5 \pm 0,28$	$2,0 \pm 0,2$	$32,5 \pm 2,8$
Біочар-МХ	$12,8 \pm 0,07$	$34,5 \pm 0,41$	$0,2 \pm 0,1$	$4,0 \pm 3,3$
Біочар-300	$13,3 \pm 0,12$	$35,7 \pm 0,06$	$1,7 \pm 0,1$	$28,2 \pm 4,6$
Біочар-500	$10,9 \pm 0,05$	$29,2 \pm 0,17$	$0,2 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,3$

Результати аналізу показали, що Ca^{2+} зв'язується біочаром-500 гірше, ніж біочаром-300 і біочаром, що отримано з використанням мікрохвильового опромінення. Ймовірно, це пов'язано зі значно меншою наявністю в біочарі-500 фенольних речовин.

Зв'язування іонів свинцю вище й не дивлячись на те, що за величиною воно менше такого у біочару-500, що призначене для виведення іонів важких металів, при оцінці сорбційної здатності біочару треба враховувати і цей фактор.

Величина аніонообмінної ємності біочару знаходиться в діапазоні значень $0,7 \dots 1,2$ мекв/г (табл. 4.11.).

Виключення становить біочар-500, який має дуже низькі значення цього показника, що обумовлено, ймовірно, незначним вмістом білку в зразку.

Кількість груп, що тестувалися, що мають здатність до обміну аніонів, коливається від 0,1 (біочар-500) до 1,2 (біочар-МХ). Групи з найбільшими величинами значень pK_a в ряду біочара, що досліджувалися, виявлені в біочарі-500 (pK 7,5), біочарі-МХ (pK – 7,3) і в біочарі-300 (pK_b 7,0). Інші аніонообмінні групи мають pK_b від 4,9 до 6,3, що характеризує їх як слабкоосновні.

Таблиця 4.11. - Основні та іонообмінні властивості біочару

Зразок	Значення pK_a	Вміст груп основної природи, мекв/г	Максимальна ємність обміну, мекв/г
Кавова гуща	6,0	$0,3 \pm 0,3$	0,8
	4,9	$0,6 \pm 0,8$	
Біочар-300	7,0	$0,3 \pm 0,4$	0,7
	5,2	$0,5 \pm 0,7$	
Біочар-500	7,5	$0,1 \pm 0,2$	0,1
Біочар-MX	7,3	$0,4 \pm 0,6$	1,2
	6,9	$0,3 \pm 0,4$	
	6,3	$0,5 \pm 0,7$	

З аніонообмінними властивостями біочару пов'язана їх здатність зменшувати кислотність середовища, а саме: збільшувати значення рН під час контакту з ним. Цю здатність біочару різних видів ілюструють дані, що наведені на рис. 4.7. та 4.8. В лужному середовищі іонообмінна здатність більшості біочарів проявляється сильніше, ніж в кислотному. Всі біочари достатньо інтенсивно впливають на величину рН; її максимальну зміну викликає біочар-MX.

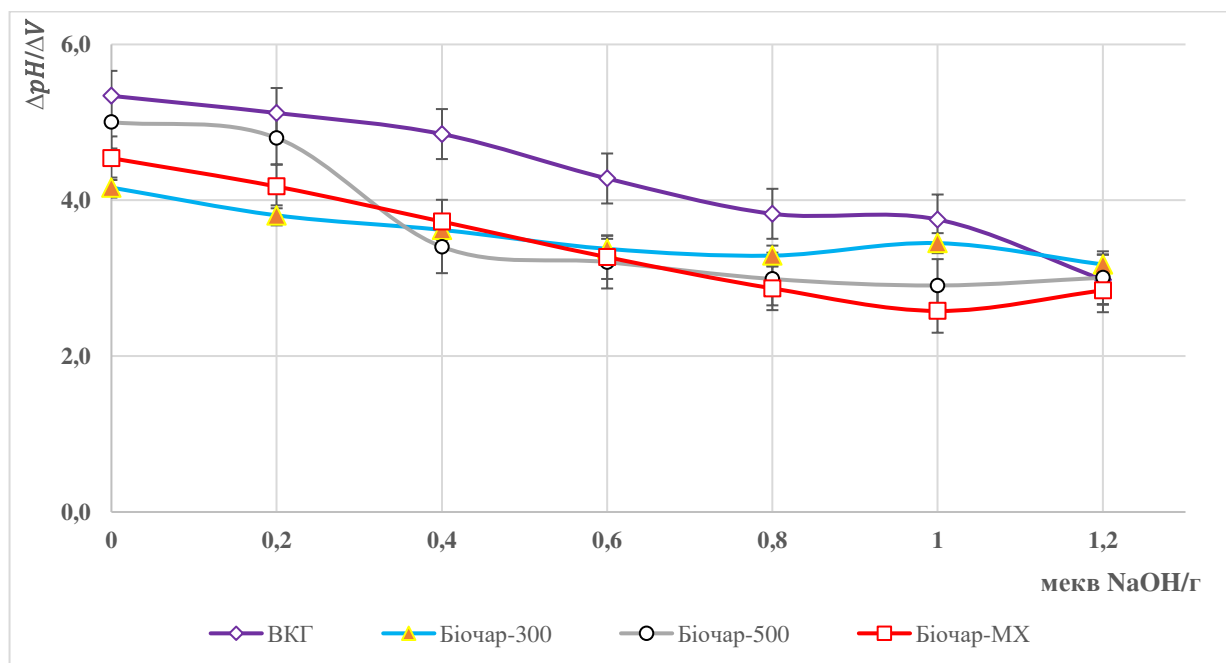


Рис. 4.7. Інтегральні криві потенціометричного титрування

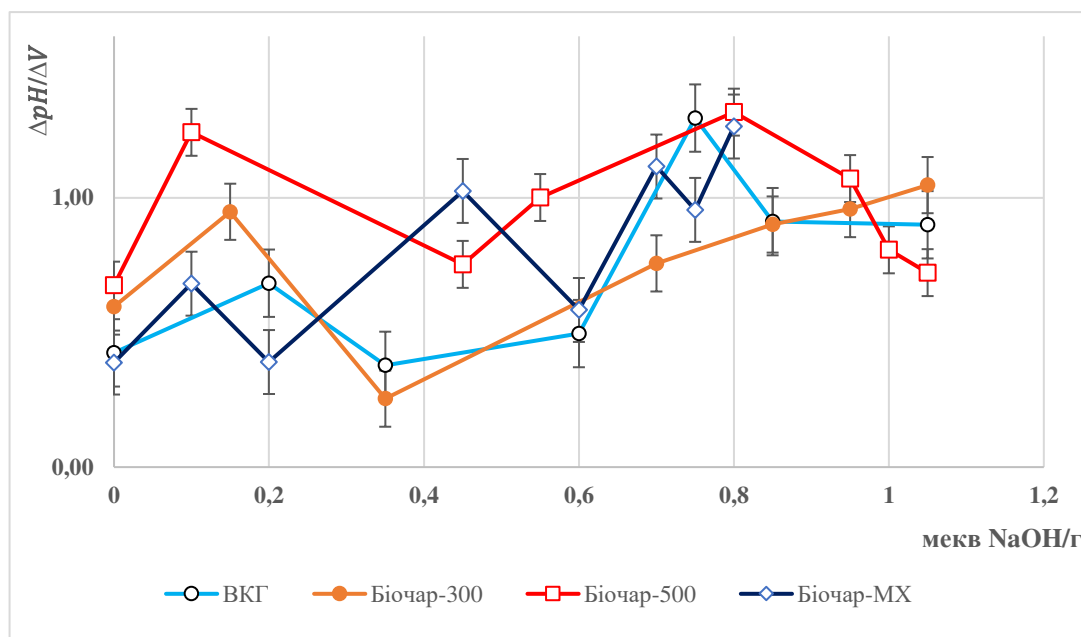


Рис. 4.8. Диференційні криві потенціометричного титрування

Функціонуючи при рН 7...8 як слабка кислота, біочари можуть сприяти зміні рН в кислу сторону, зв'язувати амоніак, який, згідно з деякими гіпотезами, може бути одним з факторів, що сприяють зміні рН в процесах анаеробного зброджування.

Виходячи з цих даних, можна вважати, що найбільш активно на величину рН буде впливати біочар-MX і біочар-300. Приріст величини рН при контакті з сировиною дещо вище, найменш виражений біочар-500.

Таким чином, володіючи властивостями амфолітів, біочари в процесі анаеробного зброджування не тільки виконують роль акцепторів іонів металів, але і функціонують в якості м'якого регулятора величини рН.

4.1.6. Диференційні ІЧ-спектри сировини та біочарів

Додаткову інформацію про природу зв'язків в біочарах та в рослинній сировині отримали шляхом їх дослідження методом ІЧ-спектроскопії. ІЧ-спектр біочару (рис. 4.9.) характеризується наявністю характеристичної смуги поглинання 1168 см^{-1} , яка обумовлена скелетними коливаннями. Максимум поглинання в області 1616 см^{-1} визначається коливаннями зв'язків в β -конформаціях, а при 2314 см^{-1} – симетричними коливаннями метильних груп.

Поглинання в області 3305 см^{-1} з'являється внаслідок коливань аміногруп, які асоційовані водневими зв'язками, а окремий пік при 3428 см^{-1} свідчить про коливання вільних аміногруп. Смути поглинання в області $2840\ldots 2900\text{ см}^{-1}$ характеризують валентні коливання $-\text{CH}$ і CH_2- груп.

В спектрі сировини (рис. 4.10.) в області $700\ldots 900\text{ см}^{-1}$ спостерігаються смуги поглинання, характерні для спектрів цукрів, в складі яких містяться ланки галактози, а також присутні смуги поглинання груп $-\text{SO}_2-\text{O}-$ (сильна смуга поглинання з двома максимумами 1260 і 1230 см^{-1}), обумовлена валентними асиметричними коливаннями груп $\text{O}=\text{S}=\text{O}$.

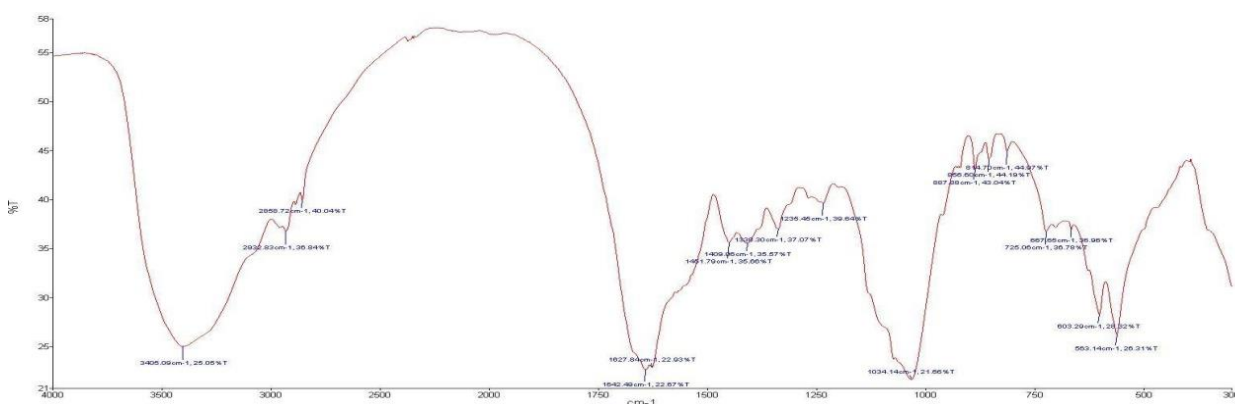


Рис. 4.9. ІЧ спектр біочар-300

В спектрі біочару спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при 3400 см^{-1} , яка зміщена в низькочастотну область в порівнянні з частотою вільних груп $\text{OH}-$, що свідчить про участь гідроксилів в системі водневих зав'язків [156]. Відсутність смуги поглинання при 3650 см^{-1} вказує, що практично всі гідроксильні групи включені в водневий зв'язок.

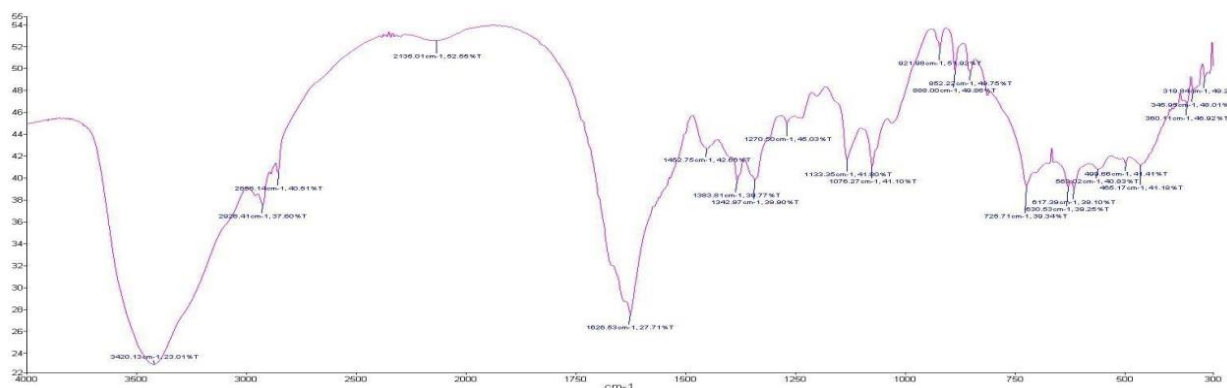


Рис. 4.10. ІЧ спектр сировини

Для порівняльної оцінки досліджуваних зразків біочарів та сировини використовували метод диференційної ІЧ-спектроскопії (рис. 4.11.).

Диференційний ІЧ-спектр порівняння сировини та біочару-300 (рис. 5) характеризується інтенсивнішим поглинанням в області $670...1225\text{ см}^{-1}$ для сировини, що обумовлено присутністю аміно-груп білкової молекули. Зменшення ВВОЩ для біочару-300 в цій області може пояснюватися руйнуванням білкових речовин при піролізі. Диференційна крива порівняння ВВОЩ зразків характеризується зменшенням інтенсивності поглинання сировини в області 3400 см^{-1} , яка відповідає валентним коливанням вільної групи $\text{OH}-$, що свідчить про посилення водневих зв'язків в біочарі.

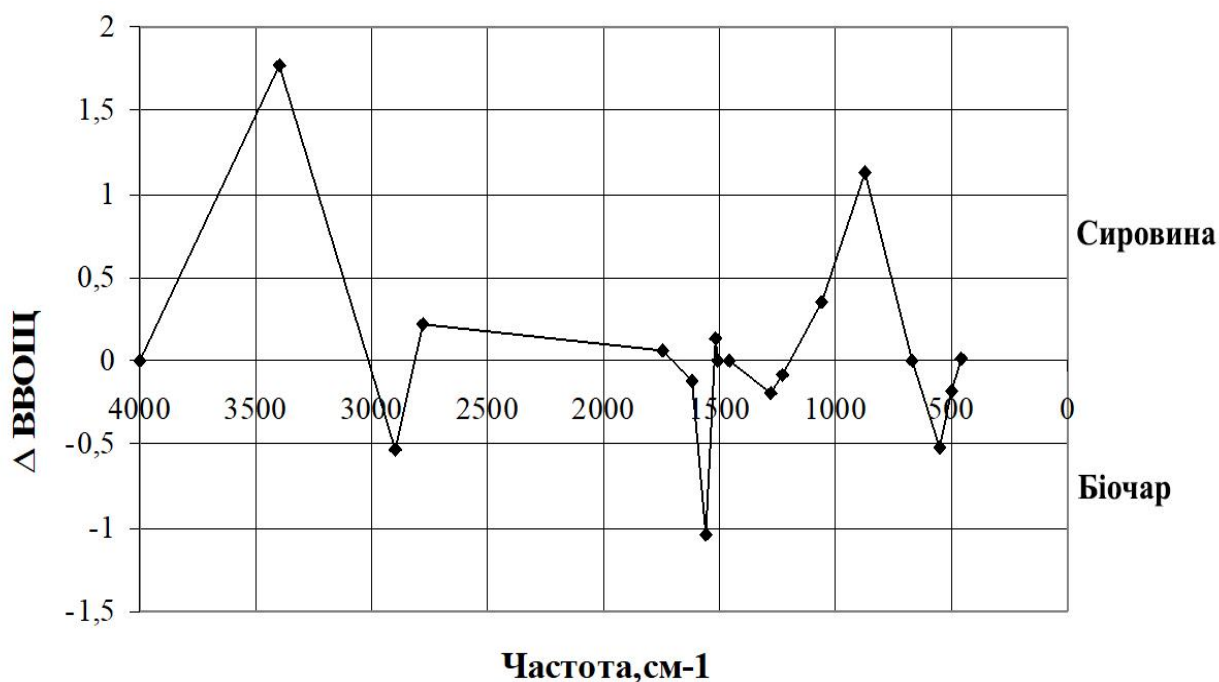


Рис. 4.11. Диференційний ІЧ-спектр сировини відносно біочару-300.

4.1.7. Комплексний термічний аналіз сировини та зразків біочару

Результати комплексного термічного аналізу зразків біочару представлені у вигляді термограм (рис. 4.12 - 4.15) і таблиці 4.12. На рис. 4.16 наведено порівняння кривих ДТА.

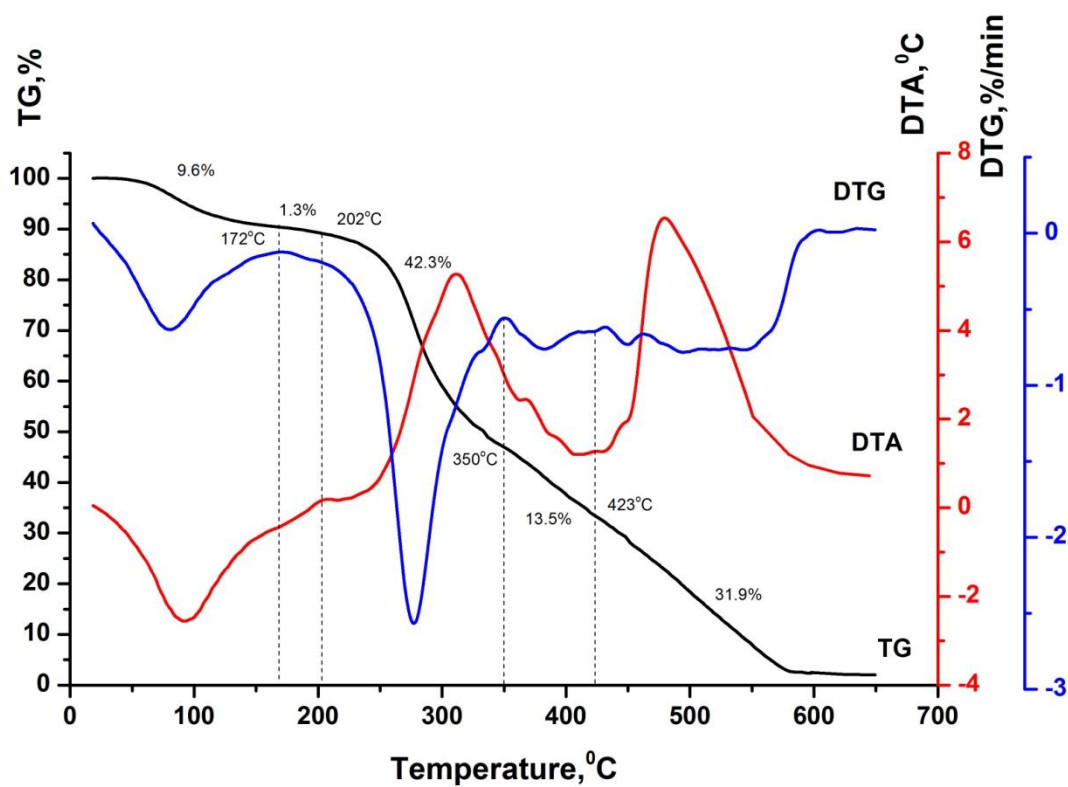


Рис. 4.12. Термограма сировини

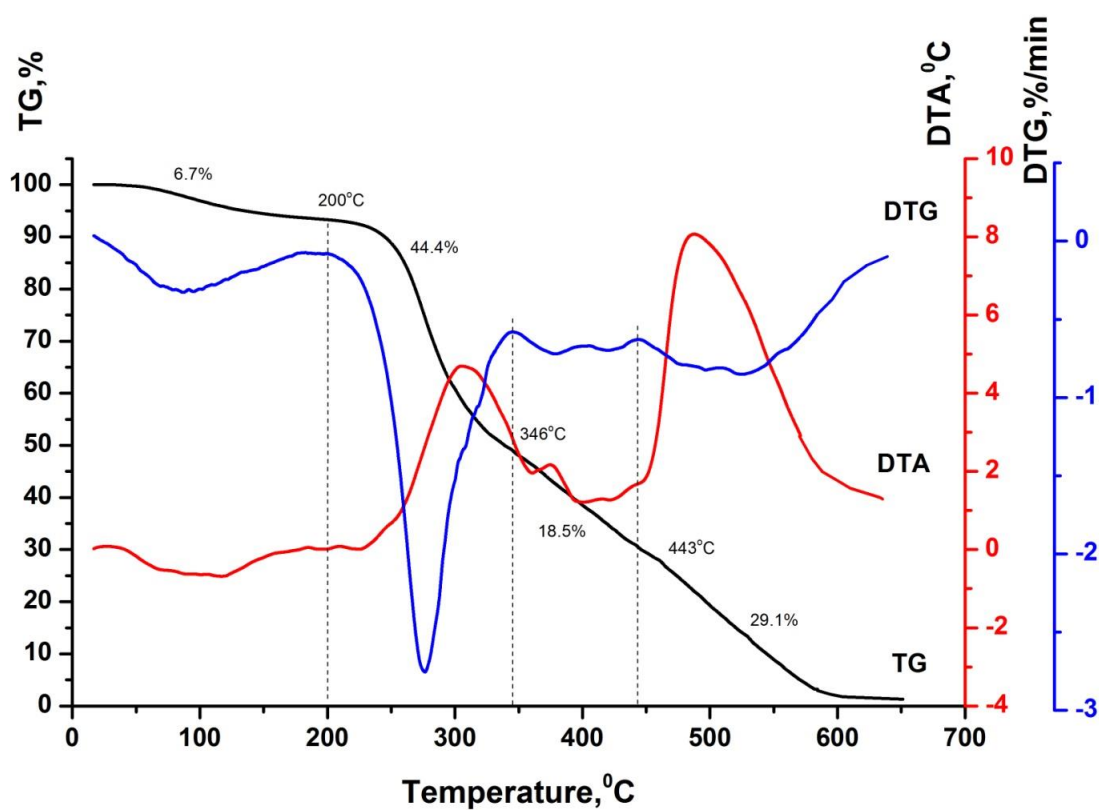


Рис. 4.13. Термограма біоچارу-МХ, отриманого з використанням мікрохвильового опромінювання

Таблиця 4.12. - Результати комплексного термічного аналізу зразків

Зразок	Стадія	Темп. інтервал, °C	Втрата маси, %
Сировина Зразок 1	I	20 - 172	9,6
	II	172 - 202	1,3
	III	202 - 350	42,3
	IV	350 - 423	13,5
	V	423 - 650	31,9
Біочар-МХ Зразок 2	I	20 - 200	6,7
	II	197 - 346	44,4
	III	346 - 443	18,5
	IV	443 - 650	29,1
Біочар-300 Зразок 3	I	20 - 198	6,2
	II	198 - 340	17,7
	III	340 - 430	27,3
	IV	430 - 650	46,5
Біочар-500 Зразок 4	I	20 - 200	4,4
	II	200 - 350	10,4
	III	350 - 445	29,0
	IV	445 - 690	55,3

За даними комплексного термічного аналізу (табл. 4.12), на першому етапі термолізу, що відбувався в області низьких температур, початкова втрата маси зразка 1(9,6 %) , зразка 2 (6,7%), зразка 3 (6,2%), зразка 4 (4,4%) відповідала випаровуванню сорбованої вологи. Цей процес супроводжувався появою екстремуму на кривих DTG та ендотермічних ефектів на кривих DTA.

На другому етапі термолізу зразка вихідної сировини, який протікав в області температур 172 - 202°C відбувалось виділення сольватно-зв'язаної компонентами зразка води. Цей процес супроводжувався незначною втратою маси зразка (1,3%) та відхиленням каналу DTA в область ендотермічних ефектів [157].

Інтенсивна втрата маси (42,3%) зразка сировини в температурному інтервалі 202 - 350°C на третьому етапі термолізу зумовлена ендотермічними процесами піролізу геміцелюлоз та деструкції целюлози з різким зниженням ступеня її полімеризації та розпаду лігніну. У цьому ж діапазоні температур

активно розвивались екзотермічні процеси термоокислення компонентів зразка, які супроводжувались поступовим горінням залишків деструкції, про що свідчила поява стрімкого екзотермічного ефекту на кривій DTA. На кривій DTG зразка сировини спостерігався глибокий екстремум, з максимумом за температури 277°C. [158].

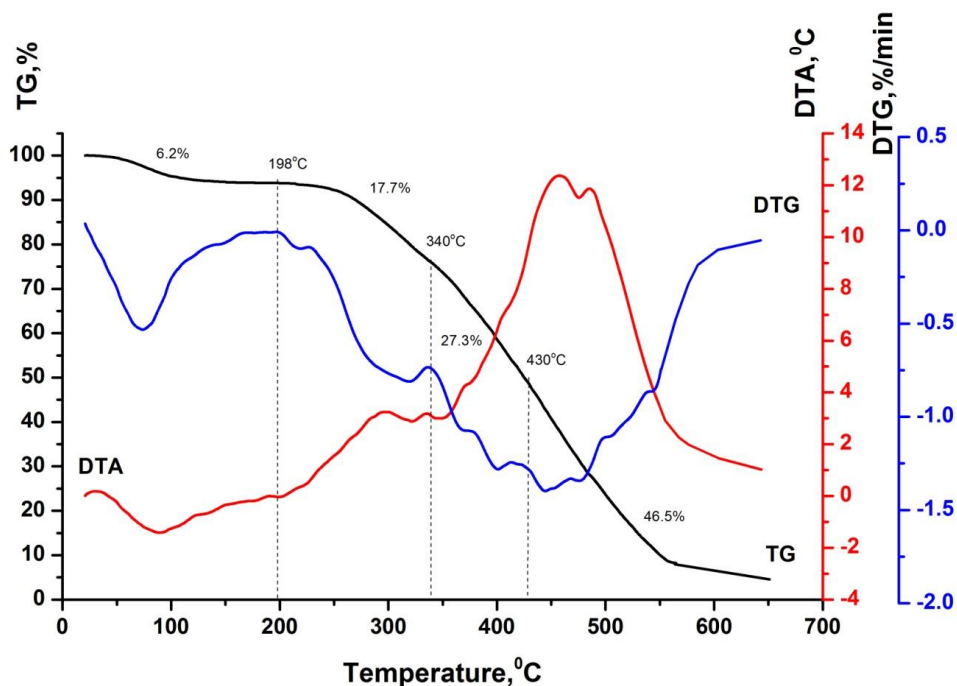


Рис. 4.14. Термограма біочару-300

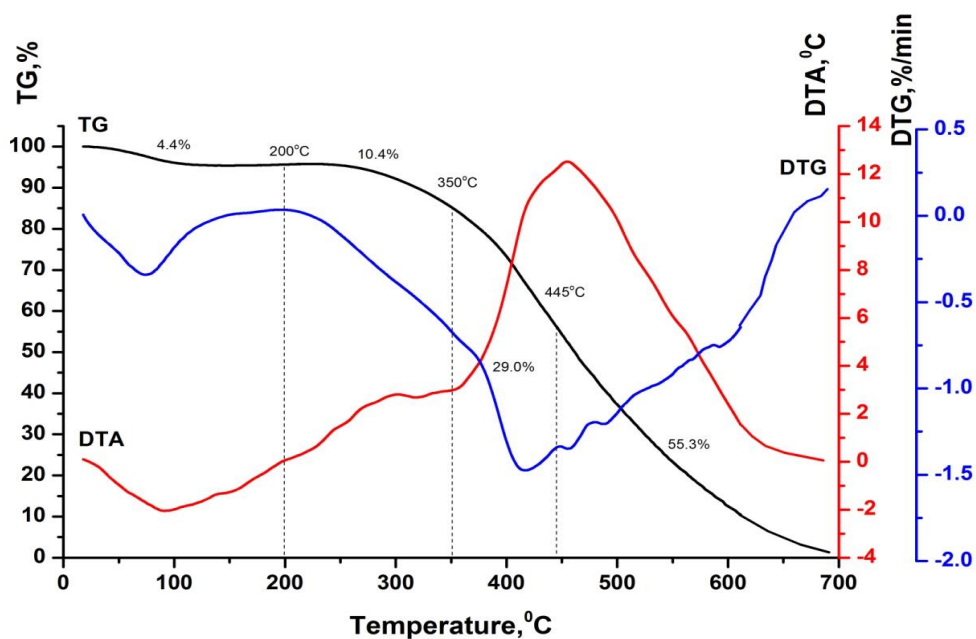


Рис. 4.15. Термограма біочару-500

Подібні процеси на другому етапі термолізу протікали в зразках біочару-MX, біочару-300 та біочару-500. Втрата маси в зразку біочару-MX в області температур 197 - 346°C складала 44,4%, біочару-300 в області температур 198 - 340°C - 17,7%, а біочару-500 в області температур 200 - 350°C становила 10,4%. Ці процеси супроводжувались екзотермічними ефектами на кривих DTA та екстремумами на кривих DTG.

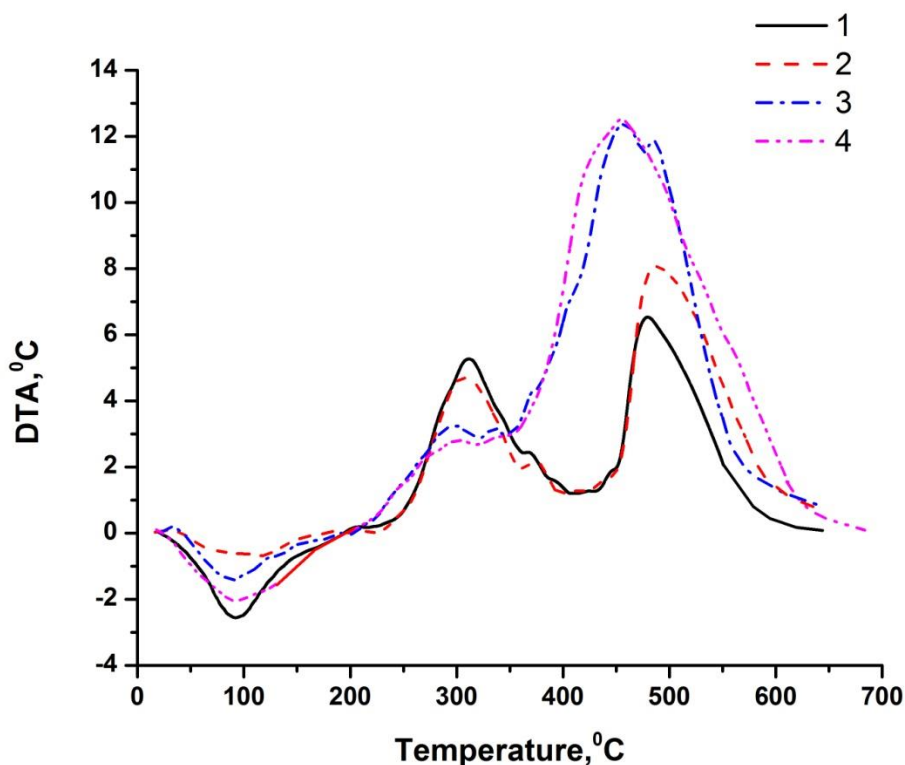


Рис. 4.16. Порівняння кривих DTA зразків

Відмінність втрати маси зразків сировини та біочарів в області температур 197 - 350°C свідчить про різний хімічний склад зразків. Менш інтенсивна втрата маси зразків біочарів-300 та біочарів-500, у порівнянні із зразками вихідної сировини та біочару-MX підтверджує присутність в них меншої кількості термічно нестійких компонентів. В зразках всіх досліджуваних біочарів, у порівнянні із зразком сировини, в меншій кількості присутні компоненти, здатні до термоокислення. Про це свідчить поява менш

стрімких екзотермічних ефектів на кривих DTA в області температур 197 - 350°C (рис. 4.16).

Поступова втрата маси зразка вихідної сировини (13,5%) в області температур 350 - 423°C на четвертому етапі термолізу відповідала завершенню горіння залишків деструкції зразка. Цей процес супроводжувався характерним вигином на кривих DTG. Подібні процеси на етапі термолізу протікали в зразках біочару-MX, біочару-300 та біочару-500. Завершення горіння залишків деструкції зразка біочару-MX в області температур 346 - 443°C супроводжувалась втратою маси 18,2%, зразок біочару-300 в області температур 340 - 430°C втрачав масу 27,3%, а зразок біочару-500 в області температур 350 - 445°C - 28,6%. В області температур 423 - 650°C на п'ятому етапі термолізу відбувалось згорання піролітичного залишку зразка вихідної сировини, якому відповідала значна втрата маси (31,9%) та поява стрімкого екзотермічного ефекту на кривій DTA. Згорання піролітичного залишку зразка біочару-MX в області температур 443 - 650°C на четвертому етапі термолізу супроводжувалось втратою маси 29,1%, а зразок біочару-300 в області температур 430 - 650°C втрачав масу 46,5%, а зразок біочару-500 в області температур 445 - 690°C - 55,3%. Горіння залишків деструкції та піролітичного залишку зразків досліджуваних біочарів супроводжується більш значною втратою маси та появою більш стрімких екзотермічних ефектів на кривих DTA, що свідчить про присутність в цих зразках більшої кількості термічно стійких компонентів.

4.2. Дослідження процесів анаеробного зброджування харчових відходів з додаванням інтенсифікатору - біочару з відпрацьованої кавової гущі

Моніторинг і контроль процесів анаеробного зброджування на основі фізико-хімічних параметрів (визначених як рутинний моніторинг і контроль процесів) мають наступні обмеження: 1) не існує загальноприйнятих індикаторів раннього попередження, а моніторинг фізико-хімічних параметрів не може передбачити майбутню продуктивність і стабільність; 2) лише кілька

параметрів можна контролювати в режимі он-лайн, що послаблює своєчасність діагностики процесу; і 3) контроль процесу є коригувальним заходом, який важко успішно реалізувати. Тому оптимізація процесу є складним завданням.

4.2.1. Дослідження кумулятивного виробництва метану при мезофільній та термофільній обробці з додавання біочару

Кумулятивне утворення метану в результаті анаеробного зброджування харчових відходів в присутності біопалива досліджувалось в мезофільних та термофільних умовах. В результаті анаеробного зброджування харчових відходів та відпрацьованого активного мулу в присутності біопалива в мезофільних умовах показано на рис. 4.17.

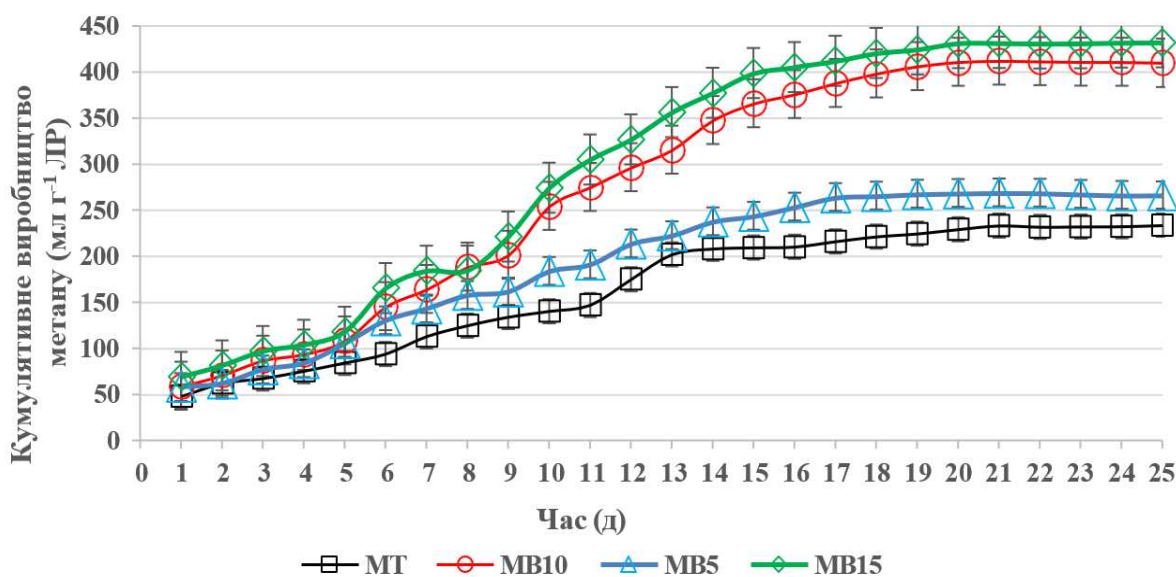


Рис. 4.17. Зміни кумулятивного виробництва метану при мезофільній обробці.

Смуги похибок вказують на стандартні похибки потрійних реакторів. У мезофільних умовах кумулятивне утворення метану в групах з додаванням біопалива МВ5, МВ10 та МВ15 становило 266,8 мл г⁻¹ ЛР, 410,3 мл г⁻¹ ЛР, 432,6 мл г⁻¹ ЛР, тоді як у контрольній групі (МТ) спостерігалось 234,0 мл г⁻¹ ЛР. Результати вказують на те, що біочар суттєво збільшив виробництво метану.

Додавання біочару в кількості 5 % збільшує виробництво біогазу на 14%, додавання 10 % біочару до субстрату дозволяє збільшити виробництво біогазу на 75,3 %, а субстрат з вмістом 15% біочару призводить до збільшення продукування біочару на 84,9%. Таке значне покращення, ймовірно, пов'язане зі збільшенням швидкості гідролізу або солюбілізації харчових відходів як етапу, що лімітує швидкість протікання мезофільного зброджування. В результаті додавання біочару етап метаногенезу, ймовірно, був збалансований з етапом ацетогенезу, щоб співпрацювати для виробництва метану без значного інгібування, а біовугілля відігравало значну роль в анаеробному зброджуванні. Щодо добового продукування метану, то всі групи досягли піку $48,5 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$, $58,7 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$, $59,3 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ та $69,4 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ на 1-у добу. Після цього добова швидкість продукування метану різко знизилася через швидке споживання розчинних субстратів, особливо для групи МТ. Відповідно до результатів дослідження можна констатувати, що субстратні суміші з додаванням біологічного вугілля швидко відновилися і досягли другого піку виробництва метану на 5-й день зі значенням $29,9\text{-}33,2 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$, в той час як група МТ досягла другого піку на 12-й день зі значенням $24,5 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$. Як свідчать результати експериментальних досліджень, зі збільшенням дози біовугілля значно зростає також добова швидкість утворення метану. Подібна тенденція спостерігалася і в третьому піку добового виділення метану.

Кумулятивне утворення метану в результаті анаеробного зброджування харчових відходів та відпрацьованого активного мулу в присутності біопалива в термофільних умовах показано на рис. 4.18.

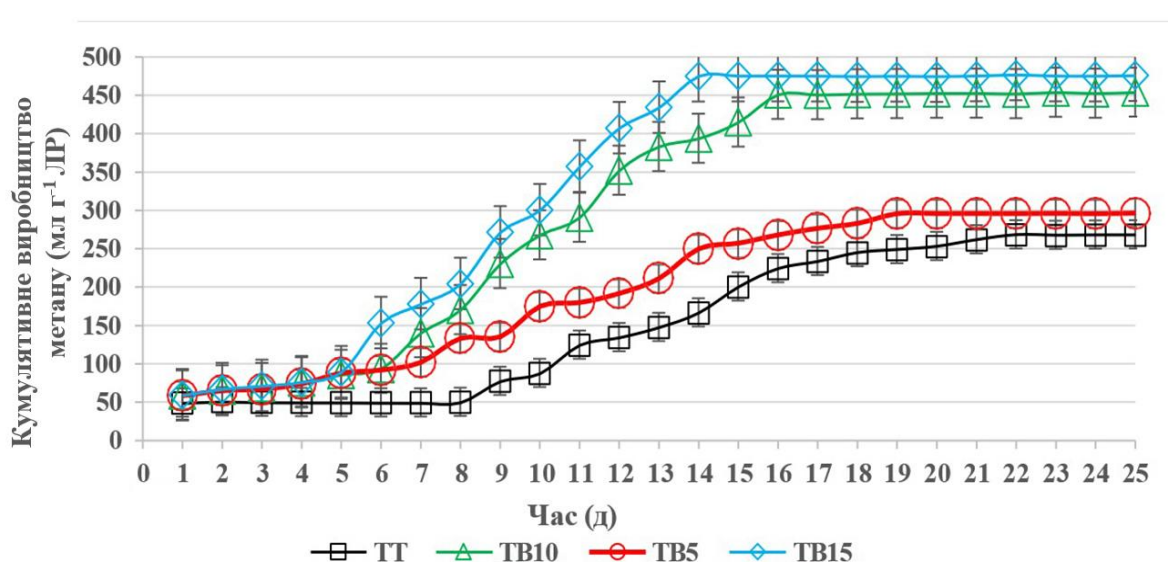


Рис. 4.18. Зміни кумулятивного виробництва метану при термофільній обробці.

Виробництво метану показало значну різницю за термофільних умов (рис. 4.18.) в порівнянні з мезофільними. У групі ТТ кумулятивне виробництво метану досягло стабільного рівня близько $268,8 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ через 22 дні, що було більше приблизно на 16% порівняно з мезофільними умовами. За вищої температури анаеробне зброджування, ймовірно, призвело до більшого гідролізу або солюбілізації ХВ, а також до подальшого збільшення виробництва метану. Для груп з додаванням біочару виробництво досягло $296,7$, $454,5$ та $476,1 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ у ТВ5, ТВ10 та ТВ15, відповідно. Крім того, відповідний час для повного зброджування становив 19 днів, 16 днів і 14 днів, відповідно. Порівняно з ТТ, виробництво метану збільшилось на 10,4%, 69,1% та 77,1%, а час зброджування скоротився на 13,6%, 27,3% та 36,6%, відповідно. Результати свідчать про те, що біочар позитивно вплинуло на збільшення виробництва метану та скорочення часу затримки. Що стосується добового виробництва метану, то для всіх груп також спостерігалися три піки. Перший пік припав на 1-й день з вищим рівнем виробництва метану в групі, до якої додавали біочар ($59,3$ - $60,0 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$), порівняно з контрольною групою ($49,3 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$). Після цього спостерігався період стагнації, який становив 6, 5, 4 і 3 дні для ТТ, ТВ5, ТВ10 і ТВ15 відповідно. Стагнацію можна пояснити вищою

температурою, більшою швидкістю гідролізу та накопиченням ЛЖК, які пригнічували активність метаногенів. Група TB15, спочатку відновила виробництво метану і досягла другого піку на рівні $63,6 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ на 6-й день, за нею слідувала група TB10 на 7-й день і TB5 на 9-й день. Крім того, пік добового продукування метану спостерігався через 2-3 дні, а потім швидко стабілізувався. На противагу цьому, ТТ контрольної групи була відносно слабшою у добовому продукуванні метану навіть після тривалої стагнації. Максимальне добове продукування метану в ТТ становило лише $19,7 \text{ мл г}^{-1}$. Ці результати підтвердили, що термофільне анаеробне зброджування покращило швидкість виробництва метану, а біовугілля з відпрацьованого кавового шламу було ефективним для подальшого підтримання покращеної та стабільної роботи процесу метанового зброджування.

4.2.2. Дослідження змін рН середовища при мезофільній та термофільній обробці з додаванням біочару

Вивчення впливу біочару на рН реакційної суміші (дигестату) в результаті анаеробного зброджування харчових відходів в мезофільних та термофільних умовах рН субстрату є важливим параметром, що обумовлює стабільність процесу анаеробного зброджування. Зміна рН при мезофільній обробці наведена на рис. 4.19.

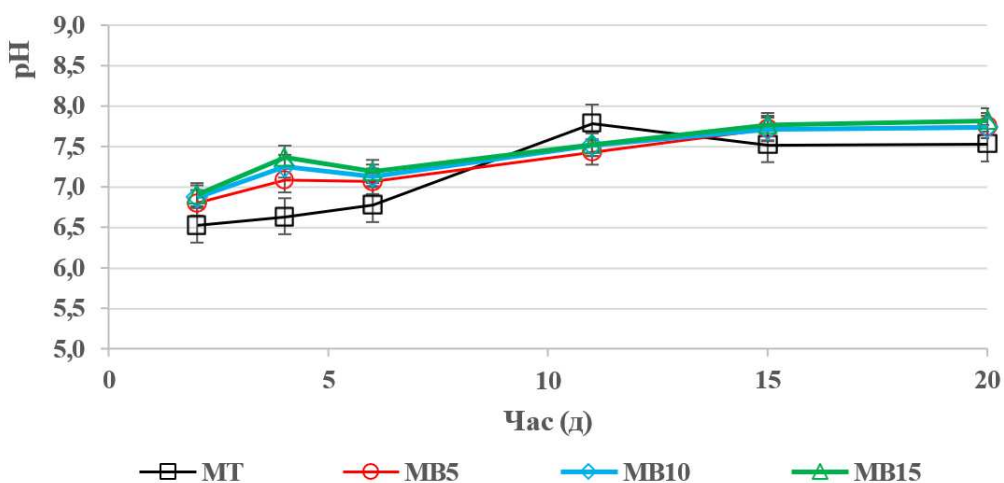


Рис. 4.19. - Зміна рН при мезофільній обробці.

Як показано на рис. 4.19., при мезофільній обробці рН був низьким і знижувався на ранній стадії анаеробного травлення (1-5 день), потім коливався з часом і, нарешті, стабілізувався на рівні близько 7,5 у групі МТ. У групах, що отримували біологічне вугілля, рН субстрату з вмістом біочару поступово зростав із збільшенням дози біологічного вугілля в усіх варіантах обробки і стабілізувався на рівні близько 7,7 для МВ5 та МВ 10, а також близько 7,8 для МВ15, що свідчить про високу буферну здатність біологічного вугілля.

Що стосується термофільної обробки (рис. 4.20.), то коливання рН було набагато більшим, ніж при мезофільній обробці.

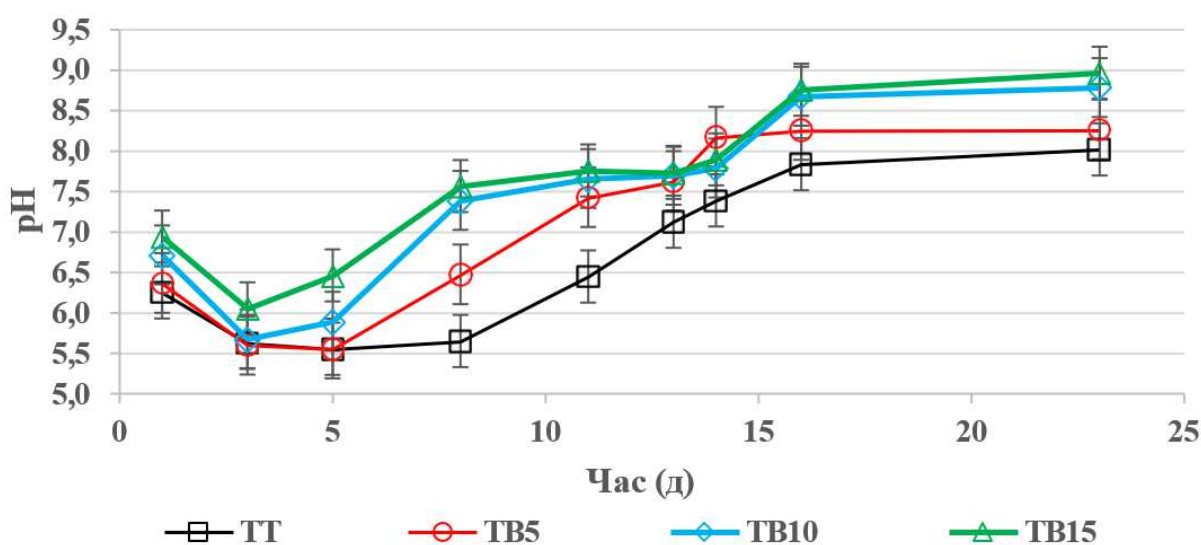


Рис. 4.20. - Зміна рН при термофільній обробці.

рН при термофільній обробці поступово знижувався з 6,25 на 1-й день до 5,55 на 5-й день у групі ТТ. Швидке підкислення в ТТ вказує на те, що висока температура прискорила швидкість гідролізу, а метаногени не розмножувалися для швидкого перетворення ВЖК, що призвело до накопичення великої кількості ВЖК і швидкого зниження рН. Після певного періоду затримки рН поступово зростав. Вже на 15-й день інкубації рівень значень рН у зразку з найвищим вмістом біочару вийшов на плато з показником рН 8,96, для ТВ10 – 8,78, для ТВ5 – 8,26. Це було пов'язано з тим, що метаногени поступово відновлювали свою активність і безперервно перетворювали ВЖК, а рН підвищувався до рівня, придатного для

анаеробного зброджування. рН у групах з біологічним вугіллям (ТВ5, ТВ10 і ТВ15) на початковому етапі був вищим, ніж у контрольній групі, і чим більша доза біологічного вугілля, тим вищі значення рН. Це пояснюється тим, що лужний біочар може нейтралізувати ЛЖК. Крім того, групи, які містять біочар, також можуть запобігти швидкому зниженню рН на початковій стадії та швидко відновитися після підкислення. Порівняно з мезофільним анаеробним зброджуванням, біовугілля має вищу буферну здатність щодо рН системи в термофільних умовах, тим самим зменшуючи негативний вплив ВЖК на анаеробне зброджування.

4.2.3. Дослідження впливу біочару на хімічне споживання кисню при мезофільній та термофільній обробці

Окремо досліджували вплив біочару на ХСК реакційної суміші (дигестату) в результаті анаеробного зброджування харчових відходів в мезофільних та термофільних умовах. Незважаючи на постійно зростаючий інтерес і популярність, великомасштабні анаеробні метантенки зазвичай працюють з низькою швидкістю завантаження органічних речовин (ЗОН), від 1 до 4 г ЛР л⁻¹ д⁻¹, або з тривалим часом гідравлічного утримання, до 80 діб. Це призводить до низького виробництва біогазу, що знижує ефективність та економічну доцільність процесу. Підвищення гідравлічного або органічного навантаження може допомогти збільшити виробництво газу та підвищити ефективність процесу, але нестабільність під час безперервної роботи АД є основною проблемою. Зміна концентрації ХСК при різних режимах показана на рис. 4.21.

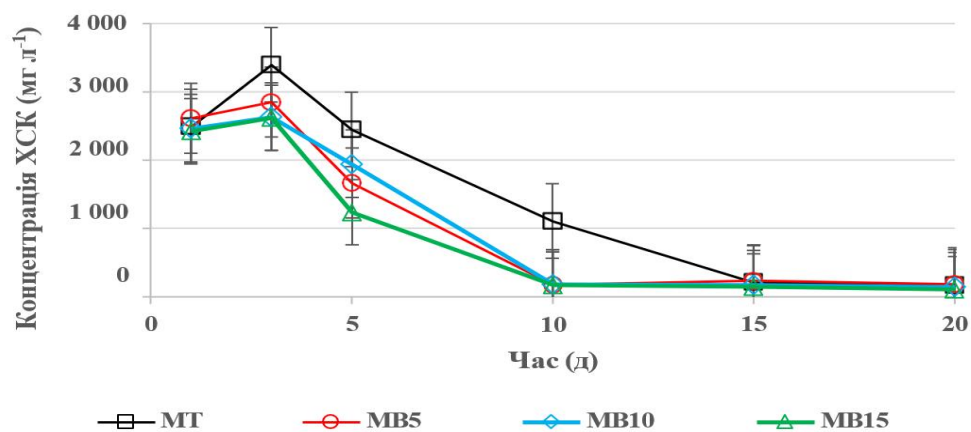


Рис. 4.21. Зміна ХСК при мезофільній обробці. Смуги похибок вказують на стандартні похибки потрійних реакторів.

На початковому етапі концентрація ХСК у всіх варіантах обробки була подібною і становила приблизно 2589-2652 мг л⁻¹, а в групах, де застосовували біологічне вугілля, концентрація ХСК була дещо нижчою, ймовірно, завдяки його адсорбційній здатності. На 3-й день концентрація ХСК зросла до високого рівня, особливо в групі з МТ. Потім концентрація ХСК поступово знижувалася до 107-162 мг л⁻¹ з часом перетравлення. Серед цих варіантів обробки концентрації ХСК знижувалися швидше при підвищених дозах біологічного вугілля, що підтверджує ефективність біологічного вугілля в покращенні розкладання органічної речовини. Зміна ХСК при термофільній обробці наведена на рис. 4.22.

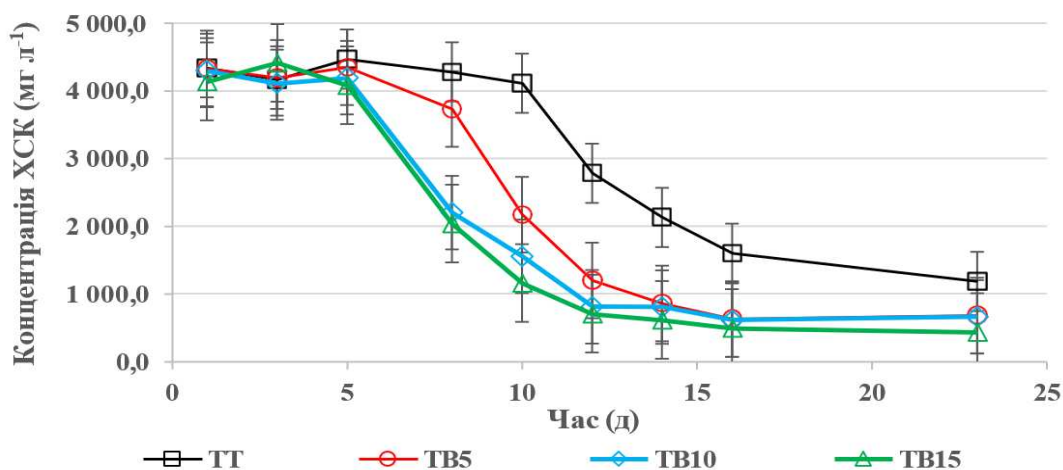


Рис. 4.22. Зміна ХСК при термофільній обробці.

Аналогічно, тенденція деградації ХСК при термофільній обробці (рис. 4.22.) була порівнянною з такою при мезофільній обробці. Основна відмінність полягає в тому, що біологічне вугілля є більш ефективним у вищих дозах для деградації ХСК. Крім того, початкова і кінцева концентрації ХСК в термофільних умовах були набагато вищими, ніж в мезофільних умовах. Це підтверджує, що при термофільній обробці досягається вища швидкість гідролізу або солюбілізації FW, що, зрештою, покращує виробництво метану.

Попереднє оброблення та спільне зброджування є поширеними методами зменшення вмісту аміаку в субстратах. Крім того, для видалення аміаку в метантенках зазвичай використовують такі методи, як розведення, осадження струвіту, стріпінг, мембранні технології та іонний обмін. Серед них попередня обробка та спільне зброджування є дорогими та складними, тоді як розбавлення та осадження зменшують ефективний простір у реакторах, що призводить до зниження загального органічного навантаження. Для ефективного видалення аміаку шляхом відпарювання необхідно підвищити рН стічних вод до 10-11, а також забезпечити постійний потік тепла та/або газу.

4.2.4. Дослідження накопичення аміаку та ЛЖК при мезофільній та термофільній обробці з додавання біочару

В анаеробних екосистемах метаногенні археї та бактерії, що виробляють аміак, працюють разом, розкладаючи органічні речовини до простих сполук (включно з аміаком), а метаногени використовують продукти цього розкладання (наприклад, водень, ацетат) для виробництва метану.

У процесі анаеробного зброджування (анаеробної деградації органічних речовин) аміак (NH_3) не використовується безпосередньо як джерело енергії більшістю мікроорганізмів. Однак він відіграє важливу роль в азотному циклі та може впливати на процеси, що відбуваються в анаеробних умовах. В анаеробних системах аміак зазвичай утворюється внаслідок розкладання азотовмісних органічних сполук (наприклад, білків, амінокислот) і може брати участь у різних мікробних процесах.

При анаеробному зброджуванні харчових відходів досліджували вплив біочару на накопичення $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ в реакційній суміші (дигестаті) при мезофільних та термофільних умовах. Відомо, що відносно високий вміст білка в харчових відходах супроводжується можливим інгібуванням анаеробного зброджування аміаком. Зміна $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ при мезофільній обробці наведена на рис. 4.23.

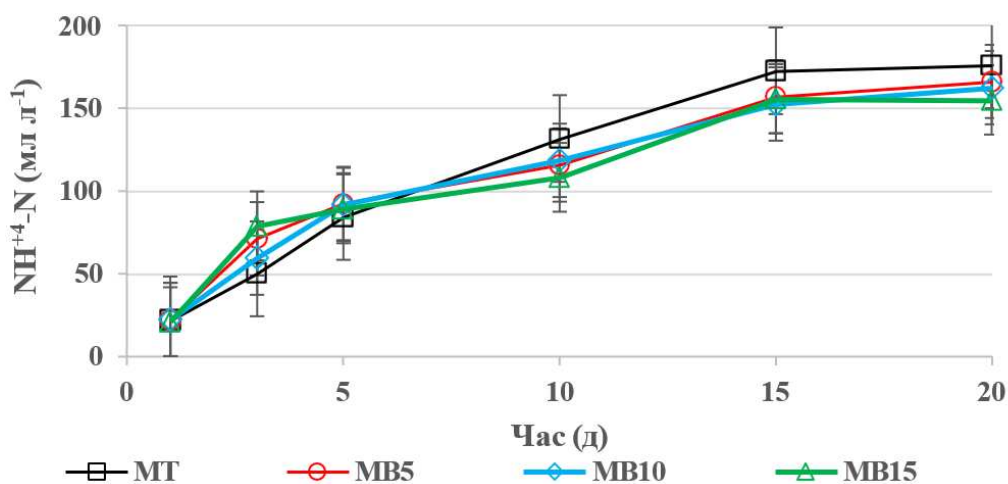


Рис. 4.23. Зміна $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ при мезофільній обробці.

У дослідженні за мезофільних умов спостерігалось збільшення $\text{NH}^{4+}\text{-N}$, оскільки руйнування ЛЖК в анаеробному зброджуванні супроводжується утворенням $\text{NH}^{4+}\text{-N}$. У субстратах, де використовували біочар, концентрація $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ була нижчою, ніж у контрольних групах, що, ймовірно, пов'язано з адсорбційною здатністю біопалива. Зміна $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ при термофільній обробці наведена на рис. 4.24.

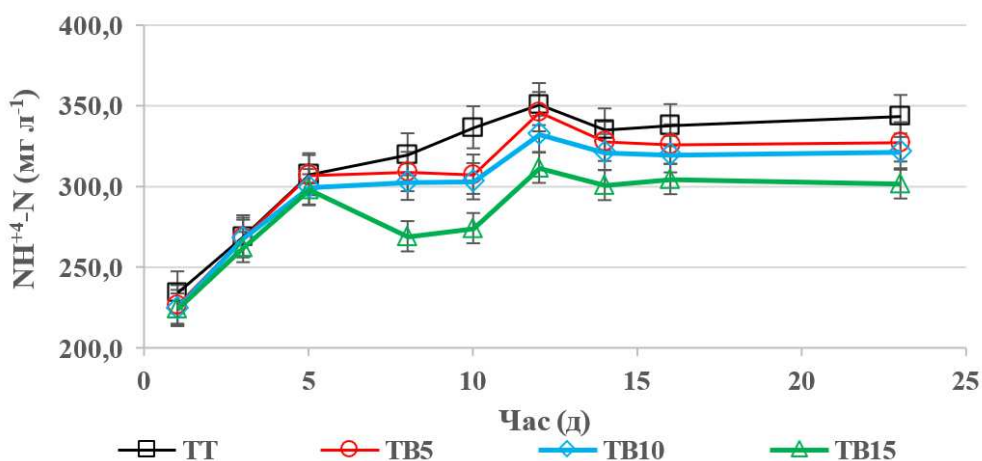


Рис. 4.24. Зміна $\text{NH}^{4+}\text{-N}$ при термофільній обробці.

Як слідує з наведених експериментальних даних, термофільна обробка призводить до прискореної адсорбції $\text{NH}_4^+\text{-N}$, що супроводжується значно нижчою концентрацією $\text{NH}_4^+\text{-N}$ у TB10, а також у TB15.

Враховуючи позитивну динаміку адсорбції біочарами $\text{NH}_4^+\text{-N}$ важливо вказати на наявність в отриманих з відпрацьованої кавової гущі зразках – фенольних сполук. Наше дослідження показало, що викидів та потрапляння фенольних сполук до НС не відбувається за рахунок їх розкладання, а саме: мікроорганізми *Clostridium*, *Bacillus* та *Pseudomonas* що приймають участь в стадіях гідролізу, ацидогенезу та ацетогенезу розкладають фенольні сполуки, які в подальшому у вигляді продуктів їх метаболізму використовуються метаногенними археями для утворення метану. Наявність субстраті високих концентрацій може впливати на пригнічення мікроорганізмів через їх токсичність, що при використанні біочарів з відпрацьованої кавової гущі не спостерігалось.

Вивчення впливу біочару на накопичення ЛЖК в реакційній суміші (дигестаті) в результаті анаеробного зброджування харчових відходів в мезофільних та термофільних умовах. ЛЖК є важливими проміжними продуктами, утворення яких пояснюється відхиленнями в нормальному протіканні процесу метаногенезу, а також певним індикатором стабільності метанового зброджування (рис. 4.25. та 4.26.).

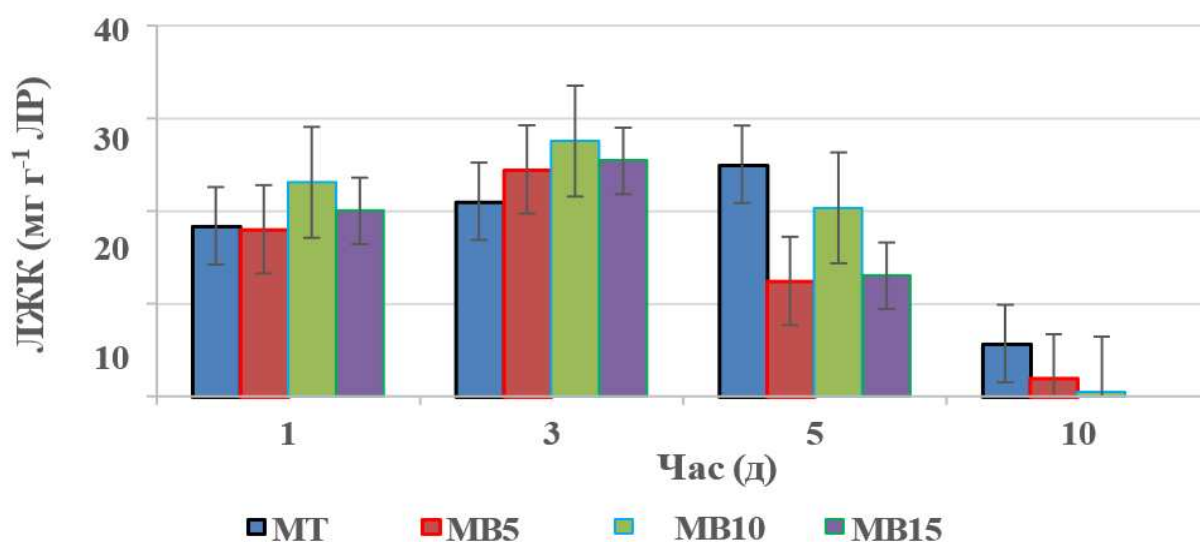


Рис. 4.25. Зміна ЛЖК при мезофільній обробці.

На початковій стадії анаеробного зброджування без біопалива, як показано на рис. 4.25., концентрація ВЖК у контрольній групі за мезофільної обробки зросла з $19,3 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ на 1-у добу до рівня $25,8 \text{ мл г}^{-1} \text{ ВЖК}$ на 4-й день, тоді як концентрація ВЖК у термофільних групах, які отримували термофільну обробку (рис. 11), зросла приблизно у 2,2 рази - з $17,4 \text{ мл г}^{-1} \text{ ВЖК}$ на 1-й день до найвищого рівня $41,3 \text{ мл г}^{-1}$ вищих жирних кислот на 7-й день. У групах, які отримували мезофільну обробку біологічним вугіллям, накопичувалося більше ВЖК, ніж у контрольній групі, і досягало максимуму вже на 2-й день. Максимальний рівень концентрації ВЖК спостерігався у групі MB10 – $29,7 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$.

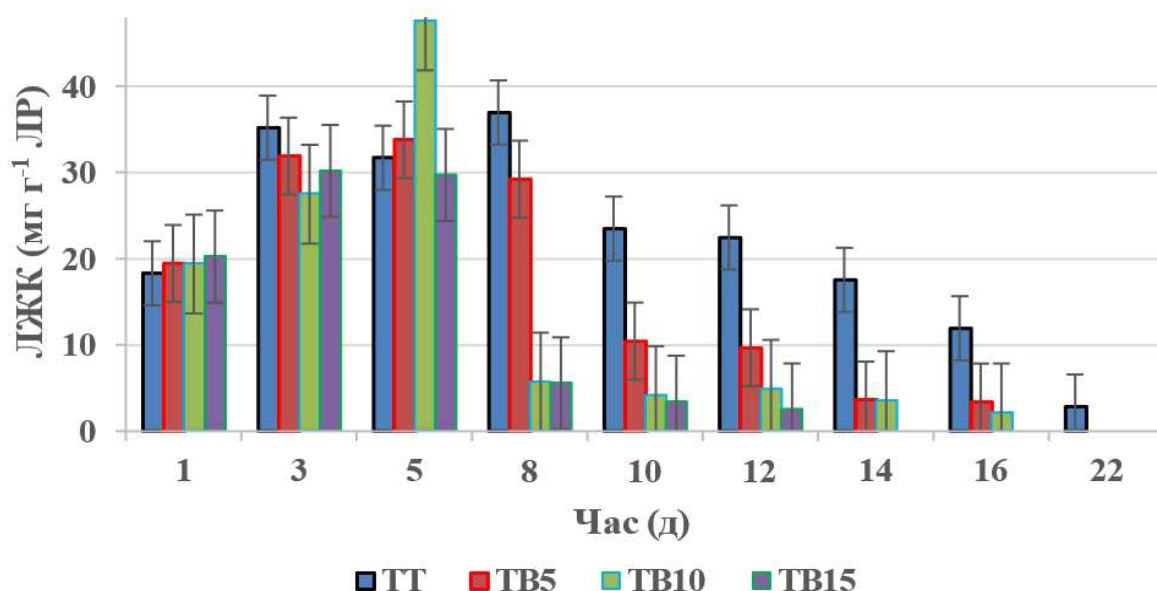


Рис. 4.26. Зміна ЛЖК при термофільній обробці.

Подібно до мезофільної обробки, групи з біологічним вугіллям відрізняються значним підвищенням утилізації ВЖК при підвищених дозах біологічного вугілля в термофільному режимі обробки (рис. 4.26.). Крім того, групи з біологічним вугіллям досягли найвищого рівня накопичення ВЖК – $49,1 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ у групі TB10.

Висновки до розділу 4

1. Визначено біополімерний та гранульований склад сировини та зразків біочару отриманих піролізом та мікрохвильовим опроміненням, показано, що зі збільшенням температури піролізу збільшується доля лігніну та золи. У біополімерному складі біочару, який отримано з використанням мікрохвильового опромінення, зростає також доля целюлози. Найбільшим вмістом (від 81,0 до 83,5 % мас.) у карбонізатах після подрібнення характеризується фракція частинок із розміром $<0,1$ мм, що характерно для всіх зразків біочарів.

2. Показано, що питома поверхня біочарів значно більша, ніж питома поверхня сировини, що вказує на доцільність вибраних методів модифікації сировини з метою збільшення її функціональних властивостей. Збільшення температури піролізу супроводжується збільшенням питомої поверхні пор, однак найкращі показники розвиненої поверхні біочарів спостерігаються для зразка біочару, отриманого з використанням мікрохвильового піролізу, що вказує на перспективність та доцільність використання цього методу модифікації сировини для отримання біочарів з високими функціональними властивостями при їх використанні в природоохоронних технологіях. Окрім можливості використовувати отриманий біочар з відпрацьованої кавової гущі в якості інтенсифікатора при процесі анаеробного зброджування, враховуючи отримані результати сорбції (до 30%), доцільним є використання біочарів, як самостійних сорбентів.

3. Встановлено, що дослідження взаємодії іонів свинцю із рослинною сировиною та її модифікованими формами свідчать про те, що сорбція модифікованими формами значно вища, ніж рослинною сировиною, ймовірно, завдяки відмінностям у хімічному складі, властивостях поверхні та ін. Зіставлення даних сорбції іонів свинцю модифікованими формами (біочарами) дозволяє зробити висновки про значний вплив методу отримання на величину сорбції. Температура піролізу біочару надає сприятливий вплив на сорбційні властивості зразків, зі збільшенням температури збільшуються сорбційні

властивості. Результати визначення швидкості сорбції іонів свинцю сировиною та біочарами свідчить, що швидкість сорбції іонів свинцю зростає при збільшенні температури піролізу. Найвища швидкість сорбції іонів свинцю спостерігається для біочару, отриманого при використанні мікрохвильового опромінення. Порівнюючи сорбційну здатність біочарів, виходячи зі значень констант сорбційної здатності a_m можна зробити висновок про те, що на поверхні біочар-МХ є велика кількість сорбційних центрів, здатних взаємодіяти з іонами свинцю. Біочар-МХ утворює також міцні зв'язки з іонами свинцю. Результати експериментальних досліджень щодо впливу концентрації іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами свідчать, що максимальні значення сорбції спостерігаються за умов дослідження при початковій концентрації іонів свинцю 1,00 мг/мл. Виходячи з даних щодо впливу тривалості інкубації біочарів у розчинах іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами, можна зробити висновок, що максимальні значення сорбції спостерігаються через 2,5...3 години інкубації. Величина сорбції іонів свинцю препаратом біочар-300 становить 40,7% після 3-х годин їх спільної інкубації. Збільшення часу взаємодії не призводить до суттєвого зростання ступеня сорбції іонів свинцю рослинною сировиною та її модифікованими формами.

4. Встановлено характер кривих потенціометричного титрування біочарів, який визначається адитивним внеском усіх іонізованих груп біочару і дає змогу віднести досліджувані продукти до категорії іонообмінників поліфункціонального типу. Значення максимальної катіонообмінної ємності сировини та біочарів свідчать про те, що біочари мають менш виражену схильність до обміну катіонів, ніж сировина, катіонообмінна ємність якої перебуває переважно в інтервалі 1...3 мекв/г. Діапазон змін цього показника біочару вузький і лежить в області низьких значень – 0,89...1,15 мекв/г. Слід вважати, що меншому значенню катіонообмінної ємності біочару відповідає їхній менший вплив на мінеральний баланс мікроорганізмів під час анаеробного зброджування. Величини pH_a кислотних угруповань біочару лежать в інтервалі 7,1...10,7, що характеризує їх як слабкокислотні

угруповання. Слід дуже індивідуально підходити до біочарів, виготовлених з використанням різних методів. Наприклад, в біочарі-300 кислотні властивості визначаються наявністю pK_a 9,6...10,7 – найімовірніше фенольних гідроксилів. У сировині приблизно така сама кількість груп із близьким значенням pK_a , хоча ця сировина характеризується значно більшим вмістом компонента поліфенольної природи. Ca^{2+} зв'язується біочаром-500 гірше, ніж біочаром-300 і біочаром, що отримано з використанням мікрохвильового опромінення. Ймовірно, це пов'язано зі значно меншою наявністю в біочарі-500 фенольних речовин.

Зв'язування іонів свинцю вище й не дивлячись на те, що за величиною воно менше такого у біочару-500, що призначене для виведення іонів важких металів, при оцінці сорбційної здатності біочару треба враховувати і цей фактор. Величина аніонообмінної ємності біочару знаходиться в діапазоні значень 0.7...1.2 мекв/г. Виключення становить біочар-500, який має дуже низькі значення цього показника, що обумовлено, ймовірно, незначним вмістом білку в зразку. Кількість груп, що тестувалися, що мають здатність до обміну аніонів, коливається від 0,1 (біочар-500) до 1,2 (біочар-MX). Групи з найбільшими величинами значень pK_a в ряду біочара, що досліджувалися, виявлені в біочарі-500 (pK 7,5), біочарі-MX (pK – 7,3) і в біочарі-300 (pK_b 7,0). Інші аніонообмінні групи мають pK_b від 4,9 до 6,3, що характеризує їх як слабкоосновні. В лужному середовищі іонообмінна здатність більшості біочарів проявляється сильніше, ніж в кислотному. Всі біочари достатньо інтенсивно впливають на величину рН; її максимальну зміну викликає біочар-MX. Функціонуючи при рН 7...8 як слабка кислота, біочари можуть сприяти зміні рН в кислу сторону, зв'язувати амоніак, який, згідно з деякими гіпотезами, може бути одним з факторів, що сприяють зміні рН в процесах анаеробного зброджування. Виходячи з цих даних, можна вважати, що найбільш активно на величину рН буде впливати біочар-MX і біочар-300. Приріст величини рН при контакті з сировиною дещо вище, найменш виражений біочар-500. Таким чином, володіючи властивостями амфолітів,

біочари в процесі анаеробного зброджування не тільки виконують роль акцепторів іонів металів, але і функціонують в якості м'якого регулятора величини рН.

5. За результатом спектрального аналізу біочарів та сировини спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при 3400 см^{-1} , яка зміщена в низькочастотну область в порівнянні з частотою вільних груп $\text{OH}-$, що свідчить про участь гідроксилів в системі водневих зв'язків. Відсутність смуги поглинання при 3650 см^{-1} вказує, що практично всі гідроксильні групи включені в водневий зв'язок. Диференційний ІЧ-спектр порівняння сировини та біочару-300 характеризується інтенсивнішим поглинанням в області $670\ldots1225\text{ см}^{-1}$ для сировини, що обумовлено присутністю аміно-груп білкової молекули. Зменшення ВВОЩ для біочару-300 в цій області може пояснюватися руйнуванням білкових речовин при піролізі. Диференційна крива порівняння ВВОЩ зразків характеризується зменшенням інтенсивності поглинання сировини в області 3400 см^{-1} , яка відповідає валентним коливанням вільної групи $\text{OH}-$, що свідчить про посилення водневих зв'язків в біочарі.

6. Встановлено в температурній області $197 - 350^\circ\text{C}$ наявність відмінності втрати маси, що каже про різний хімічний склад зразків, а саме в біочарі-300 та біочарі-500 підтверджується присутність в них меншої кількості термічно нестійких компонентів порівняно з сировиною та біочаром отриманим мікрохвильовим опроміненням. Поява на спектрах біочарів стрімких екзотермічних ефектів на кривих ДТА в області температур $197 - 350^\circ\text{C}$ вказує на наявність меншої кількості компонентів, здатних до термоокислення. В біочарах наявні більш термічно стійкі компоненти, які спостерігалися при збільшенні втрати маси зразків при деструкції та горінні піролітичних залишків, що супроводжувалось стрімкими екзотермічними ефектами на кривих ДТА.

7. Показано, що при обробці біологічним вугіллям були досягнуті як вищі максимальні питомі показники виробництва метану, так і скорочення

часу затримки. Біологічне вугілля значно покращило виробництво метану в процесі термофільного анаеробного зброджування харчових відходів, зменшуючи накопичення ВЖК, швидко відновлюючись після низького рівня рН. Зі збільшенням кількості біопалива з 0 до 15 г л⁻¹ кумулятивне виробництво метану в термофільних умовах зросло з 296,7 мл г⁻¹ ЛР до 476,1 мл г⁻¹ ЛР, тоді як час зброджування скоротився з 22 днів до 14 днів. Скорочення часу зброджування на 13,6-36,6% означає, що реактор може переробляти на 20% більше рідких та твердих харчових відходів, що дозволяє заощадити значні кошти. При подальшій оптимізації експлуатаційних параметрів, таких як попередня обробка і підвищена швидкість завантаження біомаси, можна генерувати набагато більше метану, що значно збільшить рентабельність.

8. Результати показують, що термофільне анаеробне зброджування з вищим ступенем гідролізу було схильне до нестабільності через накопичення ВЖК і падіння рН. Біовугілля з відпрацьованого кавового шламу ефективно стимулює споживання ЛЖК і збільшує виробництво метану, особливо в термофільних умовах. рН, температура і ЛЖК були важливими факторами, які вказували на те, що збільшення швидкості процесу анаеробного зброджування призводить до кращої продуктивності в термофільному зброджуванні за допомогою біопалива.

9. Досліджено, що додавання біочару з відпрацьованої кавової гущі під час анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу збільшує кумулятивне утворення біогазу та скорочує час перебігу процесу. Вміст метану в отриманому біогазу становить понад 80%, що вказує на можливість його використання в якості аналога природнього газу у виробничих процесах підприємств.

РОЗДІЛ 5. УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО КОМПЛЕКСУ

Біотехнологія переробки харчових відходів шляхом анаеробного зброджування в біогаз та отримання вторинного продукту біогумусу, використовується на підприємствах по переробці відходів та приватних господарствах, але її використання має ряд недоліків та складнощів, одним з яких є правильність підготовки субстрату та тривалість процесу. З метою оптимізації процесу анаеробного зброджування та отримання більшого виходу біогазу з кількістю метану понад 80%, було запропоновано та розроблено удосконалені технологічні схеми з використанням біочару з відпрацьованої кавової гущі, що відображають екологічну та економічну ефективності впровадження біотехнологічних процесів в готельно-ресторанних комплексах для підвищення конкурентоспроможності та самодостатності на ринку за рахунок виробництва власного біогазу, його використання та продажу побічно отриманих вторинних продуктів. В розділах 4.1. та 4.2. наведені удосконалені технологічні схеми отримання біочарів та біогазу відповідно, а в розділі 4.3. охарактеризовано економічну доцільність впровадження таких біотехнологій.

Принципова біотехнологічна схема переробки харчових відходів в продукт з доданою вартістю включає: сортування відходів ГРК, переробку вторинної сировини, прийом харчових відходів рослинного походження для процесу анаеробного зброджування, надходження біочару, як інтенсифікатора при АЗ та сам процес анаеробного зброджування (рис. 5.1.). Розроблена біотехнологія переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу з додаванням біочару базується на теоретичному та експериментальному обґрунтуванні, що наведено в розділі 4.

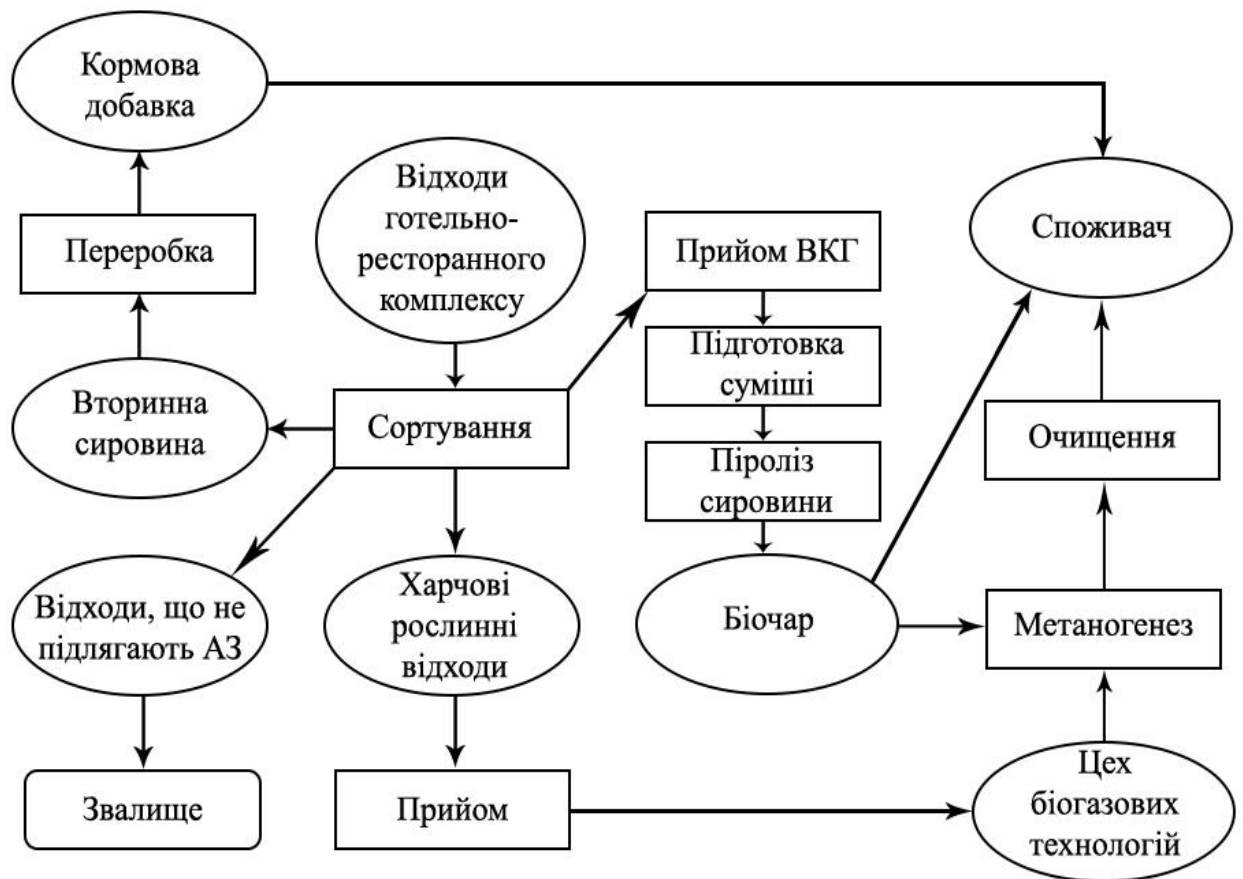


Рис. 5.1. Принципова технологічна схема переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування.

5.1. Удосконалення технології отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі для використання в процесі анаеробного зброджування харчових відходів.

Розроблено удосконалену схему отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі шляхом термічного піролізу та мікрохвильового опромінення (Рис 5.2).

На технологічній схемі наведені всі етапи виробництва біовугілля, а саме: споживання кави, збір ВКГ, промивання деіонізованою водою, сушіння, термічний піроліз, підготовка суміші до мікрохвильового піролізу, відбір проб для дослідження, промивка та сушіння після опромінення та готовий біочар.

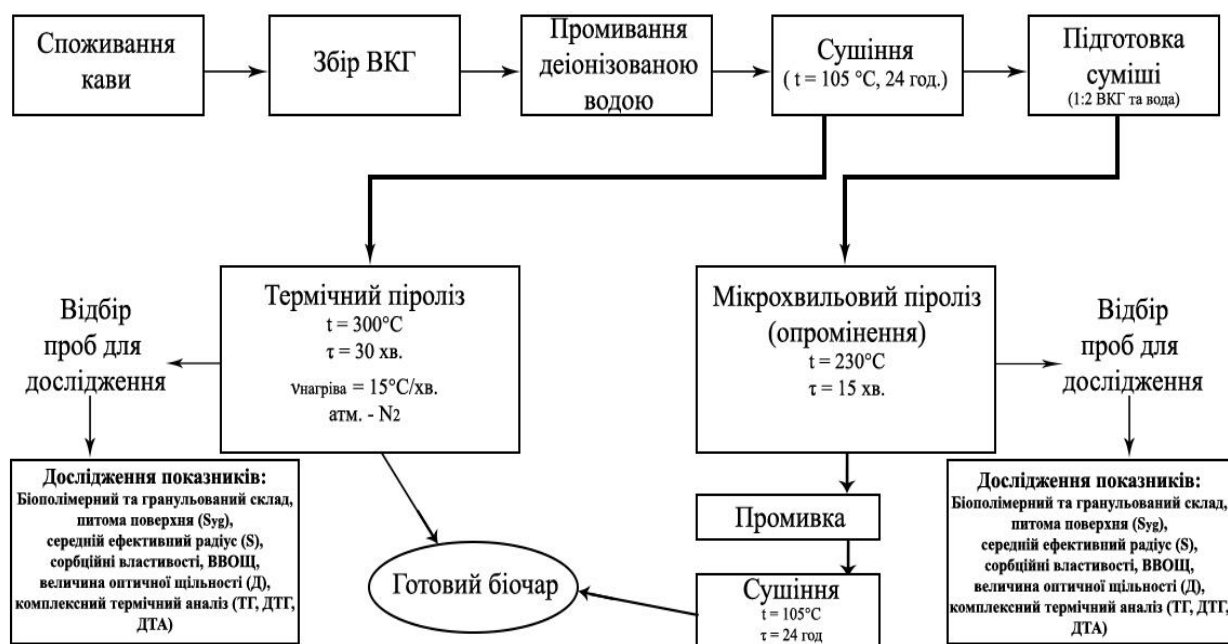


Рис. 5.2. Векторна технологічна схема отримання біочару з відпрацьованої кавової гущі шляхом термічного та мікрохвильового піролізу

Після збору відпрацьованої кавової гущі, її обов'язково промивають деіонізованою водою та сушать, залишки води після промивки можна використовувати в якості добрива для рослин, що не несе для них шкоди у великій кількості. На схемі наведена різниця в підготовці ВКГ до піролізу, якщо термічний піроліз починали після сушіння сировини за температури 105°C протягом 24 годин, та отримували біочар, то для мікрохвильового опромінення додатково готували суміш додавання до сировини води у співвідношенні 1:2 відповідно, а потім помішали зразок до мікрохвильової печі. Термічний піроліз проводили за температури 300°C та 500°C, протягом 30 хв, зі швидкістю нагрівання 15°C/хв, умовою проведення дослідження є атмосфера N₂, додаткової обробки біочару після завершення прожарювання не використовували. Мікрохвильовий піроліз проводили за температури 230°C протягом 15 хвилин, після опромінення зразок промивали декілька разів деіонізованою водою та сушили за температури 105°C протягом 24 годин. Далі отриманий біочар двома методами можна використовувати в якості інтенсифікатора процесу метанового бродіння, детальніше в підрозділі 4.2.

5.2. Удосконалення біотехнології анаеробного зброджування харчових відходів з додаванням в якості інтенсифікатора біочару з відпрацьованої кавової гущі

Було удосконалено технологічну схему процесу анаеробного зброджування харчових відходів та біочару з відпрацьованої кавової гущі в якості інтенсифікатора (Рис. 5.3.)

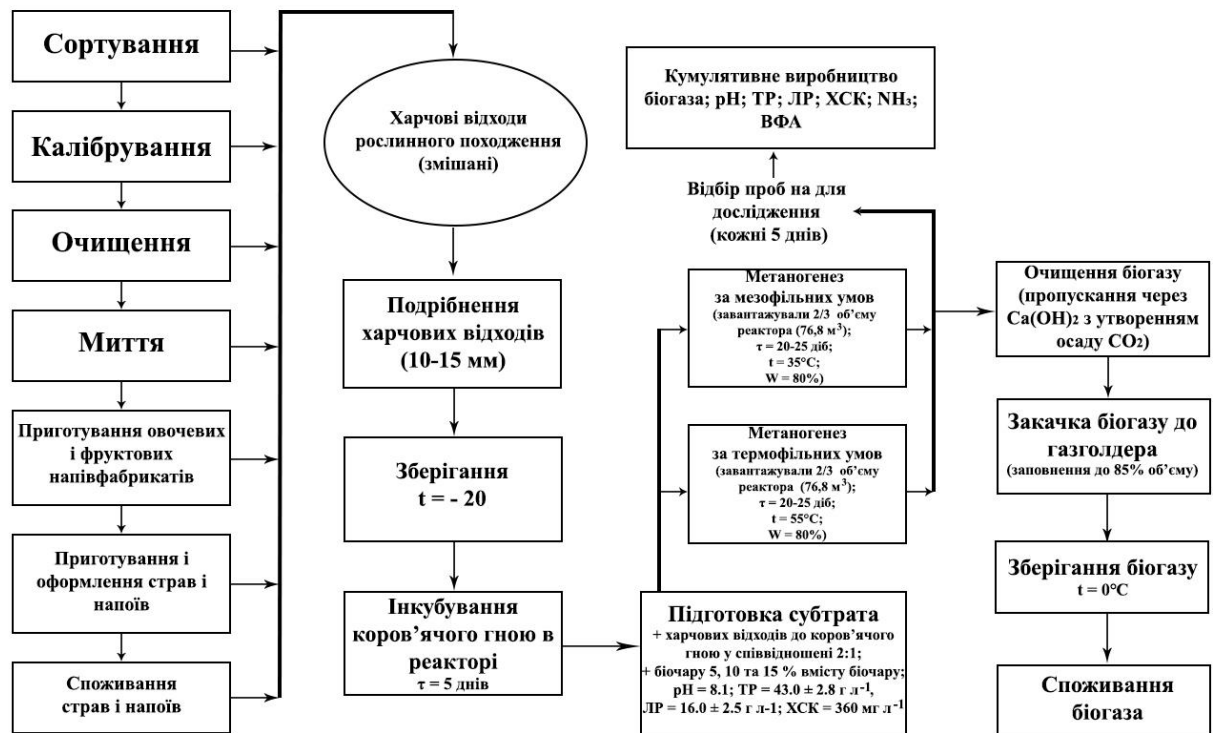


Рис. 5.3. Удосконалена технологічна схема процесу анаеробного зброджування харчових відходів з додавання біочару з відпрацьованої кавової гущі

На рис 5.3. наведені етапи процесу анаеробного зброджування, які починаються з процесів збору харчових відходів для їх подальшої підготовки до метаногенезу, а саме змішані ХВ подрібнювали до шматочків 10-15 мм, помішали в скляні контейнери та зберігали при температурі -20°C. Для більш ефективного проведення процесу анаеробного зброджування за рахунок збільшення чисельності метанотворних мікроорганізмів, в реакторі інкубували протягом 5 днів коров'ячий гній, після чого починався етап підготовки субстрату для метаногенезу, а саме додавали подрібнені ХВ та біочар, при цьому були дослідженні первинні характеристики та показники

субстрату. Підготовлений субстрат завантажували на 2/3 об'єму метантенку та проводили анаеробне зброджування за двох температурних режимів термофільного (55°C) та мезофільного (35°C). Протягом 20-25 діб підтримувалась вологість суміші на рівні 80% та відбувалось утворення метану, кожні 5 днів відбирали зразки для дослідження, далі отриманий біогаз очищали від домішок пропускаючи через розчин $\text{K}(\text{OH})_2$ через, що утворювався осад CO_2 . Очищений газ закачували на збереження не більше ніж на 85% від об'єму газголдерів, що дозволяло раціонально використовувати отриманий біогаз в залежності від потреб.

Експериментально доведено, що використання в якості інтенсифікатора біочару є ефективним та збільшує вихід біогазу, а також скорочує час його утворення при обох режимах роботи біогазового реактора. Використання мезофільного та термофільного режиму має свої особливості з точки зору економічності роботи біореактора, термофільний режим вимагає додаткової витрати електроенергії для підтримки оптимальної температури та завдяки цьому збільшується кумулятивне виробництво біогазу порівняно з мезофільним режимом. В той час, як мезофільний режим не вимагає стільки додаткових ресурсів для підтримки умов перебігу процесу, що є більш раціональним з точки економії, економічна доцільність використання режимів процесу анаеробного зброджування наведено в підрозділі 4.3.

Апробацію розробленої біотехнології проведено на підприємстві ТОВ Кафе-бар «РіО» (готельно-ресторанний комплекс) (додаток А). При впровадженні розробленої біотехнології доцільно використовувати вимірювально-інформаційні системи, які дозволяють контролювати технохімічні та мікробіологічні характеристики (табл. 5.1.)

Таблиця 5.1. Схема технологічного і мікробіологічного контролю виробництва біогазу з додаванням біочару

№ п/п	Процес	Об'єкт контролю	Параметри, який контролюється	Періодичність контролю	Метод контролю*
1	2	3	4	5	6
1	Змішування, підготовка	Суміш ВКГ та води	Температура	Одноразово	Ф
2	Одержання біочару	Біочар	Час процесу Температура	Одноразово	Ф Ф
3	Змішування	Субстрат	Маса Вологість Температура	Одноразово	Ф Ф Ф
4	Контроль	Вихідний біогаз до очищення	pH TP LP ХСК NH ₃ ВФА Температура	Кожна партія	Ф Х Х Х Х Х Ф
5	Кінцевий продукт	Біогаз	pH TP LP ХСК NH ₃ ВФА Температура	Кожна партія	Ф Х Х Х Х Х Ф

*Скорочення, які використовуються для методів контролю: Ф – фізичний; Х – хімічний.

Готовий біочар та біогаз характеризується певними показниками, які наведені в таблицях 5.2 та 5.3.

Таблиця 5.2 – Показники якості готового біочару

Показники/ умови	Біочар	
	Термічний піроліз (300 та 500 °C)	Мікрохвильовий піроліз (230 °C)
1	2	3
Зовнішній вигляд, консистенція	подрібнена суміш, структурна, сипка, дрібні частинки з нерівними краями	подрібнена суміш, структурна, сипка, дрібні частинки з нерівними краями
Запах	слабкий аромат кави	слабкий аромат кави
Колір	чорного кольору подрібнена суміш	світло та темно коричневого кольору
Сорбція Pb ²⁺ , мг/г нос	12,8±0,07 13,3±0,12	10,9±0,05

Продовження табл. 5.2.

Показники/ умови	Біочар	
	Термічний піроліз (300 та 500 °C)	Мікрохвильовий піроліз (230 °C)
1	2	3
Сорбція Pb ²⁺ , % від вихід	34,5±0,41 35,7±0,06	29,2±0,17
Швидкість сорбції, мг/г хв	0,085±0,0048 0,098±0,0024	0,1025±0,0004
Сорбція Ca ²⁺ , мг/г нос	1,7 ± 0,1 28,2 ± 4,6	0,2 ± 0,1
Сорбція Ca ²⁺ , % від вихід	0,2 ± 0,1 2,4 ± 0,3	4,0 ± 3,3
Значення рКа	7,0 7,5	7,3
Початкова втрата маси, %	6,2 4,4	6,7

Таблиця 5.3 – Показники якості готового біогазу

Показники/ умови	Біогаз отриманий з використанням біочару	
	Термофільний режим (55 °C)	Мезофільний режим (35 °C)
1	2	3
Кумулятивне виробництво біогазу, мл Г ⁻¹	476,1	432,6
Сторонні домішки	Відсутні	
Показники якості біогазу		
CH ₄ ,%	85 - 87	81 - 83
CO ₂ ,%	15 - 20	18 - 24
N ₂ ,%	0,1 – 0,4	0,1 – 0,3
O ₂ ,%	0,02 – 0,03	0,02 – 0,03
H ₂ S,%	0,01 – 0,02	0,01 – 0,02

5.3. Розрахунок економічної ефективності впровадження біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу

5.3.1 Розрахунок інвестиційних витрат

Впровадження розробленої біотехнології в працюючі готельно-ресторанні комплекси або ті, що плануються для забудови мають обов'язково оцінюватися не лише з екологічної, а й економічної точки зору. Інвестиційні засоби, пов'язані із будівництвом/реконструкцією об'єктів ГРК включають витрати на: перепланування приміщень, маркетингові дослідження та проектно-дослідні роботи, оформлення дозвільних документів, будівельно-

монтажні роботи, придбання виробничого та офісного обладнання, оргтехніки та обчислювальної техніки, поповнення оборотних коштів, а також витрат для впровадження біотехнології отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування харчових відходів з додаванням біочару з відпрацьованої кавової гущі (обладнання, оздоблення приміщень, навчання та робота працівників цеху біогазових технологій тощо). Всі ці показники слід обов'язково оцінювати при розрахунку економічної ефективності проекту.

Метою проекту є переробка харчових відходів шляхом анаеробного зброджування в біогаз з додаванням біочару з відпрацьованої кавової гущі, що отримують в ГРК та можливості використовувати вироблений біогаз в робочих цілях закладу. А саме в подальшому виробляти електроенергію, продавати біогаз та вторинний продукт – біогумус, для підвищення прибутку господарства та зниження витрат на комунальні послуги та утилізацію органічних відходів.

Основна мета проекту полягає в тому, що харчові відходи можуть давати непоганий обсяг біогазу, але для отримання аналога природного газу, де буде 80% і більше метану у складі, потрібно більше метанотворних мікроорганізмів. Тому попередньо готували суміш коров'ячого гною, який інкубували протягом кількох днів, а потім додавали харчові відходи. Далі протягом 20-25 діб в біореакторі біогазової установки утворюється біогаз, як при мезофільному так і при термофільному режимі роботи, отриманий біогаз має більше 80% метану в своєму складі, що дозволяє використовувати цього, як аналог природного газу.

Для впровадження біотехнологічної інновації в готельно-ресторанному комплексі необхідно встановити нове обладнання для переробки харчових відходів, що є разовою витратою, налагоджувати технологічний процес та цикл роботи установки.

Для початку розрахуємо основні витрати на реалізацію концепцію, а саме: витрати на будівництво та проектування приміщень, витрати на закупівлю обладнання та інвентарю та у подальшому інші операційні.

Дана біотехнологія може бути впровадженою в закладі, що працює, або в тому, що планується для забудови, тому в розрахунок одночасних витрат було додано пункти будівництва та монтажу. Одночасні витрати для реалізації концепції наведено в Таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. Одночасні витрати для реалізації концепції, тис. грн.

Показник	Сума, тис.
1. Витрати на реалізацію концепції:	1 412 343,2
1.1 Витрати на будівельні та монтажні роботи	681 013
1.2 Витрати на закупівлю обладнання та інвентарю	731 330,2
2. Витрати на встановлення та запуск виробничого обладнання	170 000
Всього без ПДВ	1 582 343,2
Всього з ПДВ:	1 898 811,84

Детальний розрахунок інвестиційних витрат на будівництво та проектування приміщень ресторану відображено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Розрахунок інвестиційних витрат на будівництво та проектування приміщень

Найменування	Кількість	Ціна одиниці, грн	Вартість, грн	Найменування постачальника
1	2	3	4	5
Витрати на будівельні та монтажні роботи				
Початковий виїзд на об'єкт	1	600	600	Будівельна компанія «Garnet Group»
Розробка проекту робіт	1	3 000	3 000	
Монтаж обробних матеріалів	1326,3 м ^{2*}	150	198 945	
Малярні, монтажні облицювальні, та столярні роботи	1326,3 м ^{2*}	140	185 682	
Полова дошка, керамічна плитка, декоративний камінь, декоративні елементи, сухі суміші та інші матеріали лаки, фарби.	1326,3 м ^{2*}	220	291 786	
Установка і налаштування обладнання	1	1 000	1 000	
Всього			681 013	
<i>*Примітка – урахування загальної площі усіх приміщень 0-го поверху ресторану, де буде встановлене виробниче обладнання і комунікації</i>				

Детальний розрахунок інвестиційних витрат на закупівлю обладнання та інвентарю відображено в Таблиці 5.6.

Таблиця 5.6. Розрахунок інвестиційних витрат на закупівлю обладнання та інвентарю

Найменування	Торгова марка	Кількість, шт.	Вартість за 1 один. обладн., грн	Загальна сума, грн
Обладнання для технічних приміщень				
Мікрохвильова піч	Beko (312, 455, 770)	1	6 786,75	6 786,75
	Coldline Master A140/2N	1	7 032,50	7 032,50
	ШХ-1,40	2	4 652, 20	9 304,40
Реактор	ARKTO F 1.0 S	1	10 328,95	10 328,95
Труба завантаження	ПТ-2	2	2 308,90	4 617,80
Газгольдер (збирач газу)	BDU150C-0405-Б	1	17 896,88	17 896,88
Індикатор рівня сировини в реакторі	СП-1	3	1 760,50	5 281,50
Запірна арматура	300ВП1-Тв	1	1 000	1 000
Мішалка сировини в реакторі автоматична з таймером	-	1	2 350,50	2 350,50
Термостат	СП-523/1200	1	17 502,09	17 502,09
Металева підставка під реактор	BM1/530	2	2 205,75	4 411,50
Комплект фільтрів очищення біо газу	-	1	8 650	8 650
Компресор, для перекачування біо газу в балон	СПП-15/7	5	1 890	9 450
Біоматеріал, для швидкого запуску реактора	BTNE-15H-4	1	2 997,9	2 997,9
Масазгольдер — резервуар для зберігання виробленого газу на 350 літрів	СПВМ-12/7	1	6108,9	6108,9
Підсилений клапан	-	4	1 067,50	4 270
Газовідвідна трубка	-	3	511,90	1 535,70
Стіл для засобів малої механізації	СПМ-8/7	3	4 788,90	14 366,70
Підставка для підлоги	ПТ-1	1	2 559,7	2 559,7
Стіл середньотемпературний	Polair TM3GN-G	1	11 675,50	11 675,50
Настінна полиця	HICOLD-6/3	1	1 055	1 055
Стіл охолоджувальний	HICOLD SNE 1/TN	1	7 659,99	7 659,99
Установка для подачі електроенергії	UNOX XB693	1	118 872	118 872
Електричний розподільник	Арм-Еко ПЕ-6 Н	2	29 251	58 502
Витяжка	Polairon HTE-275	4	4 679,90	18 719,60
Стелаж	СК-8/5	1	1 220,50	1 220,50
Реєстратор	MG N707TS	1	11 862	11 862

Продовження табл. 5.6.

Найменування	Торгова марка	Кількість, шт.	Вартість за 1 один. обладн., грн	Загальна сума, грн
Обладнання для технічних приміщень				
Меблі та устаткування				
Електричний щиток	-	2	7 654,50	15 129
Шафа для технічного обладнання	-	2	2 657,70	5 135,40
Стіл	-	2	1 299,99	2 599,98
Стілець	-	2	674	1 348
Шафа для інвентарю	-	2	2 307,85	4 615,70
Датчик подачі тепла	-	2	1 150	2 300
Набір інструментів для компресору	-	5	1 355,90	6 779,50
Полиця для резервуарів з паливом	-	4	1 500	6 000
Полиця для резервуару з відходами	-	2	1 700	3 400
Полиця для електричних інструментів	-	2	2 100	4 200
Фільтр одноразовий для біоматеріалу	-	47	536,50	25 215,50
Фільтр одноразовий	-	8	350	2 800
Щипці та леза металічні	-	10	2 670,85	26 708,50
Комплект сантехніки для персоналу технологічних приміщень	-	2	21 673,60	43 347,20
Драбина 2 м	Dnipro M 2345-N	1	7 143,96	7 143,96
Обладнання для видобутку газу				
-	-	-	-	26 360,8
Інвентар для реалізації готової сировини поза межами закладу				
-	-	-	-	88 650
Меблі та інше устаткування для технічного обслуговування:				
-	-	-	-	111 760
Додаткові витрати на встановлення обладнання (10%)				5 355,80
Разом:				731 330,2

Детальна розгорнута таблиця обладнання наведена в Додатку Б.

Наступний крок – це витрати на реалізацію проекту та подальшу рекламу для майбутніх інвесторів – розробка маркетингової концепції та його оптимізація на першому етапі. Також до складу витрат включаємо рекламу у соціальних мережах – таргетинг. Інвестиції за даними показниками наведено в Таблиці 5.7.

Таблиця 5.7. Інвестиції в маркетинг та рекламу

Перелік витрат	Сума, тис. грн.
1. Розробка проекту реалізації	50 000 грн
2. Реклама у соціальних мережах (таргетинг)	120 000 грн/рік
Всього	170 000

Витрати операційної діяльності підприємства групуються за наступними елементами: матеріальні витрати, витрати на оплату праці, відрахування на соціальні заходи, інші операційні витрати. Загальний фонд оплати праці на підприємстві розраховується, як сума добутків кількості осіб певної категорії працівників, їх середньомісячної заробітної плати та кількості місяців (12 місяців). Результати розрахунків наведено в Таблиці 5.8.

Таблиця 5.8. Витрати на оплату праці працівників, які будуть залучені до реалізації концепції

Категорії працівників	Кількість осіб	Середня заробітна плата в місяць, грн.	Витрати на оплату праці за рік, тис. грн.
Виробничий (операційний) персонал			
Завідуючий виробництвом (Головний інженер)	1	15 600	187 200
Допоміжний персонал			
Електрик	1	11 300	135 600
Технічний помічник	1	10 000	120 000
<i>Разом по обслуговуючому персоналу</i>	3	36 900	442 800
Всього	3	36 900	442 800

Амортизаційні відрахування необхідно знайти за умовно прийнятими відсотками до залишкової вартості обладнання на початок відповідного року. Результати розрахунків необхідно занести у Таблицю 5.9.

Таблиця 5.9. Розрахунок сум амортизаційних відрахувань за відповідний рік

Група ОЗ	Елементи основних засобів	Первісна вартість, тис. грн.	Норми АВ, %	Сума амортизаційних відрахувань за період, тис. грн. за рік				
				1	2	3	4	5
1	Меблі, прилади, обладнання та інвентар	1 412,343	10	141,23	127,11	114,40	102,96	92,66
2	Інші основні засоби	170,000	6	10,2	9,58	9,01	8,47	7,96
	Разом	1 582,343	-	151,43	136,69	123,41	111,43	100,62

При розрахунку поточних витрат враховуємо витрати на електроенергію, водопостачання та газу у двох варіантах - при впровадженні концепції, та з урахуванням використання ресурсів для підприємства при закупівлі енергоресурсів. Потребу в електроенергії на освітлення та інші виробничі потреби приймаємо в розмірі 20 % від потреби на технологічні цілі: $238418 \cdot 20 / 100 = 47683,6$ кВт/год. Враховуючи вартість 1 кВт/год електроенергії 2,56 грн, загальні витрати на електроенергію будуть складати: $(238418 + 47683,6) \cdot 2,56 = 732420$ грн або 732,42 тис. грн

Потреба підприємства в паливі визначається за двома напрямками його використання: на технологічні цілі; на опалювальні та господарсько-побутові потреби. В технологічному процесі використовуватиметься лише електричне обладнання, тому витрати на технологічні цілі не враховуються. Витрати на опалювання визначаються в залежності від квадратури приміщень. Середньомісячні витрати на опалювання 1 кв.м – 30,76 грн.

Таким чином, витрати на опалювання приміщень площею 545,3 кв.м. складатимуть 16,773 тис. грн. Опалювальний сезон складає 6 місяців, тому: $16,773 \cdot 6 = 100,64$ тис. грн. Для узагальнення інформації про склад поточних витрат складемо Таблицю 5.10 та 5.11.

Таблиця 5.10. Вихідні дані для розрахунку поточних витрат на рік з використанням енергоресурсів до впровадження концепції

Показник	
1. Витрати на опалення, підігрів води, газ для приготування їжі, тис. грн.	100,64
2. Споживання електроенергії, кВт/год	286101,6
3. Тариф (електроенергія), грн. за 1 кВт/год	2,56
4. Водопостачання, м ³	3372,6
5. Тариф (водопостачання), грн за м ³	12,06
6. Водовідведення, м ³	3372,6
7. Тариф (водовідведення), грн за м ³	10,21

Таблиця 5.11. Вихідні дані для розрахунку поточних витрат на рік з використанням енергоресурсів після впровадження концепції

Показник	
1. Витрати на опалення, підігрів води, газ для приготування їжі, тис. грн.*	-
2. Споживання електроенергії, кВт/год	2101,6
3. Тариф (електроенергія), грн. за 1 кВт/год	2,56
4. Водопостачання, м ³	3372,6
5. Тариф (водопостачання), грн за м ³	12,06
6. Водовідведення, м ³	3372,6
7. Тариф (водовідведення), грн за м ³	10,21
<i>*Примітка – урахування, зниження та виключення витрат на газопостачання та електроенергію, шляхом встановлення виробничого обладнання і комунікації</i>	

При розрахунку прибутку підприємства включаємо надходження прибутку при впровадженні концепції. Інші витрати плануються у розмірі 10 % від усіх наведених витрат без амортизаційних відрахувань.

У Таблиці 5.12. відображаємо усі розрахунки щодо поточних витрат на період реалізації даної концепції.

Таблиця 5.12. Поточні витрати, тис. грн.

Витрати	Роки реалізації проекту				
	1	2	3	4	5
1. Заробітна плата	4428,00	4428,00	4428,00	4428,00	4428,00
2. Відрахування на соціальні потреби (22% від ФОП)	974,16	974,16	974,16	974,16	974,16
3. Інші витрати	6131,23	6131,23	6131,23	6131,23	6131,23
4. Разом без амортизаційних відрахувань	11533,3	11533,3	11533,3	11533,3	11533,3
5. Амортизаційні відрахування	151,43	136,69	123,41	111,43	100,62
6. Разом з амортизаційними відрахуваннями	11684,7	11669,9	11656,7	11644,7	11633,9

5.3.2. Розрахунок товарообігу і валового доходу підприємства ресторанного господарства

В цьому розділі здійснено розрахунки: прибутку від впровадження нової концепції, строків окупності інвестицій та чистої приведеної вартості. Економічна оцінка проекту виконується за показниками для інвестора: термін окупності інвестицій (ТОІ) та чистий приведений дохід (ЧПД).

Для реалізації проекту будемо використовувати власні кошти у сумі 2 000 000 грн. Тому розрахунок коштів для повернення кредиту не враховуємо. Надходження від реалізації послуг плануються, виходячи з рівня витрат (собівартості).

Кількість харчових відходів рослинного походження ресторану за 1 робочий день, що складає 39,73 кг або 370 кг/м^3 . Таким чином, рослинні харчові відходи що утворюються в ресторані за один робочий день складають $39,7/370 = 0,1074 \text{ м}^3$ або 107,4 л, що для подальших розрахунків приймаємо за 100 л. Так як отриманий вторинний продукт біогумус при анаеробному зброджуванні харчових відходів утворюються в великих об'ємах, було розглянуто продавати його для отримання додаткового прибутку закладом ГРК. Обсяг компосту, що виробляє підприємство за 1 день $\approx 76\%$ від маси матеріалів (відходи + ґрунт + мінеральна добавка) $= 0,76 \cdot (1000 + 90 + 90) = 896,8$ л. Розрахуємо кількість мішків 50 л з компостом за день: $896,8/50 = 18$ мішків.

Вартість 1 мішка 50 л компосту такого класу за ринковими цінами складає 750 грн. Обсяг реалізації компосту за рік складає $= 183650,75 = 4927,5$ тис.грн.

Основний розрахунок та грамування на кожну позицію зазначена у плану-меню. З ціллю спрощення розрахунків комерційного доходу закладається націнка у відсотках до ціни набору сировини та закупних товарів за цінами постачальника (без податкового кредиту). Так, для готельно-ресторанного комплексу рівень націнки на продукцію власного виробництва становить 100%, на закупні товари – 25%.

Порядок визначення кількості комерційного доходу ГРК, ціни придбання сировини і закупних товарів для підприємств, які акумулюють лише один елемент комерційного доходу – націнку, наведено в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13. Планування суми комерційного доходу, вартості придбання сировини і закупних товарів ресторану

№ пор.	Найменування продукції	Товарообіг, тис. грн.	Відсоток націнки в складі товарообігу, %	Сума комерційного доходу ЗРГ, тис. грн.	Вартість придбання сировини і закупних товарів, тис. грн.
1	2	3	4	$5=3 \times 4 / 100\%$	$6=3-5$
1	Продукція власного виробництва	94827,0	100	9482,7	853,44
2	Закупні товари	58217,5	25	1455,4	5676,2
Разом за рік (без ПДВ)		153044		10938,1	6529,6

5.3.3. Розрахунок витрат операційної діяльності

Чистий прибуток розраховується відніманням розміру експлуатаційних витрат від загальних надходжень від реалізації. Результати розрахунків представляємо у вигляді Таблиці 5.14.

Таблиця 5.14. Фінансові результати діяльності, тис. грн.

Показники	Роки реалізації проекту				
	1	2	3	4	5
1. Обсяг реалізації послуг	57950,8	57950,8	57950,8	57950,8	57950,8
2. Експлуатаційні витрати	12413,9	12399,1	12385,9	12373,9	12363,1
3. Чистий прибуток	45536,9	45551,7	45564,9	45576,9	45587,7

Грошові потоки від реалізації проекту подаємо у вигляді таблиці 5.15.

Таблиця 5.15. Потік коштів інвестиційного проекту. тис. грн.

Показники	Роки реалізації проекту				
	1	2	3	4	5
1. Надходження від надання послуг	57950,8	57950,8	57950,8	57950,8	57950,8
2. Експлуатаційні витрати без амортизаційних відрахувань	12262,5	12262,5	12262,5	12262,5	12262,5
3. Загальна сума виплат за кредитом	-	-	-	-	-
4. Податок на прибуток	8196,6	8199,3	8201,6	8203,8	8205,7
5. Чистий грошовий потік	37491,7	37489	37486,7	37484,5	37482,6

5.3.4. Оцінка інвестиційної привабливості проекту

Чистий приведений дохід дозволяє отримати найбільш узагальнену характеристику результату інвестування, тобто його кінцевий ефект в абсолютній формі.

Під *чистим приведеним доходом* розуміють різницю між приведеною до справжньої вартості сумою грошового потоку за період експлуатації інвестиційного проекту і сумою, що інвестується в його реалізацію.

$$ЧПД = \sum \frac{ЧДП_t}{(1 + d)^t} - IC \quad (5.1)$$

де $\sum \frac{D_t}{(1 + i)^t} - IC$ - загальна величина дисконтованих (приведених) надходжень грошових засобів (таблиця 6.11); d - ставка дисконту; t - період часу надходжень доходу, $t = 1: n$

Розрахунок загальної величини дисконтованих (приведених) надходжень грошових засобів наведений в таблиці 5.16.

Таблиця 5.16. Розрахунок загальної величини дисконтованих (приведених) надходжень грошових засобів

Роки	Грошові потоки	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтовані грошові потоки	Повернення інвестицій	Накопичений дисконтований грошовий дохід
1	37491,7	1,15	33474,7	33474,7	0,00
2	37489	1,323	28336,3	28336,3	0,00
3	37486,7	1,521	24646,0	24431,4	214,60

Продовження табл. 5.16.

Роки	Грошові потоки	Коефіцієнт дисконтування	Дискontовані грошові потоки	Повернення інвестицій	Накопичений дискontований грошовий дохід
4	37484,5	1,75	21419,7	-	21419,7
5	37482,6	2,011	18638,7	-	18638,7
всього	187434,5		126515,4	86242,4	40273

Під терміном окупності (Payback Period) розуміють тривалість періоду, впродовж якого сума грошових потоків, продискontованих на час вкладення інвестицій в проект, стане рівною розміру інвестицій.

Термін, протягом якого інвестор може відшкодувати початкові затрати, забезпечивши при цьому бажаний рівень доходності, називається терміном окупності інвестицій.

Термін окупності інвестицій розраховується за формулою:

$$TOI = \frac{IC}{(\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i})_{серед}} \quad (5.2)$$

де TOI – термін окупності (років);

IC – обсяг інвестицій по проекту;

$(\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i})_{серед}$ - річна сума грошових надходжень від реалізації

$$TOI = \frac{86242,4}{37486,7} = 2,3 \text{ року} = 27 \text{ міс} \quad (5.3)$$

Термін окупності проекту складає 2 роки і 3 місяців.

Індекс доходності – це показник порівняльної ефективності інвестиційного проекту, який являє собою відношення суми наведених ефектів до величини капіталовкладень. Індекс прибутковості відображає ефективність інвестиційного проекту. Розраховується за формулою:

$$ID = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i}}{IC} \quad (5.4)$$

$\sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i}$ - справжня вартість грошових потоків за перших 3 роки.

ІС - сума інвестицій, спрямованих на реалізацію проекту (при різночасності вкладень також приводиться до справжньої вартості)

$$ID = 126515,4 / 86242,4 = 1,46$$

Якщо значення індексу прибутковості більше 1, то проект є ефективним, так як він принесе інвестору додатковий дохід. Результати розрахунків необхідно занесемо до Таблиці 5.17. та зробимо висновки.

Таблиця 5.17. Розрахунок основних показників ефективності реалізації проекту

Показник	Розрахунок	Значення
1. Чистий приведений дохід	$ЧПД = \sum_{n=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i} - ІС$	40273
2. Термін окупності інвестицій	$ТОІ = \frac{ІС}{(\sum_{n=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i})_{серед}}$	2,3 року ~ 27 місяців
3. Індекс доходності	$ID = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i}}{ІС}$	1 > 1,46

Виходячи з даних Таблиці 5.17. можемо побачити, що реалізація даної концепції є інвестиційно привабливою та вигідною. Термін окупності проекту складає 2 роки і 3 місяці; індекс доходності $1 >$ та $= 1,46$; чистий приведений дохід = 40 273 грн.

Висновки до розділу 5

1. Принципова біотехнологічна схема переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу включає такі процеси, як: сортування, переробку, прийому відходів, та процеси отримання біочару та анаеробне зброджування з додаванням біочару.

2. Визначено ефективність використання біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування з додаванням біочару за рядом показників та при різних

температурних режимах. Мікрохвильове опромінення відпрацьованої кавової гущі є більш економічно вигідним ніж традиційний термічний піроліз, в той час як така ж ситуація склалася з термофільним та мезофільними режимами отримання біогазу, перший метод дає більше вихід біогазу та швидше прискорює процес, ніж другий метод. При цьому зазначено, що термофільний режим анаеробного зброджування вимагає більше ресурсів, наприклад, споживання електроенергії, що робить його економічно не вигідним, ніж мезофільний режим.

3. Визначено, що при використанні біочару в якості інтенсифікатора для процесу анаеробного зброджування збільшується вихід біогазу та прискорюється час процесу.

4. Харчові відходи, що не можуть бути використані в процесі анаеробного зброджування доцільно передавати на спеціалізовані підприємства з переробки на харчові добавки та корм для тварин, що сприяє раціональному поводженню з відходами та знижує об'єми їх накопичення.

5. Апробацію розробленої технології проведено на підприємстві ТОВ Кафе-бар «РіО» (готельно-ресторанний комплекс). З отриманих результатів досліджень слідує, що біочар та біогаз, отримані у виробничих умовах, відповідають нормативно-технічній документації, що свідчить про ефективність розробленої біотехнології та доцільність і можливість подальшого використання продуктів з доданою вартістю в циклі роботи закладу ГРК та для продажу іншим підприємствам та приватним господарствам.

6. Економічна ефективність переробки харчових відходів ГРК шляхом анаеробного зброджування з використанням біочару розраховувалась з урахуванням кількості ХВ рослинного походження закладу за 1 робочий день. Термін окупності проекту даного дослідження склав 2,3 роки. Зважаючи, що в умовах сучасних економічних реалій максимальний прийнятий термін окупності складає 5 років, то можна вважати розроблений проект економічно привабливим та ефективним.

7. Усі показники інвестиційної привабливості проекту свідчать про те, що проект доцільно використовувати для впровадження на підприємствах готельно-ресторанного господарства.

ВИСНОВКИ:

У дисертації наведене вирішення наукової задачі розробки технології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування у біогаз з використанням, як інтенсифікатору, біочару, який отримано з відпрацьованої кавової гущі термічним та мікрохвильовим піролізом. В результаті узагальнення даних дисертаційних досліджень отримані такі найбільш вагомні результати.

1. За результатами проведеного дослідження процесу анаеробного зброджування харчових відходів готельно-ресторанного комплексу у лабораторних умовах доведена перспективність використання отриманих термічним та мікрохвильовим піролізом з відпрацьованої кавової гущі біочарів як інтенсифікаторів у складі сировинної композиції, а також засвідчено, що додавання розроблених інтенсифікаторів підвищує максимальні питомі показники виробництва метану, а також скорочує час затримки, зменшує накопичення ВЖК, стимулює швидке відновлення після низького рівня рН.

2. Методами балансових схем та релевантних таблиць досліджено життєвий цикл продукції готельно-ресторанного комплексу на усіх етапах виробництва та функціонування закладу, що дозволяє оцінити негативний вплив на компоненти довкілля по вузько направленим критеріям кожного окремого етапу. Визначено основні чинники негативного впливу, а саме: CO₂, паливно-енергетичні та водні ресурси, забруднення атмосфери парниковими газами, пилом, навантаження на літосферу та накопичення відходів. Останній чинник оцінено як такий, що відноситься до значного впливу. Ідентифіковано істотні екологічні аспекти готельно-ресторанного комплексу, а саме: стічні води, відходи виробництва, паливно-мастильні матеріали тощо. Результатом оцінки екологічних аспектів є запропонована програма природоохоронних та ресурсозбережених заходів направлених на зниження негативного впливу на довкілля.

3. Визначено біополімерний та гранулометричний склад сировини та зразків біочарів, отриманих піролізом та мікрохвильовим опроміненням, показано, що зі збільшенням температури піролізу збільшується доля лігніну та золи. У біополімерному складі біочару, який отримано з використанням мікрохвильового опромінення, зростає також доля целюлози. Найбільшим вмістом (від 81,0 до 83,5 % мас.) у карбонізатах після подрібнення характеризується фракція частинок із розміром $<0,1$ мм, що характерно для всіх зразків біочарів.

4. Показано, що питома поверхня біочарів значно більша, ніж питома поверхня сировини, що вказує на доцільність вибраних методів модифікації сировини з метою збільшення її функціональних властивостей. Збільшення температури піролізу супроводжується збільшенням питомої поверхні пор, однак найкращі показники розвиненої поверхні біочарів спостерігаються для зразка біочару, отриманого з використанням мікрохвильового піролізу.

5. Встановлено, що дослідження взаємодії іонів свинцю із рослинною сировиною та її модифікованими формами свідчать про те, що сорбція модифікованими формами значно вища, ніж рослинною сировиною, ймовірно, завдяки відмінностям у хімічному складі, властивостях поверхні та ін. Зіставлення даних сорбції іонів свинцю модифікованими формами (біочарами) дозволяє зробити висновки про значний вплив методу отримання на величину сорбції. Температура піролізу біочару надає сприятливий вплив на сорбційні властивості зразків, зі збільшенням температури збільшуються сорбційні властивості. Результати визначення швидкості сорбції іонів свинцю сировиною та біочарами свідчить, що швидкість сорбції іонів свинцю зростає при збільшенні температури піролізу. Найвища швидкість сорбції іонів свинцю спостерігається для біочару, отриманого при використанні мікрохвильового опромінення. Порівнюючи сорбційну здатність біочарів, виходячи зі значень констант сорбційної здатності am можна зробити висновок про те, що на поверхні біочар-МХ є велика кількість сорбційних центрів, здатних взаємодіяти з іонами свинцю. Біочар-МХ утворює також

міцні зв'язки з іонами свинцю. Результати експериментальних досліджень щодо впливу концентрації іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами свідчать, що максимальні значення сорбції спостерігаються за умов дослідження при початковій концентрації іонів свинцю 1,00 мг/мл. Виходячи з даних щодо впливу тривалості інкубації біочарів у розчинах іонів свинцю на величину їх сорбції біочарами, можна зробити висновок, що максимальні значення сорбції спостерігаються через 2,5...3 години інкубації. Величина сорбції іонів свинцю препаратом біочар-300 становить 40,7% після 3-х годин їх спільної інкубації. Збільшення часу взаємодії не призводить до суттєвого зростання ступеня сорбції іонів свинцю рослинною сировиною та її модифікованими формами. Окрім можливості використовувати отриманий біочар з відпрацьованої кавової гущі в якості інтенсифікатора при процесі анаеробного зброджування, враховуючи отримані результати сорбції (до 30%), доцільним є використання біочарів, як самостійних сорбентів.

6. Встановлено характер кривих потенціометричного титрування біочарів, який визначається адитивним внеском усіх іонізованих груп біочару і дає змогу віднести досліджувані продукти до категорії іонообмінників поліфункціонального типу. Значення максимальної катіонообмінної ємності сировини та біочарів свідчать про те, що біочари мають менш виражену схильність до обміну катіонів, ніж сировина, катіонообмінна ємність якої перебуває переважно в інтервалі 1...3 мекв/г. Діапазон змін цього показника біочару вузький і лежить в області низьких значень – 0,89...1,15 мекв/г. Слід вважати, що меншому значенню катіонообмінної ємності біочару відповідає їхній менший вплив на мінеральний баланс мікроорганізмів під час анаеробного зброджування. Величини рНа кислотних угруповань біочару лежать в інтервалі 7,1...10,7, що характеризує їх як слабкокислотні угруповання.

7. Функціонуючи при рН 7...8 як слабка кислота, біочари можуть сприяти зміні рН в кислу сторону, зв'язувати амоніак, який, згідно з деякими гіпотезами, може бути одним з факторів, що сприяють зміні рН в процесах

анаеробного зброджування. Виходячи з цих даних, можна вважати, що найбільш активно на величину рН буде впливати біочар-MX і біочар-300. Приріст величини рН при контакті з сировиною дещо вище, найменш виражений біочар-500. Володіючи властивостями амфолітів, біочари в процесі анаеробного зброджування не тільки виконують роль акцепторів іонів металів, але і функціонують в якості м'якого регулятора величини рН. В біочарі-300 кислотні властивості визначаються наявністю рКа 9,6...10,7 – найімовірніше фенольних гідроксилів. У сировині приблизно така сама кількість груп із близьким значенням рКа, хоча ця сировина характеризується значно більшим вмістом компонента поліфенольної природи. Са²⁺ зв'язується біочаром-500 гірше, ніж біочаром-300 і біочаром, що отримано з використанням мікрохвильового опромінення. Ймовірно, це пов'язано зі значно меншою наявністю в біочарі-500 фенольних речовин. Зв'язування іонів свинцю вище й не дивлячись на те, що за величиною воно менше такого у біочару-500, що призначене для виведення іонів важких металів, при оцінці сорбційної здатності біочару треба враховувати і цей фактор. Величина аніонообмінної ємності біочару знаходиться в діапазоні значень 0.7...1.2 мекв/г. Виключення становить біочар-500, який має дуже низькі значення цього показника, що обумовлено, ймовірно, незначним вмістом білку в зразку. Кількість груп, що тестувалися, що мають здатність до обміну аніонів, коливається від 0,1 (біочар-500) до 1,2 (біочар-MX). Групи з найбільшими величинами значень рКа в ряду біочара, що досліджувалися, виявлені в біочарі-500 (рК 7,5), біочарі-MX (рК – 7,3) і в біочарі-300 (рКb 7,0). Інші аніонообмінні групи мають рКb від 4,9 до 6,3, що характеризує їх як слабкоосновні. В лужному середовищі іонообмінна здатність більшості біочарів проявляється сильніше, ніж в кислотному. Всі біочари достатньо інтенсивно впливають на величину рН; її максимальну зміну викликає біочар-MX.

8. За результатами спектрального аналізу біочарів та сировини спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при 3400 см⁻¹, яка зміщена в низькочастотну область в порівнянні з частотою

вільних груп $\text{OH}-$, що свідчить про участь гідроксилів в системі водневих зв'язків. Відсутність смуги поглинання при 3650 см^{-1} вказує, що практично всі гідроксильні групи включені в водневий зв'язок. Диференційний ІЧ-спектр порівняння сировини та біочару-300 характеризується інтенсивнішим поглинанням в області $670...1225 \text{ см}^{-1}$ для сировини, що обумовлено присутністю аміно-груп білкової молекули. Зменшення ВВОЩ для біочару-300 в цій області може пояснюватися руйнуванням білкових речовин при піролізі. Диференційна крива порівняння ВВОЩ зразків характеризується зменшенням інтенсивності поглинання сировини в області 3400 см^{-1} , яка відповідає валентним коливанням вільної групи $\text{OH}-$, що свідчить про посилення водневих зв'язків в біочарі.

9. Встановлено в температурній області $197 - 350^\circ\text{C}$ наявність відмінності втрати маси, що каже про різний хімічний склад зразків, а саме в біочарі-300 та біочарі-500 підтверджується присутність в них меншої кількості термічно нестійких компонентів порівняно з сировиною та біочаром отриманим мікрохвильовим опроміненням. Поява на спектрах біочарів стрімких екзотермічних ефектів на кривих ДТА в області температур $197 - 350^\circ\text{C}$ вказує на наявність меншої кількості компонентів, здатних до термоокислення. В біочарах наявні більш термічно стійкі компоненти, які спостерігалися при збільшенні втрати маси зразків при деструкції та горінні піролітичних залишків, що супроводжувалось стрімкими езотермічними ефектами на кривих ДТА.

10. Показано, що при обробці біологічним вугіллям були досягнуті як вищі максимальні питомі показники виробництва метану, так і скорочення часу затримки. Біологічне вугілля значно покращило виробництво метану в процесі термофільного анаеробного зброджування харчових відходів, зменшуючи накопичення ВЖК, швидко відновлюючись після низького рівня рН. Зі збільшенням кількості біопалива з 0 до 15 г л^{-1} кумулятивне виробництво метану в термофільних умовах зросло з $296,7 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$ до $476,1 \text{ мл г}^{-1} \text{ ЛР}$, тоді як час зброджування скоротився з 22 днів до 14 днів.

Скорочення часу зброджування на 13,6-36,6% означає, що реактор може переробляти на 20% більше рідких та твердих харчових відходів, що дозволяє заощадити значні кошти. При подальшій оптимізації експлуатаційних параметрів, таких як попередня обробка і підвищена швидкість завантаження біомаси, можна генерувати набагато більше метану, що значно збільшить рентабельність.

11. Термофільне анаеробне зброджування з вищим ступенем гідролізу було схильне до нестабільності через накопичення ВЖК і падіння рН. Біовугілля з відпрацьованого кавового шламу ефективно стимулює споживання ЛЖК і збільшує виробництво метану, особливо в термофільних умовах. рН, температура і ЛЖК були важливими факторами, які вказували на те, що збільшення швидкості процесу анаеробного зброджування призводить до кращої продуктивності в термофільному зброджуванні за допомогою біопалива. Визначено, що при використанні біочару в якості інтенсифікатора для процесу анаеробного зброджування збільшується вихід біогазу та прискорюється час процесу.

12. Розроблено технологічні схеми процесів отримання біочару та біогазу та визначено ефективність використання біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу шляхом анаеробного зброджування з додаванням біочару за рядом показників та при різних температурних режимах. Мікрохвильове опромінення відпрацьованої кавової гущі є більш економічно вигідним, ніж традиційний термічний піроліз. Термофільний режим анаеробного зброджування вимагає більше ресурсів, наприклад, споживання електроенергії, що робить його економічно не вигідним, ніж мезофільний режим.

13. Економічна ефективність переробки харчових відходів ГРК шляхом анаеробного зброджування з використанням біочару розраховувалась з урахуванням кількості ХВ рослинного походження закладу за 1 робочий день. Термін окупності проекту даного дослідження склав 2,3 роки. Зважаючи, що в умовах сучасних економічних реалій максимальний прийнятий термін

окупності складає 5 років , то можна вважати розроблений проект економічно привабливим та ефективним. Усі показники інвестиційної привабливості проекту свідчать про те, що проект доцільно використовувати для впровадження на підприємствах готельно-ресторанного господарства. Апробацію розробленої технології проведено на підприємстві ТОВ Кафе-бар «РіО» (готельно-ресторанний комплекс). З отриманих результатів досліджень слідує, що біочар та біогаз, отримані у виробничих умовах, відповідають нормативно-технічній документації, що свідчить про ефективність розробленої біотехнології та доцільність і можливість подальшого використання продуктів з доданою вартістю в циклі роботи закладу ГРК та для продажу іншим підприємствам та приватним господарствам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Björner Brauer, H., Hasselqvist, H., Håkansson, M., Willermark, S., Hiller, C. (2024). Re-configuring practices in times of energy crisis – A case study of Swedish households. *Energy Research & Social Science*, Volume 114, August 2024, 103578. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103578>
- [2] Програма соціально-економічного та культурного розвитку Одеської області на 2024 рік. Одеська обласна державна (військова) адміністрація. URL: <https://oda.od.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/proyekt-pser-odeskoyi-oblasti-na-2024-rik.pdf>
- [3] Hoffart, F.M. D'Orazio, P. Holz, F. Kemfert C. (2024). Exploring the interdependence of climate, finance, energy, and geopolitics: A conceptual framework for systemic risks amidst multiple crises. *Applied Energy*, Volume 361, 1, 122885. [DOI:10.1016/j.apenergy.2024.122885](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122885)
- [4] Кугук, Н. (2022). Результати дослідження морфологічного складу твердих побутових відходів у ОСББ Львова. *Zero Waste Lviv*. URL: <https://zerowastelviv.org.ua/rezultaty-doslidzhennya-morfologichnogo-skladu-tverdyh-pobutovyh-vidhodiv-u-osbb-lvova/>
- [5] Вереньова, Д. Ресторанний бізнес під час війни: де найбільш інтенсивно відкриваються нові заклади. 24 Бізнес. URL: https://24tv.ua/business/restoranniy-biznes-pid-chas-viyni-vidkrittya-restorani-ukrayini_n2151721
- [6] Chhandama, M.V.L. et al. (2022). Valorisation of food waste to sustainable energy and other value-added products: a review. *Bioresour. Technol. Reports* <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100945>
- [7] Li, C. et al. (2022). A systematic review of food loss and waste in China: Quantity, impacts and mediators. *J. Environ. Manage.* 303 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114092>
- [8] Pramanik, S.K., et al. (2019). The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresour. Technol. Reports*, 8 <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100310>
- [9] Slorach, P. C., Jeswani, H. K., Cuéllar-Franca, R., Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability in the food-energy-water-health nexus: A new methodology and an application to food waste in a circular economy. *Waste Management*, 113 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.012>
- [10] Elgarahy, A. M., Eloffy, M. G., Alengebawy, A., El-Sherif, D. M., Gaballah, M. S., Elwakeel, K. Z., El-Qelish, M. (2023). Sustainable management of food waste; pre-treatment strategies, techno-economic assessment, bibliometric analysis, and potential utilizations: A systematic review. *Environmental Research*. 225, 115558 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115558>
- [11] Kumar, S. D. et al. (2022). Efficiency of microbial fuel cells in the treatment and energy recovery from food wastes: trends and applications - a review. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132439>

- [12] Sharma, P. et al. (2021). Sustainable processing of food waste for production of bio-based products for circular bioeconomy. *Bioresour. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124684>
- [13] Lan, T., Dong, Y., Jiang, L., Zhang, Y., Sui, X. (2024). Analytical approaches for assessing protein structure in protein-rich food: A comprehensive review. *Food Chemistry: X.* 22, 30 101365. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101365>
- [14] da Silva Oliveira, W., Shepelev, I., Dias, F. F. G, Reineccius, G. A. (2024). Advances in sample preparation for volatile profiling of plant proteins: Fundamentals and future perspectives. *Advances in Sample Preparation.* 10, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2024.100111>
- [15] Chernov, N.K., Krusir, G.V., Kovalenko, O.V. (2010). Biocorrectors of digestive processes. Monograph. Odesa, 236.
- [16] Singhanian, R.R., et al. (2022). Consolidated bioprocessing of lignocellulosic biomass: Technological advances and challenges. *Bioresour. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127153>
- [17] Singhanian, R.R., et al. (2022). Bioresource technology for bioenergy, bioproducts & environmental sustainability. *Bioresour. Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126736>
- [18] Prajapati, P. et al. (2021). Critical review on technological advancements for effective waste management of municipal solid waste — Updates and way forward. *Environ. Technol. Innovation.* <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101749>
- [19] McAdams, B., von Massow, M., Gallant, M., Hayhoe, M.-A. (2019). A cross industry evaluation of food waste in restaurants, *Journal of Foodservice Business Research*, 22:5, 449-466, DOI: 10.1080/15378020.2019.1637220
- [20] Blum, David, Db., (2020). Ways to Reduce Restaurant Industry Food Waste Costs. *The International Journal on Media Management.* 1-12. 10.5590/IJMAT.2020.19.1.01.
- [21] Saber, D., Silka, L. (2020). Food Waste as a Classic Problem that Calls for Interdisciplinary Solutions: A Case Study Illustration: Food Waste as a Classic Problem. *Journal of Social Issues.* 76, 10.1111/josi.12372.
- [22] Poornima, S., Dadi, M., Subash, S., Manikandan, S., Karthik, V., Deena, S. R., Balachandar, R., Kumaran, S. K. N., Subbaiya, R. (2024). Review on advances in toxic pollutants remediation by solid waste composting and vermicomposting. *Scientific African.* 23, e02100. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02100>
- [23] Ebrahimi, M., Gholipour, S., Mostafaii, G., Yousefian, F. (2024). Biochar-amended food waste compost: A review of properties. *Results in Engineering.* 24, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103118>
- [24] Lai, J. C., Then, Y. L., Hwang, S. S., . Lee, C. S. (2024). Optimal aeration management strategy for a small-scale food waste composting. *Carbon Resources Conversion.* 7, (1), 100190. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.06.002>

- [25] Liu, W., Rast, S., Wang, X., Lan, S. L., Owusu-Fordjour, E. Y., Yang, X. (2024). Enhanced removal of Fe, Cu, Ni, Pb, and Zn from acid mine drainage using food waste compost and its mechanisms. *Green and Smart Mining Engineering*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.09.002>
- [26] Mongchu, C., Iwai, C. B., Noller, B. N. (2024). Enhancing the potential of *Eisenia foetida* and *Eudrillus eugeniae* species and their valorization in tannery leather industry sludge management via vermicomposting with bamboo biochar amendment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 10, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100986>
- [27] Quan, J., Wang, Y., Wang, Y., Li, C., Yuan, Z. (2024). An efficient strategy to promote food waste composting by adding black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae during the compost maturation phase. *Resources, Environment and Sustainability*. 18, 100180. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2024.100180>
- [28] Xu, F., Li, Y., Ge, X., Yang, L., Li, Y. (2018). Anaerobic digestion of food waste – challenges and opportunities. *Bioresour. Technol.* 247, 1047–1058. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.020>.
- [29] Wang, L., Shen, F., Yuan, H., Zou, D., Liu, Y., Zhu, B., Li, X., (2014). Anaerobic co-digestion of kitchen waste and fruit/vegetable waste: lab-scale and pilot-scale studies. *Waste Manag.* 34, 2627–2633. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.005>.
- [30] Yong, Z., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T., (2015). Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renew. Energy* 78, 527–530. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.033>.
- [31] Elsamadony, M., Mostafa, A., Fujii, M., Tawfik, A., Pant, D., (2021). Advances towards understanding long chain fatty acids-induced inhibition and overcoming strategies for efficient anaerobic digestion process. *Water Res.* 190, 116732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116732>
- [32] Bong, C.P.C., Lim, L.Y., Lee, C.T., Klemešs, J.J., Ho, C.S., Ho, W.S., (2018). The characterisation and treatment of food waste for improvement of biogas production during anaerobic digestion – a review. *J. Clean. Prod.* 172, 1545–1558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.199>.
- [33] Nayak, A., Bhushan, B., (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *J. Environ. Manag.* 233, 352–370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.041>.
- [34] Mehariya, S., Patel, A.K., Obulisamy, P.K., Punniyakotti, E., Wong, J.W.C., (2018). Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: current status and perspective. *Bioresour. Technol.* 265, 519–531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030>.
- [35] Ye, M., Liu, J., Ma, C., Li, Y.Y., Zou, L., Qian, G., Xu, Z.P., (2018). Improving the stability and efficiency of anaerobic digestion of food waste using additives: a critical review. *J. Clean. Prod.* 192, 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.244>.

- [36] Chhandama, M.V.L. et al. (2022). Valorisation of food waste to sustainable energy and other value-added products: a review. *Bioresour. Technol.* 17, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100945>
- [37] Li, Y., Ni, J., Cheng, H., Zhu, A., Guo, G., Qin, Y., Li, Y.Y., (2021). Methanogenic performance and microbial community during thermophilic digestion of food waste and sewage sludge in a high-solid anaerobic membrane bioreactor. *Bioresour. Technol.* 342, 125938. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125938>.
- [38] Masebinu, S.O., Akinlabi, E.T., Muzenda, E., Aboyade, A.O., Mbohwa, C., (2018). Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market. *Waste Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.011>.
- [39] Pramanik, S.K., Suja, F.B., Zain, S.M., Pramanik, B.K., (2019). The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: prospects and constraints. *Bioresour. Technol. Rep.* 8, 100310 <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100310>.
- [40] Rajagopal, R., Choudhury, M.R., Anwar, N., Goyette, B., Rahaman, M.S., 2019. Influence of pre-hydrolysis on sewage treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge BLANKET (UASB) reactor: a review. *Water (Switzerland)* 11, 3–7. <https://doi.org/10.3390/w11020372>.
- [41] Caruso, M.C., Braghieri, A., Capece, A., Napolitano, F., Romano, P., Galgano, F., Altieri, G., Genovese, F., (2019). Recent updates on the use of agro-food waste for biogas production. *Appl. Sci.* 9, 1217. <https://doi.org/10.3390/app9061217>.
- [42] Pasalari, H., Gholami, M., Rezaee, A., Esrafil, A., Farzadkia, M., (2021). Perspectives on microbial community in anaerobic digestion with emphasis on environmental parameters: a systematic review. *Chemosphere*, 270, 128618. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128618>.
- [43] Negri, C., Ricci, M., Zilio, M., D'Imporzano, G., Qiao, W., Dong, R., Adani, F., 2020. Anaerobic digestion of food waste for bio-energy production in China and Southeast Asia: a review. *Sustain. Energy Rev.* 133, 110138 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110138>.
- [44] Cayetano, R.D.A., Kim, G., Park, J., Lee, M., Kim, S., (2021). Anaerobic digestion of waste activated sludge using dynamic membrane at varying substrate concentration reveals new insight towards methanogenic pathway and biofilm formation. *Chem. Eng. J.* 423, 130249. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130249>.
- [45] Singh, S., Vishakha, K., Shivani, S., Nisha, L. (2014). Waste Management in Restaurants: A Review. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*. 2, 14-24.
- [46] Dauber, S. Einflußfaktoren auf die anaeroben biologischen Abbauvorgänge. [book auth.]
- [47] Xu, F., Li, Y., Ge, X., Yang, L., Li, Y., (2018). Anaerobic digestion of food waste – challenges and opportunities. *Bioresour. Technol.* 247, 1047–1058. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.020>.

- [48] Wang, L., Shen, F., Yuan, H., Zou, D., Liu, Y., Zhu, B., Li, X., (2014). Anaerobic co-digestion of kitchen waste and fruit/vegetable waste: lab-scale and pilot-scale studies. *Waste Manag.* 34, 2627–2633. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.005>.
- [49] Yong, Z., Dong, Y., Zhang, X., Tan, T., (2015). Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renew. Energy*, 78, 527–530. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.033>.
- [50] Elsamadony, M., Mostafa, A., Fujii, M., Tawfik, A., Pant, D., (2021). Advances towards understanding long chain fatty acids-induced inhibition and overcoming strategies for efficient anaerobic digestion process. *Water Res.* 190, 116732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116732>
- [51] Li, G., Zhu, Q., Niu, Q., Meng, Q., Yan, H., Wang, S., Li, Q., (2021). The degradation of organic matter coupled with the functional characteristics of microbial community during composting with different surfactants. *Bioresour. Technol.* 321, 124446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124446>
- [52] Wandera, S.M., Qiao, W., Jiang, M., Gapani, D.E., Bi, S., Dong, R., (2018). AnMBR as alternative to conventional CSTR to achieve efficient methane production from thermal hydrolyzed sludge at short HRTs. *Energy*, 159, 588–598. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.201>.
- [53] Li, Y., Ni, J., Cheng, H., Zhu, A., Guo, G., Qin, Y., Li, Y.Y., (2021). Methanogenic performance and microbial community during thermophilic digestion of food waste and sewage sludge in a high-solid anaerobic membrane bioreactor. *Bioresour. Technol.* 342, 125938. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125938>.
- [54] Li, Y., Cheng, H., Guo, G., Zhang, T., Qin, Y., Li, Y.-Y., (2020). High solid mono-digestion and co-digestion performance of food waste and sewage sludge by a thermophilic anaerobic membrane bioreactor. *Bioresour. Technol.* 310, 123433. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123433>.
- [55] Chen, G., Wu, W., Xu, J., Wang, Z., (2021). An anaerobic dynamic membrane bioreactor for enhancing sludge digestion: impact of solids retention time on digestion efficacy. *Bioresour. Technol.* 329, 124864. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124864>.
- [56] Amha, Y.M., Corbett, M., Smith, A.L., (2019). Two-phase improves performance of anaerobic membrane bioreactor treatment of food waste at high organic loading rates. *Environ. Sci. Technol.* 53, 9572–9583. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02639>.
- [57] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Woerden, F. V., (2018). What aWaste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. World Bank. *World Bank*, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/30317>.
- [58] Zamri, M.F.M.A., Hasnady, S., Akhiar, A., Ideris, F., Shamsuddin, A.H., Mofijur, M., Fattah, I.M.R., Mahlia, T.M.I., (2021). A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 137, 110637. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110637>.

- [59] Caruso, M.C., Braghieri, A., Capece, A., Napolitano, F., Romano, P., Galgano, F., Altieri, G., Genovese, F., (2019). Recent updates on the use of agro-food waste for biogas production. *Appl. Sci.* 9, 1217. <https://doi.org/10.3390/app9061217>.
- [60] Parralejo, A.I., Royano, L., Gonz'alez, J., Gonz'alez, J.F., (2019). Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues. *Ind. Crop. Prod.* 131, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.059>.
- [61] Yazgın, O., Gundogdu, T.K., (2020). Production of biogas and astaxanthin from fruit and vegetable wastes using an integrated system. *Int. J. Second. Metabolite* 7 (1), 35–46. <https://doi.org/10.21448/ijsm.702498>.
- [62] Chen, G., Wu, W., Xu, J., Wang, Z., (2021). An anaerobic dynamic membrane bioreactor for enhancing sludge digestion: impact of solids retention time on digestion efficacy. *Bioresour. Technol.* 329, 124864. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124864>.
- [63] Prajapati, K.B., Singh, R., (2020). Enhancement of biogas production in bioelectrochemical digester from agricultural waste mixed with wastewater. *Renew. Energy*, 146, 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.154>.
- [64] Lindenblatt, Claus, et al. (2007). Kap. 1.6: Umweltauswirkungen. [Buchverf.] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). *Biogashandbuch Bayern: Materialienband. Augsburg*, 17.
- [65] Vinardell, S., Astals, S., Koch, K., Mata-Alvarez, J., Dosta, J., (2021). Co-digestion of sewage sludge and food waste in a wastewater treatment plant based on mainstream anaerobic membrane bioreactor technology: a techno-economic evaluation. *Bioresour. Technol.* 330, 124978. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124978>.
- [66] Xing, B.S., Han, Y., Wang, X.C., Ma, J., Cao, S., Li, Q., Wen, J., Yuan, H., 2020. Cow manure as additive to a DMBR for stable and high-rate digestion of food waste: performance and microbial community. *Water Res.* 168, 115099. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115099>.
- [67] Wu, Z., Liu, Y., Yao, J., Zheng, X., Wandera, S.M., Dong, R., Li, Y.Y., Qiao, W., (2021). The materials flow and membrane filtration performance in treating the organic fraction of municipal solid waste leachate by a high solid type of submerged anaerobic membrane bioreactor. *Bioresour. Technol.* 329, 124927. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124927>.
- [68] Prajapati, K.B., Singh, R., (2020). Enhancement of biogas production in bioelectrochemical digester from agricultural waste mixed with wastewater. *Renew. Energy* 146, 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.154>.
- [69] Önen, S.; Kuchta, K. (2020). Evaluation of temperature changes in anaerobic digestion process. *Detritus.* 10, 11–18. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13911>
- [70] Önen, S., Nsair, A., Kuchta, K. (2019). Innovative operational strategies for biogas plant including temperature and stirring management. *Waste Manag. Res.* 37, 237–246. <https://doi.org/10.1177/0734242X18816800>

- [71] Nsair, A., Cinar, S.Ö., Qdais, H.A., Kuchta, K. (2019). Optimizing the performance of a large scale biogas plant by controlling stirring process: A case study. *Energy Convers. Manag.* 198, 111931. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111931>
- [72] Deepanraj, B., Sivasubramanian, V., Jayaraj, S. (2017). Effect of substrate pretreatment on biogas production through anaerobic digestion of food waste. *Int. J. Hydrogen Energy*, 42, 26522–26528. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.178>
- [73] Cinar, S.Ö., Cinar, S., Kuchta, K. (2022). Machine Learning Algorithms for Temperature Management in the Anaerobic Digestion Process. *Fermentation*. 8, 65. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020065>
- [74] Cinar, S., Cinar, S.O., Wieczorek, N., Sohoo, I., Kuchta, K. (2021). Integration of artificial intelligence into biogas plant operation. *Processes*, 9, 85. <https://doi.org/10.3390/pr9010085>
- [75] Cinar, S., Cinar, S.Ö., Ng, S.M., Kuchta, K. (2022). Analysis Phase of Lean Six Sigma Methodology with Scaled-Down Laboratory Experiments for an Industrial-Scale *Biogas Plant. Designs*, 6, 50. <https://doi.org/10.3390/designs6030050>
- [76] Johannesson, G. H., Crolla, A., Lauzon, J. D., Gilroyed, B. H. Estimation of biogas co-production potential from liquid dairy manure, dissolved air flotation waste (DAF) and dry poultry manure using biochemical methane potential (BMP) assay. *Biocatal Agric Biotechnol* 25, 101605. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101605>.
- [77] Potdukhe, RM, Sahu, N, Kapley, A, Kumar, R. Bioresource Technology Reports Co-digestion of waste activated sludge and agricultural straw waste for enhanced biogas production. *Biores Technol Rep*, 15, 100769. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100769>.
- [78] Masebinu, S.O., Akinlabi, E.T., Muzenda, E., Aboyade, A.O., Mbohwa, C. (2018). Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market. *Waste Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.011>.
- [79] Alagöz, A. B., Yenigün, O., Erdinçler, A. (2018). Ultrasound assisted biogas production from co-digestion of wastewater sludges and agricultural wastes: comparison with microwave pre-treatment. *Ultrason. Sonochem.* 40, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.05.014>.
- [80] Masebinu, S.O., Akinlabi, E.T., Muzenda, E., Aboyade, A.O., Mbohwa, C., (2018). Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market. *Waste Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.011>.
- [81] Parralejo, A.I., Royano, L., Gonz'alez, J., Gonz'alez, J.F., 2019. Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues. *Ind. Crop. Prod.* 131, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.059>.
- [82] Halдар, D., Shabbirahmed, A.M., Singhanian, R.R., Chen, C.-W., Dong, C.-D., Ponnusamy, V.K., Patel, A.K. (2022). Understanding the management of

household food waste and its engineering for sustainable valorization- a state-of-the-art review. *Bioresour. Technol.*, 358, 127390, 10.1016/J.BIORTECH.2022.127390 (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127390>)

[83] Kumar, M., Dutta, S., You, S., Luo, G., Zhang, S., Show, P.L., Sawarkar, A.D., Singh, L., Tsang, D.C.W., (2021). A critical review on biochar for enhancing biogas production from anaerobic digestion of food waste and sludge. *J. Clean. Prod.* 305, 127143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127143/>

[84] Srivastava, A.N. et al. (2022). Bioavailability reduction of heavy metals through dual mode anaerobic Co-landfilling of municipal solid waste and industrial organic sludge. *Chem. Eng. J.*, 439, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135725>

[85] Ren, Y., et al. (2022). A review on settlement models of municipal solid waste landfills. *Waste Manag.*, 149, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.019>

[86] Ma, S., et al. (2022). Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: characteristics, influential factors and environmental risks. *J. Clean. Prod.*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130234>

[87] International Coffee Organization, (2023). Coffee report and outlook. (Accessed December 2023). <https://www.ico.org/>. <https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/>

[88] Su, C., Tao, A., Zhao, L., Wang, P., Wang, A., Huang, X., Chen, M. (2021). Roles of modified biochar in the performance, sludge characteristics, and microbial community features of anaerobic reactor for treatment food waste. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144668>

[89] Yaashikaa, P.R., Senthil, K.P., Varjani, S., Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnol. Rep.* <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>

[90] Jiang, Q., Chen, Y., Yu, S., Zhu, R., Zhong, C., Zou, H., Gu, L., He, Q., (2020). Effects of citrus peel biochar on anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge and its direct interspecies electron transfer pathway study. *Chem. Eng. J.* 398. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125643>

[91] Chavhan, M. P., Slovák, V., Siddiqi, H., Mucha, M. (2024). Pyrolysis of household coffee vis-à-vis tea waste: A detailed insight into physicochemical properties, kinetics, and thermodynamics study. *Chemical Engineering Journal Advances*, 17, 100587. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.100587>

[92] Pambudi, S., Saechua, W., Jongyingcharoen, J. S. (2024). A thermogravimetric assessment of eco-friendly biochar from oxidative torrefaction of spent coffee grounds: Combustion behavior, kinetic parameters, and potential emissions. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103472. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103472>

[93] Arias, A., Ioannidou, S. M., Giannakis, N., Feijoo, G., Moreira, M. T., Koutinas, A. (2023). Review of potential and prospective strategies for the valorization of coffee grounds within the framework of a sustainable and circular bioeconomy. *Industrial Crops and Products*. 205, (1), 117504. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117504>

- [94] Safarian, S. (2023). Performance analysis of sustainable technologies for biochar production: A comprehensive review. *Energy Reports*, 9, 4574-4593. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.111>
- [95] Fenta, A. A. (2024). State of the art of biochar in Ethiopia. A review. *Heliyon*, 10, (3), 15 e24934. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24934>
- [96] Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D.C., Hou, D. (2018). Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *J. Clean. Prod.*, 174, 977-987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.013>
- [97] Mousa, E., Wang, C., Riesbeck, J., Larsson, M. (2016). Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 65, 1247-1266. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.061>
- [98] Premchand, P., Demichelis, F., Chiaramonti, D., Bensaid, S., Fino, D. (2022). Study on the effects of carbon dioxide atmosphere on the production of biochar derived from slow pyrolysis of organic agro-urban waste. *Waste Management*, 172, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.10.035>
- [99] Morgano, M.T., Bergfeldt, B., Leibold, H., Richter, F., Stapf, D. (2018). Intermediate pyrolysis of agricultural waste: A decentral approach towards circular economy. *Chem. Eng.*, 65 <https://www.researchgate.net/publication/326031776>
- [100] Mohammed, I.Y., Abakr, Y.A., Yusup, S., Kazi, F.K. (2017). Valorization of Napier grass via intermediate pyrolysis: Optimization using response surface methodology and pyrolysis products characterization. *J. Clean. Prod.*, 142, 1848-1866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.099>
- [101] Huang, Y.-F., Chiueh, P.-T., Lo, S.-L. (2016). A review on microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Sustain. Environ. Res.*, 26, 103-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.serj.2016.04.012>
- [102] Liew, R.K., Nam, W.L., Chong, M.Y., Phang, X.Y., Su, M.H., Yek, P.N.Y., Ma, N.L., Cheng, C.K., Chong, C.T., Lam, S.S. (2018). Oil palm waste: An abundant and promising feedstock for microwave pyrolysis conversion into good quality biochar with potential multi-applications. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.005>
- [103] Wallace, C.A., Afzal, M.T., Saha, G.C. (2019). Effect of feedstock and microwave pyrolysis temperature on physio-chemical and nano-scale mechanical properties of biochar. *Bioresour. Bioprocess.*, 6, 1-11. <https://scholar.google.com/scholar>
- [104] Huang, Y.-F., Chiueh, P.-T., Shih, C.-H., Lo, S.-L., Sun, L., Zhong, Y., Qiu, C. (2015). Microwave pyrolysis of rice straw to produce biochar as an adsorbent for CO₂ capture. *Energy*, 84, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.026>
- [105] Kostas, E. T., Durán-Jiménez, G., Shepherd, B.J., Meredith, W., Stevens, L.A., Williams, O.S.A., Lye, G.J., Robinson, J.P. (2020). Microwave pyrolysis of olive pomace for bio-oil and bio-char production. *Chem. Eng. J.*, 387, 123404. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123404>

- [106] Hossain, M.A., Jewaratnam, J., Ganesan, P., Sahu, J., Ramesh, S., Poh, S. (2016). Microwave pyrolysis of oil palm fiber (OPF) for hydrogen production: parametric investigation. *Energy Convers. Manage.*, 115, 232-243. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.058>
- [107] Sahoo, D., Remya, N. (2020). Influence of operating parameters on the microwave pyrolysis of rice husk: biochar yield, energy yield, and property of biochar. *Biomass Convers. Biorefinery*, 1-10. <https://scholar.google.com/scholar>
- [108] Fodah, A.E.M., Ghosal, M.K., Behera, D. (2021). Solar-powered microwave pyrolysis of corn stover for value-added products and process techno-economic assessment. *Int. J. Energy Res.*, 45, 5679-5694. <https://doi.org/10.1002/er.6192>
- [109] Allende, S., Brodie, G., Jacob, M. V. (2023). Breakdown of biomass for energy applications using microwave pyrolysis: A technological review. *Environmental Research*. 226. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115619>
- [110] Neha, S., Remya, N. (2023). Optimization of biochar production from microwave co-pyrolysis of food waste and low-density polyethylene. *Original Article*, 13, 9465–9474, <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-023-03948-w>
- [111] Nyambura, S. M., Li, C., Li, H., Xu, J., Wang, J., Zhu, X., Feng, X., Li, X., Bertrand, G.V., Ndumia, J.N., Chin, B.L.F. (2023). Microwave co-pyrolysis of kitchen food waste and rice straw: Effects of susceptor on thermal, surface, and fuel properties of biochar. *Fuel* 352, 15, 129093. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129093>
- [112] Matrapazi, V.K., Zabaniotou, A. (2020). Experimental and feasibility study of spent coffee grounds upscaling via pyrolysis towards proposing an eco-social innovation circular economy solution. *Science of The Total Environment*. 718, 20, 137316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137316>
- [113] Hassan, A., Ding, W., Aslam, M.A., Bian, Y., Liu, Q., Sheng, Z. (2020). Microwave absorption property of coffee waste bio-carbon modified by industrial waste MnFe_2O_4 particles. *Journal of Materials Research and Technology* 9, (6), 12869-12879. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.015>
- [114] Li, S., Skelly, S. (2023). Physicochemical properties and applications of biochars derived from municipal solid waste: A review. *Environmental Advances*. 13, 100395. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100395>
- [115] Odeyemi, S. O., Iwuozor, K. O., Emenike, E. C., Odeyemi, O. T., Adeniyi, A. G. (2023). Valorization of waste cassava peel into biochar: An alternative to electrically-powered process. *Total Environment Research Themes* 6, <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.10002>
- [116] Awogbemi, O., Vandi Von Kallon D. (2023). Progress in agricultural waste derived biochar as adsorbents for wastewater treatment. *Applied Surface Science Advances* 18, 100518. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100518>
- [117] Sharma, P., Bano, A., Verma, K., Yadav, M., Varjani, S., Singh, S.P., Tong, Y.W. (2023). Food waste digestate as biofertilizer and their direct applications

in agriculture. *Bioresource Technology Reports*, 23, 101515. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101515>

[118] Saravanan, A., Karishma, S., Kumar, P.S., Rangasamy, G. (2023). A review on regeneration of biowaste into bio-products and bioenergy: Life cycle assessment and circular economy. *Fuel*, 338, 15, 127221. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127221>

[119] Parthasarathy, P., Alherbawi, M., Shahbaz, M., Al-Ansari, T., McKay, G. (2023). Developing biochar from potential wastes in Qatar and its revenue potential. *Energy Conversion and Management*: X, 20, 100467. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100467>

[120] Chiappero, M., Norouzi, O., Hu, M., Demichelis, F., Berruti, F., Di Maria, F., Mašek, O., Fiore, S. (2020). Review of biochar role as additive in anaerobic digestion processes. *Re-new. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110037>

[121] Qiu, L., Deng, Y.F., Wang, F., Davaritouchae, M., Yao, Y.Q. (2019). A review on biochar-mediated anaerobic digestion with enhanced methane recovery. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109373>

[122] Kumar, M., Dutta, S., You, S., Luo, G., Zhang, S., Show, P.L., Sawarkar, A.D., Singh, L., Tsang, D.C.W. (2021). A critical review on biochar for enhancing biogas production from anaerobic digestion of food waste and sludge. *J. Clean. Prod.* 305, 127143, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127143/>

[123] Liang, J., Luo, L., Li, D., Varjani, S., Xu, Y., Wong, J.W.C. (2021). Promoting anaerobic codigestion of sewage sludge and food waste with different types of conductive materials: performance, stability, and underlying mechanism. *Bioresour. Technol.* 337, 125384. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125384>

[124] Li, Q., Xu, M., Wang, G., Chen, R., Qiao, W., Wang, X. (2017). Biochar assisted thermo-philic co-digestion of food waste and waste activated sludge under high feedstock to seed sludge ratio in batch experiment. *Bioresour. Technol.* 249, 1009–1016, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.002>

[125] Pan, W., Ouyang, H., Tan, X., Yan, S., Zhang, R., Deng, R., Gu, L., He, Q. (2023). Effects of biochar addition towards the treatment of blackwater in anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR): Comparison among room temperature, mesophilic and thermophilic conditions. *Bioresource Technology*, 374, 128776. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128776>

[126] Krusir, G., Sagdeeva, O., Malovanyy, M., Shunko, H., Gnizdovskyi, O. (2020). Investigation of Enzymatic Degradation of Solid Winemaking Wastes. *J. Ecol. Eng.* 2020; 21(2):72-79. <https://doi.org/10.12911/22998993/116345>

[127] Pillsbury, D. M., Kulchar, G. V., (1934). The use of the hagedorn-jensen method in the determination of skin glucose. *Journal of Biological Chemistry*. 106, (1), 351-356 [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)75485-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)75485-9)

[128] Zhang, M., Song, X., Deines, T.W., Pei, Z.J., Wang, D. (2024). A consistency mapping for the effects on enzymatic hydrolysis sugar yield using two sugar yield definitions in cellulosic biofuel manufacturing. *Renewable Energy*, 62, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.014>

[129] Aoac, C. (2005). Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. Official Methods: Gaithersburg, MD, USA.

[130] Aguirre, J. (2022). The Kjeldahl Method: 140 Years, Guildford, UK. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31458-2>

[131] Jara, P., Schoeninger, V., Dias, L., Siqueira, V., Lourente, E. (2022). Physicochemical quality characteristics of buckwheat flour. *Engenharia Agrícola*. 42, (4). <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n4e20210026/2022>

[132] Ioelovich, M. (2022). Features of water vapor sorption by cellulose materials. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 13(03), 254-263. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.13.3.0233>

[133] Tarighat, M. A., Nabavi, M., Mohammadizadeh, M. R. (2015). Chemometrics-assisted spectrophotometric method for simultaneous determination of Pb^{2+} and Cu^{2+} ions in different foodstuffs, soil and water samples using 2-benzylspiro [isoindoline-1,5'-oxazolidine]-2',3,4'-trione using continuous wavelet transformation and partial least squares – Calculation of pKf of complexes with rank annihilation factor analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 145, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.02.048>

[134] Chernov, N. K., Krusir, G. V. (1992). Acid-base and ion-exchange properties of dietary fibers. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 28(2), 297–303.

[135] Krusir, G., Zakharchuk, V., Sevastyanova, E., Pylypenko, L., Mazurenko, K., (2021). Isolation of lysozyme of Black Sea Mussel *Mutilus galloprovincialis*. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(3), 269-277. <https://doi.org/10.15421/08202803>

[136] Krusir, G., Hugi, Ch., Breitenmoser, L., Sevastyanova, E., Pylypenko, L., Mazurenko, K., (2022). Isolation and characterization of a pancreatic amylase inhibitor. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30 (4), 558-567 doi: 10.15421/jchemtech.v30i4.263201

[137] Hossain, M.S., ul Karim, T., Onik, M.H., Kumar, D., Rahman, M. A., Yousuf, A., Uddin, M.R. (2022). Impact of temperature, inoculum flow pattern, inoculum type, and their ratio on dry anaerobic digestion for biogas production. *Scientific Reports* 12, 6162. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10025-1>

[138] APHA-AWWA-WEF. (2005). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater –APHA, AWWA & WEF-. 21th. Washington D.C.: American Public Health Association/American Water Works Association / *Water Environment Federation*.

[139] Krusir, G., Sagdeeva, O., Malovanyy, M., Shunko, H., Gnizdovskyi, O. (2020). Investigation of Enzymatic Degradation of Solid Winemaking Wastes. *J. Ecol. Eng*; 21(2):72–79. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/116345>

[140] Крусір, Г.В., Кондратенко, І.П. (2013). Організація екологічного контролю підприємства експертним методом / Г.В. Крусір, // Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції «Економічні та управлінські аспекти розвитку підприємств в харчовій промисловості». – Одеса, ОНАХТ, 212–213.

[141] Шмандий, В.М., Старовойда, А.Л. (2002) Otsenka tekhnohennoi opasnosti, formuруємої промисленому підприємству. // *Вісник КДПУ: Наукові праці КДПУ*. 2 (13), 77-80.

[142] Козуля, Т.В., Шаронова, Н.В., Ємельянова, Д.І., Козуля, М.М. (2012). Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем. *Проблеми інформаційних технологій*. 01, (011), 37-45.

[143] Лисиченко, Г.В., Забулонов, Ю. Л., Хміль, Г. А. (2008). Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління *Наук. Думка*. 543.

[144] Campos, C., Gallego, M., Villanueva, P., Laso, J., Dias, A. C., Quinteiro, P., Oliveira, S., Albertí, J., Fullana-i-Palmer, P., Mélon, L., Szadovski, I., Roca, M., Xifré, R., Margallo, M., Aldaco, R. (2023). Life cycle assessment to address the environmental impacts of tourism in a Spanish tourist destination: The case of Rias Baixas (Galicia) holidays. *Science of The Total Environment*. 896, 166242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166242>

[145] Kaman, G. S., Bozkurt, İ., Bölükbaş, R., Özhasar, Y., Demirci, B., Yazicioğlu, İ. (2024). The strategy food waste in restaurants: A systematic literature review. *Trends in Food Science & Technology*. 151, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104625>

[146] Vilà, D. M., Crespo Sánchez, E. (2025). 15 - From cost-optimal to multi-objective methodology for sustainable deep renovation: Toward sustainable construction for deep renovation: A comprehensive analysis of the transition to a holistic methodology. *Cost-Effective Energy-Efficient Methods for Refurbishment and Retrofitting of Buildings Materials, Technologies, Optimization, and Case Studies* Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 361-395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23974-8.00001-5>

[147] Casals Miralles, C., Barioni, D., Mancini, M. S., Jordà, J. C., Roura, M. B., Ponsá Salas, S., Argelaguet, L. L., Galli, A. (2023). The Footprint of tourism: a review of Water, Carbon, and Ecological Footprint applications to the tourism sector. *Journal of Cleaner Production*. 422, 138568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138568>

[148] Статюха, Г.О., Бойко, Т.В., Бендюг, В.І. (2003). Розробка методики оцінки небезпечних видів діяльності промислових підприємств *Екологія і ресурси*, 7, 46-54.

[149] Solanilla-Duque, J. F., Morales-Velasco, S., del Rosario Salazar-Sánchez, M. (2024). Assessment of HACCP plans and Colombian regulations in municipal cattle slaughterhouses for the assurance of standardised food safety and quality management systems. *Heliyon*. 10, (24), e40944. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40944>

[150] Сагдєєва, О.А., Крусір, Г.В., Цикало, А.Л. Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів. *Екологічна безпека*. 1/2018, (25), 75-83. DOI: 10.30929/2073-5057.2018.1.75-83

[151] Buendía Azorín, J. D., Martínez Alpañez, R., del Mar Sánchez de la Vega, M. (2025). The vulnerability of regional agriculture regarding irrigation water from the Tagus-Segura transfer. *Agricultural Water Management*. 309, (31), 109332. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109332>

[152] Статюха, Г.О., Бойко, Т.В., Бендюг, В.І. (2003) Розробка методики оцінки небезпечних видів діяльності промислових підприємств. *Екологія і ресурси*. 7, 46-54.

[153] Franco, T., Zorzal-Almeida, S., Sá, F., Bianchini, A., Dergam, J. A., Eskinazi-Sant'anna, E. M., Albino, J., Vieira, L. S., Magioni Santos, L. G., Lage Ribeiro, A. P., Bastos, A. C. (2024). *Ex-post* impact assessment on a large environmental disaster. *Environmental Challenges*. 15, 100889. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100889>

[154] Бойко, Т.В., Бендюг, В.І., Комариста, Б.М. (2012). Оцінка ризику промислового підприємства на стадії проектування в рамках стратегії сталого розвитку. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2, 14 (56), 13–17.

[155] Sokolova, T., Krusir, G., Shunko, H., Korkach, H., Makarova, O., Tolstykh, V., Sokolova, V. (2024). Preparation and study of acid-base and ion-exchange properties of biochar from waste coffee grounds. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(11), 399–409. <https://doi.org/10.12912/27197050/193052>

[156] Krusir, G., Pylypenko, L., Sevastyanova, E., Mazurenko, K., Moshtakov, S., Shunko, H., Vitiuk, A., Shpyrko, T., Zdoryk, O. (2023). Isolation and characterization of pancreatic lipase inhibitor from rapeseed seeds. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31 (2), 255-270 <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.279214>

[157] Yalchko, V., Kochubey, V., Hnatyshyn, Y., Pavlovskyi, Y. (2016). “Thermal analysis of willow wood (*Salix Viminalis*),” *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), pp. 247-251, 2016. <https://doi.org/10.15421/40260438>

[158] Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Zheng, C. (2007). “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, vol. 86, pp. 1781-1788, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>

ДОДАТКИ
Додаток А
ДЕКЛАРАЦІЙНИЙ ПАТЕНТ





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **156855** (13) **U**
(51) МПК**A01G 24/20** (2018.01)**B01F 101/25** (2022.01)**B09B 3/65** (2022.01)**B09B 101/70** (2022.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ(21) Номер заявки: **u 2022 02860**(22) Дата подання заявки: **10.08.2022**(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **15.08.2024**(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **14.08.2024, Бюл.№ 33**

(72) Винахідник(и):

**Крусір Галина Всеволодівна (UA),
Соколова Таїсія Ігорівна (UA),
Соколова Валерія Ігорівна (UA),
Шпирко Тетяна Василівна (UA),
Сагдєєва Ольга Анісівна (UA)**

(73) Володілець (володільці):

**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)**

(54) СПОСІБ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ

(57) Реферат:

Спосіб переробки твердих харчових відходів включає закладання субстрату в гряди, періодичну аерацію субстрату, внесення до субстрату вермикюльтури у розрахунку 2,5-3 тисячі осіб на 1 м² і витримку субстрату після внесення вермикюльтури при температурі 25...35 °С при підтриманні вологості на рівні 60...80 % і рН 6,52...7,05. Як субстрат використовують тверді харчові відходи, які закладають у гряди та витримують протягом 5...7 днів для одержання необхідного мікробного консорціуму та піддають періодичній аерації. Після аерації вносять культуру дощових черв'яків *Lumbricus terrestris*, а витримку суміші здійснюють протягом 5...7 діб.

UA 156855 U

Додаток Б

РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ХАРЧОВИХ ВІДХОДІВ РЕСТОРАНУ

Оскільки основною сировиною для виробництва біогазу є харчові рослинні відходи закладів готельно-ресторанного комплексу, ми провели розрахунки можливої кількості харчових відходів.

Перш за все, використовуючи дані «Збірнику рецептур» ми розраховували відсоток харчових відходів, що утворюється з деяких видів харчової сировини, що найчастіше використовується закладами готельно-ресторанного бізнесу.

Таблиця Б.1 - Розрахунок % відходів, що утворюється з деяких видів харчової сировини

Сировина	Витрата сировини		% відходів
	Брутто	Нетто	
авокадо	0,193	0,141	26,9
баклажан	0,254	0,24	5,5
дайкон	0,135	0,099	26,7
зелень петрушки	0,026	0,014	46,2
зелень кропу	0,052	0,026	50
капуста білокочанна	0,822	0,66	19,7
капуста пекінська	0,601	0,5	16,8
картопля	0,293	0,209	28,7
корінь імбиру	0,076	0,049	35,5
корінь селери	0,778	0,561	27,9
лук червоний	0,129	0,119	7,8
зелена цибуля	0,35	0,162	53,7
цибуля ріпчаста	0,61	0,485	20,5
морква	0,2	0,158	21
огірки свіжі	0,158	0,151	4,4
перець болгарський	0,235	0,162	31,1
помідори свіжі	0,298	0,276	7,4
помідори черрі свіжі	0,138	0,132	4,3
редис свіжий	0,073	0,065	11
редька свіжа	0,763	0,611	19,9
салат айсберг	0,879	0,609	30,7
салат Лоло-Россо	0,218	0,195	10,6
салат радіччіо	0,345	0,3	13
салат Романо	0,487	0,4	17,9

Продовження табл. Б1

салат рукола	0,093	0,059	36,6
буряк	0,175	0,149	14,9
стебло селери	0,581	0,529	9
цукіні	0,205	0,19	7,3
часник свіжий	0,044	0,039	11,4
печериці свіжі	0,205	0,2	2,4
шпинат	0,32	0,14	56,3
ананас свіжий	1,175	1,16	1,3
апельсин	0,214	0,139	35
банани чищені	0,229	0,142	38
виноград	0,54	0,492	8,9
груші	0,195	0,182	6,7
ківі	0,093	0,07	24,7
лимони	0,138	0,129	6,5
мандарин	0,295	0,242	18
яблука свіжі	0,38	0,341	10,3

Використовуючи розраховані % відходів, що утворюється з деяких видів харчової сировини, а також дані зведеної сировинної відомості ГРК, розрахуємо кількість рослинних харчових відходів, що утворюється на підприємстві за день

Таблиця Б. 2 - Розрахунок кількості рослинних харчових відходів, що утворюється на підприємстві за день

Сировина	% відходів	Витрати сировина за день, кг	Відходи за день, кг
авокадо	26,9	2,13	0,57297
баклажан	5,5	5,5	0,3025
дайкон	26,7	2,8	0,7476
зелень петрушки	46,2	0,34	0,15708
зелень кропу	50	0,35	0,175
капуста білокочанна	19,7	2,5	0,4925
капуста пекінська	16,8	3,5	0,588
картопля	28,7	28,32	8,12784
корінь імбиру	35,5	0,3	0,1065
корінь селери	27,9	1,9	0,5301
лук червоний	7,8	2,4	0,1872
зелена цибуля	53,7	1,61	0,86457

Продовження табл. Б2

цибуля ріпчаста	20,5	18,8	3,854
морква	21	17	3,57
огірки свіжі	4,4	5,7	0,2508
перець болгарський	31,1	20,95	6,51545
помідори свіжі	7,4	17,23	1,27502
помідори черрі свіжі	4,3	3,8	0,1634
редис свіжий	11	2,4	0,264
редька свіжа	19,9	2,9	0,5771
салат айсберг	30,7	1,8	0,5526
салат Лоло-Россо	10,6	0,6	0,0636
салат радіччіо	13	0,7	0,091
салат Романо	17,9	0,9	0,1611
салат рукола	36,6	2,1	0,7686
буряк	14,9	1,2	0,1788
стебло селери	9	0,8	0,072
цукіні	7,3	3	0,219
часник свіжий	11,4	5,97	0,68058
печериці свіжі	2,4	6,5	0,156
шпинат	56,3	1,3	0,7319
ананас свіжий	1,3	11,8	0,1534
апельсин	35	1,25	0,4375
банани чищені	38	9,75	3,705
виноград	8,9	7,5	0,6675
груші	6,7	2,13	0,14271
ківі	24,7	1,9	0,4693
лимони	6,5	4,85	0,31525
мандарин	18	2,3	0,414
яблука свіжі	10,3	4,2	0,4326
Всього			39,73

Отже в день в ГРК утворюється близько 40 кг рослинних харчових відходів. Для подальших розрахунків нам необхідно перевести відходи харчової сировини з масових одиниць виміру, до об'ємних. Це можна зробити, якщо знати, що в середньому щільність відходів харчової сировини складає 370 кг/м^3 .

Таким чином, рослинні харчові відходи що створюються в ресторані за день $= 39,7/370 = 0,1074 \text{ м}^3$ або 107,4 л.

Для подальших розрахунків, будемо вважати, що в середньому заклад готельно-ресторанного господарства створює 100 л рослинних харчових відходів за день.

Згідно законодавства України, заклади готельно-ресторанного господарства повинні окремо збирати та утилізувати харчові відходи і отримували акти на утилізацію харчових відходів. Проведений нами моніторинг показав, що утилізація 1 кг харчових відходів з видачею акту пропонується за ціною 2 грн за 1 кг відходів. Таким чином за рік аналізований заклад за утилізацію рослинної частини харчових відходів повинен сплатити: $39,73 \cdot 2 \cdot 365 / 1000 = 29$ тис. грн.

Ці кошти підприємство може зекономити, якщо буди збирати рослинні харчові відходи в окремий бак, який надасть йому наше підприємство і передавати цей бак водію наприкінці робочого дня.

Додаток В

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з НР та МЗ ОНУ

Ольга ОЛЬШЕВСЬКА

2024 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Керуюча Кафе-Бару «РіО»

Наталія ЗАВГОРОДНЮК

2024 р.

Акт впровадження / виконання результатів дисертаційної роботи у виробництво на здобуття ступеню доктора філософії

Здобувачем наукового ступеня доктора філософії Соколовою Таїсією Ігорівною за результатами проведеного дослідження щодо удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу розроблено і впроваджено в діяльність підприємства Кафе-Бару «РіО» удосконалену біотехнологію, яка включає в себе збір, сортування, зберігання, подрібнення та подальше використання харчових відходів в якості сировини для отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування. Розроблена здобувачем удосконалена біотехнологія переробки твердих харчових відходів захищена патентом України на корисну модель (заявка № u 2022 02860) та може використовуватися локально у готельно-ресторанних господарствах або у промислових масштабах з метою зниження антропогенного навантаження на компоненти довкілля за рахунок мінімізації обсягів харчових відходів, які не підлягають належній переробці та/або утилізації, потрапляючи на звалища та полігони; для мінімізації харчових відходів, які розкладаються, впливаючи на метанове забруднення через бродіння відходів; для зниження ризиків подальшого санітарно-епідеміологічного забруднення та надзвичайних ситуацій; для зменшення емісії парникових газів; для виробництва біогазу, який можна використовувати замість природного газу, для отримання та використання в якості високоякісного добрива побічного продукту метаногенезу.

Запроваджені наукові розробки Соколової Т.І. щодо удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу в Кафе-Бар «РіО» сприяють підвищенню ефективності дотримання природоохоронного законодавства України в галузі поводження з відходами та загальній екологізації України, отримання альтернативних джерел енергії та екологізації готельно-ресторанних господарств.

Апробація результатів дослідження Соколової Т.І. свідчить про реальність, екологічну, соціальну та практичну значимість запропонованої біотехнології переробки харчових відходів шляхом анаеробного зброджування в біогаз для готельно-ресторанних комплексів.

Керуюча Кафе-Бару «РіО»



Наталія ЗАВГОРОДНЮК



Проректор
з науково-педагогічної роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
Олег ДАВИДЧАК
05. 2025 р.

АКТ

про використання у навчальному процесі
Національного університету «Львівська політехніка»
результатів досліджень та розробок,
одержаних при виконанні дисертаційної роботи
«Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-
ресторанного комплексу»
Соколової Таїсії Ігорівни

Комісія у складі:

- голова науково-методичної ради ІСТР ім. В'ячеслава Чорновола,
к.е.н., доц. Тетяна ДАНЬКО,
- зав. каф. ЕБПД д.т.н., проф. Ігор ПЕТРУШКА,
- к.т.н., доц. Анна Гивлюд,
- к.т.н., доц. Алла ШИБАНОВА

цим актом підтверджує, що основні положення та результати дисертаційної роботи «Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів готельно-ресторанного комплексу» Соколової Таїсії Ігорівни на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183. Технології захисту навколишнього середовища будуть використані:

1. У програмі лекційного курсу «Біологічні методи очищення», а саме у розділі Тема 5. «Анаеробні процеси біохімічної деградації», оскільки отримані результати стосуються утилізації харчових відходів з використання біотехнологічних методів.
2. Рекомендується за результатами дисертаційної роботи розробити лабораторну роботу щодо розрахунку ефективності використання біотехнологічних методів утилізації харчових продуктів відповідно отриманого підтвердження патенту на корисну модель.

Голова НМР ІСТР

к.е.н., доц.

Члени комісії:

- зав. каф. ЕБПД д.т.н., проф.
- к.т.н., доц.
- к.т.н., доц.

Тетяна ДАНЬКО

Ігор ПЕТРУШКА

Анна ГИВЛЮД

Алла ШИБАНОВА