

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 101 “Екологія”

Тема: Екологічні аспекти застосування анаеробного дигестату як біодобрива

Виконала:
студентка Михно Г. І.

Керівник:
доцент Аблєєва І. Ю.

Залікова книжка
№ ОС 19510066

Підпис: _____
дата, підпис

Підпис: _____

Консультант з охорони праці:
доцент Васькін Р. А.

Підпис: _____
дата, підпис

Захищена з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК
старший викладач Батальцев Є. В.

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 101 „Екологія”

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентці _____ Михно Ганні Іванівні _____ Група ОС-91

1. Тема кваліфікаційної роботи Екологічні аспекти застосування анаеробного дигестату як біодобрива

2. Вихідні дані Якісний та кількісний склад анаеробного дигестату. Акумуляція вуглецю у ґрунті під час використання дигестату. Агроекологічна оцінка якості дигестату та органічно-мінерального добрива.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

1. Технологічна схема виробництва гранульованого дигестату.
2. Структура впливів на навколишнє середовище від використання дигестату.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання 30 березня 2023 р.

Керівник _____

д.т.н., доц., ст. викл. Аблєєва І. Ю.

РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 56 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 57 сторінок, у тому числі 10 рисунків, перелік джерел посилання на 6 сторінках.

Мета роботи – встановити вплив на довкілля під час виробництва, зберігання та використання анаеробного дигестату як біодобрива.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі завдання:

- здійснити літературно-патентний огляд досліджуваної теми;
- дослідити нормативну та правову базу, щодо використання біодобрив;
- розглянути анаеробний дигестат як об'єкт дослідження;
- вивчити методи аналізу складу дигестату та викидів під час його виробництва та зберігання;
- проаналізувати зниження негативного впливу на навколишнє середовище при використанні анаеробного дигестату;
- надати рекомендації щодо сталого використання дигестату як біодобрива для відновлення ґрунтових екосистем.

Об'єкт дослідження – використання анаеробного дигестату як перспективного біодобрива та альтернативи мінеральним добривам.

Предмет дослідження – вплив на екосистеми під час виробництва, зберігання та використання анаеробного дигестату як біодобрива.

У кваліфікаційній роботі надана характеристика поняттю дигестат, його характеристика та особливості. Розглянуто та проаналізовано технологію виробництва дигестату. Наведені та обґрунтовані об'єкти та методика дослідження. Обрано технологію виробництва дигестату. Встановлено ефект внесення дигестату на акумуляцію вуглецю в ґрунті.

Ключові слова: АКУМУЛЯЦІЯ ВУГЛЕЦЮ, БІОДОБРИВО, ДИГЕСТАТ, ЕКОСИСТЕМИ, ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ...	7
1.1 Аналіз екологічної проблеми забруднення ґрунту	7
1.2 Оцінка стану застосування мінеральних та органічних добрив в Україні та закордоном.....	10
1.3 Акумуляція вуглецю в ґрунті та цілі сталого розвитку	15
1.4 Аналіз перспектив застосування зброджених відходів для покращення якості ґрунтів.....	18
1.5 Постановка задач дослідження	22
РОЗДІЛ 2 ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Аналіз якісних та кількісних показників якості анаеробного дигестату	23
2.2 Управління якістю дигестатом	26
2.3 Підходи до дослідження дигестату як біодобрива	28
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	31
3.1 Характеристика та аналіз агроекологічних показників дигестату.....	31
3.1.1 Вплив виду субстрату	31
3.1.2 Вплив типу попереднього оброблення сировини	32
3.1.3 Вплив типу після оброблення дигестату	33
3.2 Агроекологічна оцінка дигестату як біодобрива	36
3.2.1 Форма та спосіб внесення добрива.....	36
3.2.2 Вплив на параметри ґрунту.....	38
3.3 Рекомендації щодо удосконалення способу одержання біодобрива з дигестату	38
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	45
4.1 Техніка безпеки під час роботи з посудинами під тиском	45
4.2 Розрахунок природної вентиляції у лабораторному приміщенні	47
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	52

Підп. і дата		Підп. і дата		Інв. №дубл.		Взаєм. інв. №		Підп. і дата		Інв. №подл.	
ОС номер зал книжки											
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Екологічні аспекти застосування анаеробного дигестату як біодобрива			Літ.	Аркуш	Аркушів	
									4	57	
Розроб.		Михно						СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ОС-91			
Перев.		Аблеєва									
Н.Контр		Батальцев									
Затв.		Пляцук									

ВСТУП

Актуальність роботи. Постійне зростання чисельності населення в світі та необхідність виробництва більшої кількості продуктів харчування спричиняють стрімкий розвиток сільського господарства, що має як позитивний, так і негативний вплив на всі складові навколишнього середовища, особливо це стосується екосистем ґрунту. На сьогодні важко дати загальну оцінку стану ґрунтів у всьому світі через вплив різних природних факторів та умов, однак загальна тенденція стану ґрунтів показує, що ґрунти зазнають колосального негативного впливу через інтенсивну людську діяльність.

Використання анаеробного дигестату як біодобрива стає дедалі актуальнішим через його потенціал для вирішення кількох важливих екологічних і сільськогосподарських проблем. Оскільки попит на практику сталого сільського господарства зростає, розуміння екологічних аспектів використання анаеробного дигестату як біодобрива стає вирішальним [10].

Анаеробний дигестат є побічним продуктом процесу анаеробного зброджування, під час якого відбувається перетворення органічних речовин в біогаз, відновлюване джерело енергії. Анаеробний дигестат багатий такими поживними речовинами, як азот (N), фосфор (P) і калій (K), що робить його цінним біодобривом для сільськогосподарського застосування. Внесення дигестату може стимулювати мікробіологічну активність та покращити родючість ґрунту завдяки надходженню поживних органічних речовин в ґрунт. На додаток до вмісту поживних речовин, анаеробний дигестат може також покращити структуру ґрунту та утримання води, зменшити потенціал ерозії ґрунту, що може призвести до збільшення росту рослин та їх врожайності.

Таким чином, розуміння ролі анаеробного дигестату як біодобрива має вирішальне значення для розробки стійких сільськогосподарських методів, які можуть сприяти як продовольчій безпеці, так і пом'якшенню наслідків зміни клімату.

Підп. і дата									
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.								
Підп. і дата									
Інв.№подл.									
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044				Арк
									5

Мета роботи – встановити вплив на довкілля під час виробництва, зберігання та використання анаеробного дигестату як біодобрива.

Для досягнення зазначеної мети було постановлено та вирішено такі завдання:

- здійснити літературно-патентний огляд досліджуваної теми;
- дослідити нормативну та правову базу, щодо використання біодобрив;
- розглянути анаеробний дигестат як об’єкт дослідження;
- вивчити методи аналізу складу дигестату та викидів під час його виробництва та зберігання;
- проаналізувати зниження негативного впливу на навколишнє середовище при використанні анаеробного дигестату;
- надати рекомендації щодо сталого використання дигестату як біодобрива для відновлення ґрунтових екосистем.

Об’єкт дослідження – використання анаеробного дигестату як перспективного біодобрива та альтернативи мінеральним добривам.

Предмет дослідження – вплив на екосистеми під час виробництва, зберігання та використання анаеробного дигестату як біодобрива.

Методи дослідження. Основну інформаційну базу для виконання роботи склали наукові праці закордонних та вітчизняних вчених, звіти, онлайн інструменти наукової бази даних Scopus, матеріали науково-практичних конференцій, правових та нормативних актів України.

Апробація результатів дослідження. Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 74)», м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 6-7 лютого 2023 р.; X Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві», м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.

Підп. і дата					
Інв.№дубл.					
Взаєм.інв.№					
Підп. і дата					
Інв.№подл.					
					Арк
					6
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044

РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ

1.1 Аналіз екологічної проблеми забруднення ґрунту

Забруднення ґрунту – це небезпечно високі концентрації забруднюючих речовин у ґрунті. Хоча такі забруднювачі, як метали, неорганічні іони, солі та органічні сполуки, природно зустрічаються в ґрунтах, їх вміст може перевищувати природні рівні і кваліфікуватися як забруднення. Забруднення ґрунтів перешкоджає досягненню цілей сталого розвитку, зокрема подоланню голоду, бідності, забезпеченню здорового життя та добробуту людей, зупиненню та поверненню назад процесів деградації земель та втрати біорізноманіття, а також підвищенню безпеки та стійкості міст.

Як і у випадку з іншими видами забруднення, причини забруднення ґрунтів часто пов'язані з діяльністю людини. Промислові забруднювачі є одними з найпоширеніших причин забруднення ґрунтів. Хімічні речовини викидаються з промислових об'єктів як у рідкій, так і в твердій формі. Промислова діяльність викидає велику кількість фторидів миш'яку та діоксиду сірки, які підвищують кислотність ґрунту і впливають на рослинність. Випадкові розливи та витіки під час зберігання, транспортування та використання сприяють забрудненню ґрунту [18, 22].

Існує кілька джерел забруднення ґрунтів у промисловому сільському господарстві. Багато добрив, наприклад, містять значну кількість металів, таких як кальцій, нітрати і хлорид калію, які можуть порушити нормальний вегетаційний період. Каналізаційні стоки та інші рідкі відходи від побутового водокористування, сільськогосподарські стоки від тваринництва і міські стоки також забруднюють ґрунти [9].

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

Арк

7

Ще однією причиною є вирубка лісів. Вирубка дерев призводить до посилення ерозії ґрунту, що зменшує здатність ґрунту підтримувати рослинність [26].

Ґрунт має обмежену здатність справлятися із забруднювачами, коли вона перевищується, забруднювачі впливають на інші частини довкілля, наприклад, на харчовий ланцюг. Забруднення ґрунту сприяє забрудненню повітря, оскільки вивільняє в атмосферу леткі сполуки. Крім того, забруднення повітря, спричинене спалюванням викопного палива, може викликати кислотні дощі, які створюють кисле середовище в ґрунтах. Це шкодить мікроорганізмам, які покращують структуру ґрунту, розщеплюючи органічний матеріал і сприяючи проходженню води [46].

Хімічні речовини в ґрунтах також можуть вимиватися в ґрунтові води, які потім можуть потрапляти в струмки, озера та океани. Крім того, ґрунти з високим вмістом азоту і фосфору можуть вимиватися у водні шляхи, спричиняючи цвітіння водоростей, що зменшує кількість кисню, доступного для водних організмів. Так само ерозія ґрунту може призвести до забруднення та відкладення осаду у водних шляхах [42].

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, в Європі налічується приблизно 2,8 мільйона потенційно забруднених ділянок, і 19 % з них потребують реабілітації або заходів зі зниження ризику [51].

Щодо стану ґрунту в Україні можна зазначити, що навіть до ведення активних бойових дій ґрунт потребував використання добрив, а після 24 лютого 2022 року ця ситуація погіршилась. Основним механічним впливом на ґрунт в умовах війни є ущільнення з пошкодженням гумусового шару, що має прямі негативні наслідки, такі як порушення балансу ґрунтової вологи, спричинення вітрової та водної ерозії. Руйнування структури ґрунту відбувається в результаті переміщення частинок з одного шару в інший під впливом військових і техногенних навантажень [39].

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						8

Слід також зазначити, що розмінування зазвичай має негативний ефект, оскільки руйнуються гумусні горизонти, втрачаються фізичні та хімічні властивості ґрунту, відбувається зміна розміру зерен та агрегатного стану. Це, в свою чергу, впливає на родючість ґрунту та водоутримуючу здатність.

Тому, особливо зараз, гостро стоїть питання щодо використання добрив в Україні задля покращення нашого ґрунту. А дивлячись на те, що війна погіршує екологічний стан країни актуальним є використання саме біодобрив, яким і є дигестат [13].

Ґрунти також є найбільшим активним сховищем вуглецю після океанів, а тому мають вирішальне значення у боротьбі з кліматичною кризою. Але у звіті йдеться про те, що промислове забруднення, видобуток корисних копалин, сільське господарство та погане управління відходами отруюють ґрунти, а принцип "забруднювач платить" відсутній у багатьох країнах [19, 15].

Забруднення земель України від різного роду виробництва станом на 2022 рік наведено на рис. 1.1.

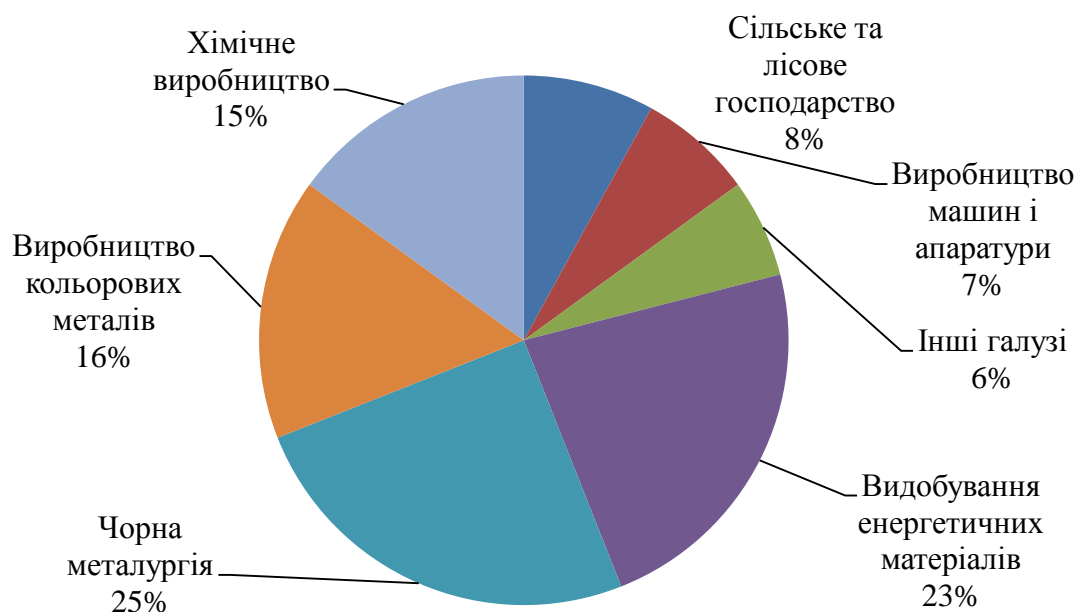


Рисунок 1.1 – Забруднення земель України від різного роду виробництва станом на 2022 рік

Підп. і дата	
Інв. № добул.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № поодл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

1.2 Оцінка стану застосування мінеральних та органічних добрив в Україні та закордоном

Сучасне сільське господарство все більше залежить від синтетичних засобів виробництва для забезпечення необхідного рівня врожайності та продуктивності. Одними з широко використовуваних, а в деяких випадках і зловживаних факторів виробництва є хімічні або синтетичні добрива. Хоча різні дослідження доводять, що розумне використання синтетичних засобів виробництва є прийнятним, не можна заперечувати його негативний вплив у довгостроковій перспективі, ключовим з яких є порушення балансу ґрунтової екосистеми, що може призвести до зниження врожайності і, в свою чергу, до збільшення використання хімічних засобів виробництва, що призводить до замкненого кола [14].

У минулому столітті добрива, створені людиною, значно підвищили виробництво сільськогосподарських культур, дозволивши фермерам вирощувати більше їжі на меншій площі. Але це зростання використання добрив мало свою ціну: викиди парникових газів, що спричиняють потепління планети. У всьому світі сільське господарство є другим за величиною джерелом зміни клімату, а виробництво і застосування добрив призводить до значних викидів парникових газів [5, 7].

Виробництво мінеральних добрив потребує використання великої кількості викопних палив, спричиняючи вивільнення вуглецю в атмосферне повітря. Мінеральна сировина, що використовується для виробництва добрив залежно від походження може мати важкі метали, що призводить до забруднення ґрунту після їх внесення. Добрива також виробляють парникові гази після того, як фермери вносять їх на свої поля. Сільськогосподарські культури поглинають в середньому лише близько половини азоту, який вони отримують з добрив. Значна частина внесених добрив стікає у водойми або розкладається мікробами в ґрунті, вивільняючи в атмосферу потужний парниковий газ – закис азоту. Хоча на закис азоту припадає лише невелика

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк 10
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

частка світових викидів парникових газів, закис азоту нагріває планету в 300 разів більше, ніж вуглекислий газ [36].

У період з 1990 по 2020 рік світове використання мінеральних добрив для сільськогосподарського виробництва зросло майже в півтора рази – з 103,1 кг на гектар до 146,4 кг на гектар. Ця тенденція залишається відносно стабільною протягом тривалого часу, що свідчить про незмінну важливість добрив у світовому сільському господарстві і сьогодні. Що змінилося, так це концепція їх використання. Якщо раніше основним викликом було збільшення кількісного використання добрив, то в новому столітті парадигма змінилася, і тепер виклик полягає в якісному використанні добрив на основі інноваційних технологій точного землеробства та розумних агросистем [25].

Дослідження країн світу за рівнем використання мінеральних добрив показало, що майже половина країн використовує до 100 кг на гектар сільськогосподарських угідь. Близько 30 країн використовують від 100 до 200 кг на гектар і лише 27 країн застосовують від 200 до 300 кг (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Використання мінеральних добрив у світі

Порівняння довгострокових статистичних даних (1990–2020 рр.) для всіх досліджуваних країн з точки зору загального внесення мінеральних добрив на

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

гектар і, наприклад, середньої врожайності зернових культур, часто показує високу пряму кореляцію (рис. 1.3). Аналітична інтерпретація полягає в тому, що на кожні 10 кг збільшення внесення мінеральних добрив середня врожайність зернових культур зростає на 0,25 т/га в усьому світі [29, 30].

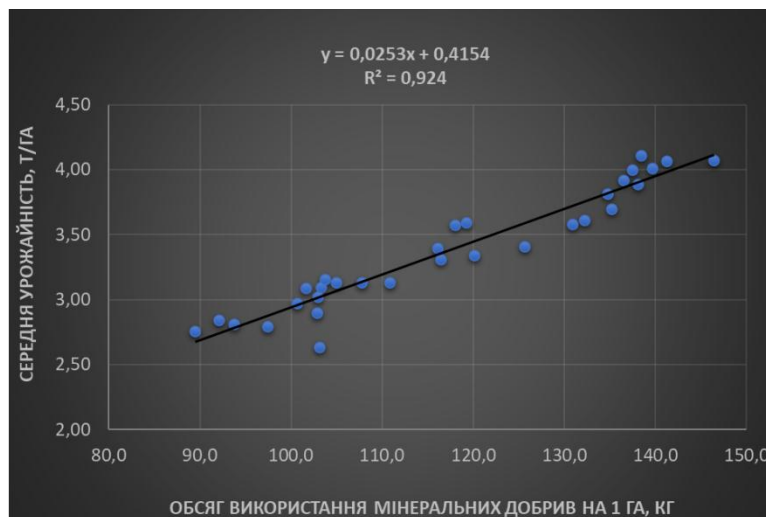


Рисунок 1.3 – Залежність між врожайністю та застосуванню міндобрив

Скорочення використання добрив вимагатиме зміни політики і правил, які сьогодні заохочують фермерів вносити більше добрив на свої поля, ніж їм потрібно. Деякі країни та регіони починають рухатися в цьому напрямку. Наприклад, Європа оголосила про плани скоротити використання добрив на чверть протягом цього десятиліття в рамках більш широких зусиль, спрямованих на те, щоб зробити свої фермерські господарства більш сталими.

В останні роки все більше поширення органічного землеробства призвело до більш сталого підходу до сільського господарства, оскільки воно наголошує на застосуванні екологічно безпечних практик для забезпечення продовольчої безпеки при одночасному захисті та підтримці біорізноманіття ґрунтів. Зацікавлені сторони застосовують різні стратегії, щоб зробити органічне та стале сільське господарство мейнстрімом. Однією з ключових стратегій є використання біологічних добрив або біодобрив для забезпечення оптимальних

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	
Інв. № дубл.	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

поживних речовин для сільськогосподарських культур та підвищення родючості ґрунту [32].

Ключовим напрямком розвитку сталого сільського господарства в найближчі роки є зосередження на впровадженні екологічно чистих методів для покращення мікробної екосистеми ґрунту та сприяння розвитку різноманітного спектру природних мікробів для забезпечення сталого розвитку рослинництва. Різноманітні дослідження показали, що природна екосистема буде процвітати завдяки ретельній підтримці корисних ґрунтових мікроорганізмів [35, 36]. Ці мікроби різноманітні і допомагають підтримувати фізико-хімічні властивості ґрунту, забезпечують здоров'я ґрунту, сприяють росту рослин і врожайності.

Одним із способів, як біодобрива можуть допомогти у створенні оптимальної ґрунтової екосистеми, є забезпечення достатньої кількості органічної речовини для розвитку ґрунтового мікробіому. Їх здатність збільшувати популяцію таких мікробних штамів, як азотобактерії, азоспірили, фосфобактерії та ризобактерії, допомагає забезпечити оптимальний кругообіг азоту, що є критично важливим для здоров'я ґрунту та рослин. Біодобрива сприяють підвищенню доступності та засвоєння поживних речовин, сприяючи їх розчиненню. Вони також сприяють виробленню рослинних гормонів, таких як цитокіни, допомагають стимулювати правильну архітектуру коренів і покращують фотосинтез. Завдяки виробленню метаболітів рослини стають більш стійкими до стресів та атак патогенів. Таким чином, використання біодобрив має подвійний ефект: покращення здоров'я ґрунту та сприяння росту рослин. Більшість сучасних біодобрив спрямовані на поліпшення профілів макроелементів, таких як азот, калій і фосфор, цільові продукти доступні для інших мінералів, таких як цинк [48].

Продовження досліджень і розробок також може допомогти знизити порівняно вищу вартість рідких добрив, пропонуючи фермерам ширший вибір [20]. Таким біодобривом саме і є дигестат. Адже дигестат – це продукт біоконверсії органічної речовини в процесі метанового бродіння, в результаті

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

якого складна органічна речовина розщеплюється на простіші органічні сполуки, мінералізовані речовини, мікробну біомасу та біогаз, що складається переважно з метану і вуглекислого газу [44].

З 2013 року кількість мінеральних добрив, внесених в Україні, зросла з 1,1 млн тонн до 2,4 млн тонн. Майже всі ці добрива були внесені під зернові культури. При цьому використання азотних добрив зросло приблизно в 2,2 рази, калійних – в 2,6 рази і фосфорних – в 2,7 рази. 10 років тому внесення добрив становило 70% від посівних площ, а до 2022 року вже досягло 93%! Крім того, кількість добрив, що припадає на гектар, майже втричі більша, ніж десять років тому (з 58 кг до 141 кг на гектар). На нашу думку проблема полягає не в самих добривах, а в їх запізнілому або надмірному використанні. У таких випадках частина добрив залишається не засвоєною ґрунтом і рослинами. Як наслідок, добрива потрапляють у ґрунтові води [52].

Добрива також можуть потрапляти в організм людини разом з водою. У великих кількостях це може призвести до небезпечних синдромів і небезпечних для життя захворювань.

Крім того, інтенсивне використання добрив також збільшує викиди парникових газів від сільськогосподарського сектору. Зокрема, добрива сприяють викидам азотовмісних газів. Цікаво, що частка органічних добрив майже не зросла за останнє десятиліття; деяке зростання спостерігалось у 2018 році порівняно з 2013 роком. Тоді частка органічних добрив зросла з 9,9 млн тонн до 10,6 млн тонн. Однак у 2022 році вона зменшилася до 10,2 млн тонн. Частка площ, оброблених органічними добривами, наразі становить лише близько 5,4%. Ситуація з пестицидами також викликає занепокоєння. Вони позитивно взаємодіють з навколишнім середовищем, потрапляють у повітря та воду, широко розповсюджуються і можуть бути шкідливими як для довкілля, так і для здоров'я людини. Національне статистичне управління повідомляє, що за останнє десятиліття площа посівів, оброблених пестицидами, збільшилася приблизно на 50%. Цілком природно, що використання добрив і пестицидів в

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

Україні зростає. Власники сільськогосподарських угідь прагнуть отримати якомога більший врожай зі своєї землі за мінімально можливих витрат. На жаль, промисловці не переймаються впливом своєї діяльності на навколишнє середовище та здоров'я мешканців навколишніх сіл і великих міст. Зокрема, держава звертає увагу на це питання лише у випадку масштабного забруднення або масового отруєння. Про превентивний контроль чиновники не турбуються [55].

1.3 Акумуляція вуглецю в ґрунті та цілі сталого розвитку

В основі всього життя на Землі закладено вуглець. Всі молекули живих організмів побудовані на вуглецевому скелеті. Атоми вуглецю постійно переміщуються з однієї частини біосфери в іншу [56]. Кругообіг вуглецю в природі можна використовувати як приклад для динамічного відстеження життя на Землі. На рисунку 1.4 наведено біологічний цикл вуглецю в природі.

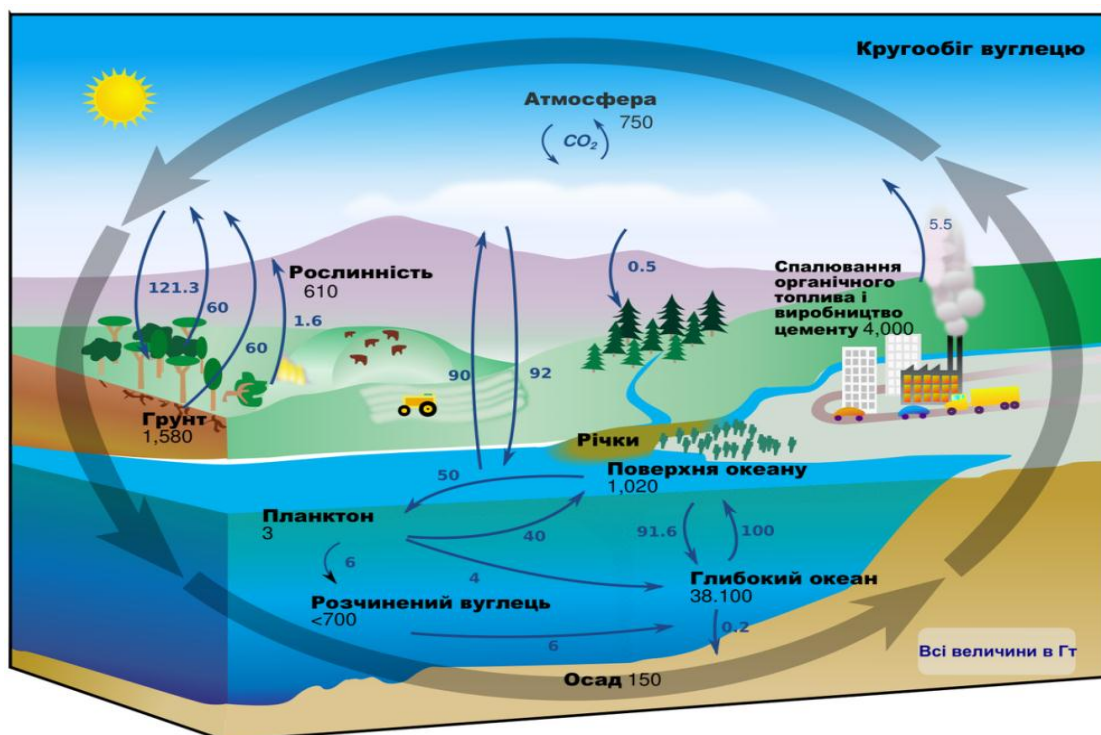


Рисунок 1.4 – Біогеохімічний цикл вуглецю в природі

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044
-----	-----	----------	-------	------	-------------

Основний резерв вуглецю на Землі знаходиться у формі вуглекислого газу, або діоксиду вуглецю (CO₂), який міститься в атмосфері і розчинений в океанах [40].

Рослини поглинають молекули вуглекислого газу з повітря, і в процесі фотосинтезу атоми вуглецю перетворюються на різні органічні сполуки, які включаються в структуру рослини. Далі можливі кілька варіацій циклу. Так вуглець може залишатися в рослині, доки вона не помре і не стане їжею для декомпозиторів (організмів, які поїдають мертву органіку і розщеплюють її на прості неорганічні сполуки), таких як гриби і терміти. Зрештою, вуглець повертається в атмосферу у вигляді CO₂.

Рослини їдять травоядні тварини. У цьому випадку вуглець або вивільняється назад в атмосферу (де тварина вдихає його і розкладає після смерті), або травоядна тварина з'їдається м'ясоїдним (у цьому випадку вуглець знову повертається в атмосферу тим самим шляхом) [23, 33].

Існує також кілька варіантів, якщо початкові молекули CO₂ розчиняються в морській воді. Перший варіант коли вуглекислий газ повертається в атмосферу (такий газообмін між океаном і атмосферою відбувається постійно).

Другий варіант, коли вуглець потрапляє до тканин морських рослин і тварин. Потім він поступово накопичується у відкладеннях на морському дні, з часом перетворюючись на вапняк або повертаючись у морську воду з відкладень.

Ґрунт є найбільшим сховищем вуглецю. У всьому світі запаси вуглецю в першому метрі ґрунту оцінюються в 1,417 гігатонн (ГТ) – майже вдвічі більші, ніж у нашій атмосфері та в десятки разів більші за рівні щорічних антропогенних викидів. На більших глибинах ґрунт містить утричі більше вуглецю, ніж в атмосфері.

Але за підрахунками вчених, близько 2 мільярдів га, або 25 % загальної площі земель у світі, постраждали від деградації. Щороку в усьому світі втрачається близько 24 мільярдів тонн родючих ґрунтів. Викиди парникових

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

газів у сільському господарстві, за винятком впливу сільського господарства на зміни в землекористуванні, становлять приблизно 13% від загальних глобальних викидів [24]. Внаслідок зміни клімату, що негативно впливає на сільське господарство, фермери повинні виробляти на 60 % більше продовольства до 2050 року, оскільки населення збільшиться до дев'яти мільярдів. Для задоволення цих потреб ґрунти мають бути якомога продуктивнішими.

Ґрунти з високим вмістом вуглецю є більш продуктивними і здатні краще фільтрувати та очищати воду. Проте ґрунтовий органічний вуглець відіграє велику роль також у зміні клімату, являючи собою як загрозу, так і можливості досягти цілей Паризької угоди. Ґрунтовий органічний вуглець чутливий до того, як ґрунт оброблюється: нераціональне використання земель є причиною того, що ґрунти втрачають органічну речовину/вуглець і відбуваються викиди парникових газів [47].

Деградація однієї третини ґрунтів у світі, що відбулася, вже сприяла викиду до 78 ГТ вуглецю в атмосферу. Раціональне використання ґрунту і відновлення деградованих земель може пом'якшити наслідки зміни клімату і підвищити рівень продовольчої безпеки. Практики вже продемонстрували безліч стійких методів управління ґрунтовими ресурсами, які можуть зберегти і збільшити вміст органічного вуглецю. Згідно з даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО)[51]:

- прийняття методів ведення сільського господарства, які сприяють збереженню ґрунтового органічного вуглецю, може збільшити врожайність сої, кукурудзи та пшениці на 17,6 мегатонн на рік;

- збільшення на одну тонну ґрунтового органічного вуглецю на деградованих землях може збільшити врожайність пшениці на 20-40 кг на га, кукурудзи на 10-20 кг на га і гороху на 0,5-1 кг на га;

- покривні культури, що використовуються як зелене добриво, є важливою функцією управління для збільшення запасів вуглецю. Такі методи можуть сприяти накопиченню до 17 ГТ вуглецю в ґрунті в усьому світі;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

– агролісові системи накопичують вуглець у деревах як деревну біомасу і скорочують викиди парникових газів із ґрунтів. Дослідження показали, що системи агролісоводства поглинають близько 7 тонн вуглецю на гектар на рік.

Вчені порахували, що підвищення середньої глобальної температури всього на два градуси призведе до вивільнення мільярдів тонн вуглецю з ґрунту, що ще більше прискорить потепління [28].

Річ у тім, що багато змін, пов'язаних зі зростанням температури, наростають не лінійно, а з прискоренням, оскільки в їхній основі закладено механізм позитивного зворотного зв'язку, коли результат підсилює сам вплив. Приклад того – кругообіг вуглецю в ґрунті. Потепління прискорює розкладання ґрунтового вуглецю, і зі зростанням температур виділяється дедалі більше вуглекислого газу, що посилює парниковий ефект, відповідальний за потепління.

1.4 Аналіз перспектив застосування зброджених відходів для покращення якості ґрунтів

Дигестат – це матеріал, що залишається після анаеробного збродження (розкладання в умовах низького вмісту кисню) біологічно розкладної сировини. В результаті анаеробного збродження утворюються два основні продукти: дигестат і біогаз (рис 1.5). Дигестат утворюється як в результаті ацидогенезу, так і метаногенезу, і кожен з них має різні характеристики [20]. Ці характеристики залежать від вихідної сировини, а також від самих процесів.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

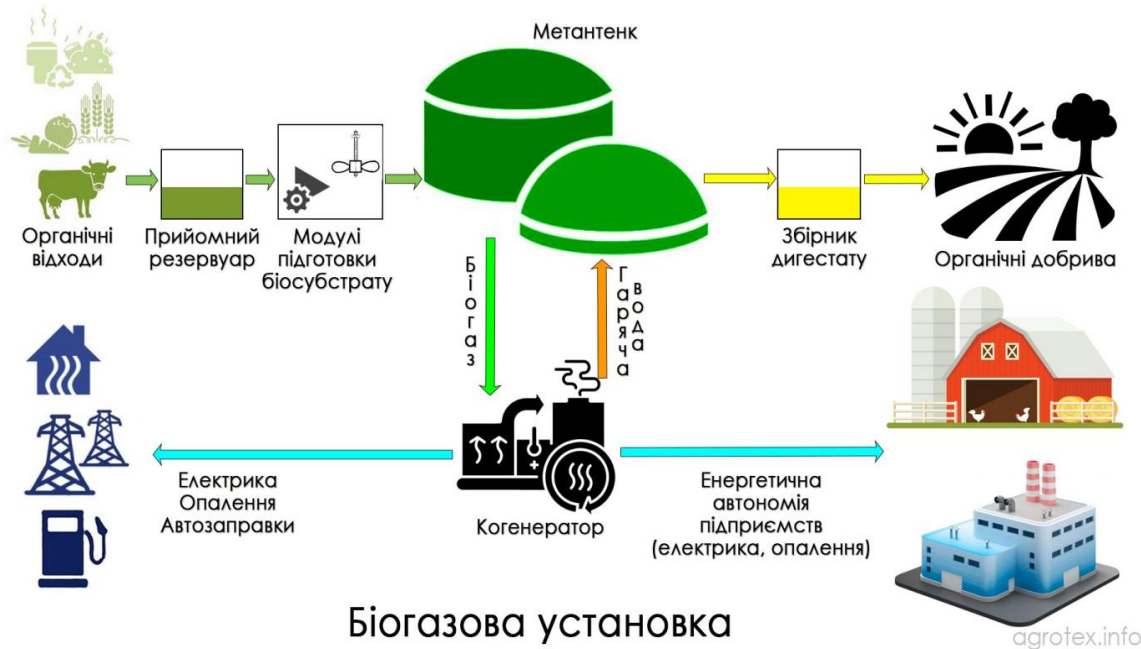


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення утворення дигестату

Анаеробне зброджування є універсальним процесом, який може використовувати багато різних видів сировини. Прикладом сировини можуть бути [6, 12]:

- Осад стічних вод: рідкий осад, необроблений осад стічних вод, компостований осад і осад, оброблений вапном.
- Тваринні відходи: тваринні жири, кров тварин, залишки їжі, вміст шлунку, вміст рубця, туші тварин, а також гній птиці, риби та худоби.
- Енергетичні культури: зазвичай кукурудза, кукурудза, просо та конюшина. Це можуть бути цілі врожаї, що використовуються для спільного зброджування, або відходи від збирання цих культур.
- Муніципальні відходи: Харчові відходи, кавові/чайні фільтри, органічні залишки, відходи хлібопекарні та кухонні відходи.
- Сільськогосподарські відходи: Плоди, м'яса, стебла, рослинна солома та жом (залишки після подрібнення стебел цукрової тростини або сорго).

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. № Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510044

Арк

19

– Промислові відходи: Відходи харчової промисловості, молочні відходи, відходи крохмальної/цукрової промисловості, відходи боєнь та пивоварних заводів.

Це лише деякі з різних джерел, з яких можна отримати анаеробний дигестат. Хімічний склад виробленого дигестату може змінюватися залежно від того, яка сировина використовується. Осад стічних вод і гній тварин, як правило, містять більшу частину енергії, яка споживається через те, що первинне джерело енергії (їжа) спочатку перетравлюється в організмі людини або тварини. Це дозволяє осаду стічних вод і гною тварин бути хорошими кандидатами для спільного зброджування разом з іншою сировиною для отримання більш якісного дигестату для сільськогосподарських цілей, а також для збільшення виробництва біогазу[16].

Метаногенез є останньою стадією анаеробного зброджування. Під час цієї фази метаногенні археї виробляють метан із субстратів, що утворюються під час ацетогенезу. Метаногенні мікроби досить чутливі до змін рН і надають перевагу діапазону 5,0–8,5 залежно від виду. Саме тому в деяких біогазових установках камери для різних стадій анаеробного зброджування будуть розділені для оптимального виробництва біогазу (рис. 1.6).

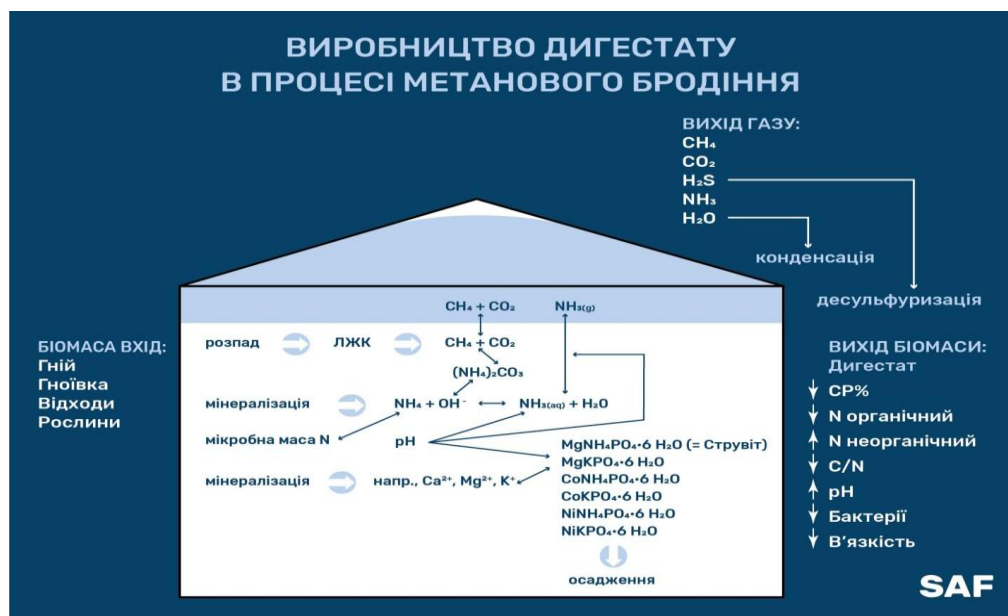


Рисунок 1.6 – Метаногенез

Підп. і дата
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.
Підп. і дата
Інв.№поодл.

До цього моменту більша частина органічної речовини розпадається, залишаючи метаногенний дигестат, відомий як шлам (іноді його називають рідиною або рідким дигестатом). Осад містить багато поживних речовин, таких як амоній і калій [21].

Цілісний дигестат – це коли волокнистий дигестат (тверда фракція) ацидогенного дигестату поєднується з спиртовим дигестатом (рідка фракція) метаногенного дигестату для створення цілого дигестату. Ця комбінація двох дигестатів утворює осад. Рідка фракція становить до 90 % дигестату за об'ємом, містить 2–6 % сухої речовини, частинки розміром <1,2 мм і більшу частину розчинного азоту та калію, тоді як тверда фракція утримує більшу частину фосфору дигестату і містить суху речовину > 15 % [28].

Поєднання цих двох фракцій в єдиний дигестат дозволяє підвищити доступність широкого спектру поживних речовин, які можуть бути корисними для сільськогосподарської діяльності. Деякі анаеробні біогазові установки мають лише одну камеру розкладання, що дозволяє цим двом дигестатам змішуватися самостійно без подальшого втручання.

Крім того, як тверді, так і рідкі дигестати виявилися корисними у гідропонному рослинництві. Численні дослідження показали, що дигестат може давати аналогічні або вищі врожаї різних культур порівняно зі стандартними методами вирощування, що використовуються в гідропоніці та вирощуванні безґрунтових субстратів [31].

Дигестат є цінним ресурсом для відновлення родючості ґрунтів, оскільки містить різноманітні поживні речовини та мікроелементи у формі, доступній для ґрунтової біоти, сприяє підкисленню та зволоженню ґрунту, а також є джерелом корисних для ґрунту бактерій. Як органічне добриво та покращувач ґрунту, дигестат майже на всіх діючих біогазових станціях в Україні є побічним продуктом процесу виробництва біогазу. Найбільш раціональним використанням є його внесення в ґрунт [38].

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						21

Згідно з українським законодавством (Закон України "Про пестициди та агрохімікати"), "пестициди – токсичні речовини, їх сполуки або суміші речовин, призначені для знищення, регуляції та припинення розвитку шкідливих організмів, внаслідок діяльності яких вражаються рослини, тварини, люди і завдається шкода матеріальним цінностям, а також гризунів, бур'янів, деревної, чагарникової рослинності, засмічуючих видів риби. Термін "пестициди" включає також засоби захисту рослин.

Також в новому законі прописано, що дигестат, що утворюється в біогазових установках – це залишки сировини, побічних продуктів та відходів тваринного або рослинного походження, в суміші або ні, що утворюються в результаті контрольованого процесу анаеробного зброджування з виділенням біогазу, що відповідає вимогам, встановленим Регламентом (ЄС) 2019/1009 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року про встановлення правил розміщення на ринку добрив ЄС та вносить зміни до Регламентів (ЄС) 1069/2009 та (ЄС) 1107/ 2009 та про скасування Регламенту (ЄС) 2003/2003. Тому, можна зробити висновок, що Україна рухається в правильному напрямку і на законодавчому рівні намагається піклуватись про екологічний стан держави.

1.5 Постановка задач дослідження

У ході дослідження необхідно розглянути ефективність використання дигестату на відміну від інших видів добрив. Зробити аналіз показників після внесення до ґрунту дигестату. Розглянути методики дослідження вмісту органічних та забруднювальних речовин у дигестаті та методики дослідження дигестату як біодобрива. На основі отриманих даних зробити висновки щодо доцільності впровадження дигестату в подальше використання як біодобриво.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						22

РОЗДІЛ 2 . ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз якісних та кількісних показників якості анаеробного дигестату

Основними параметрами для оцінки якості дигестату при його використанні в сільському господарстві є рН, поживні речовини, загальна кількість твердих речовин (ЗТР), летких речовин (ЛР) і загального вуглецю (ЗВ). Ця якість залежить від сировини та типу анаеробної системи зброджування. Як правило, вміст амоніаку в дигестаті становить приблизно 60-80% від загального вмісту азоту, але для такої сировини, як харчові відходи, він може досягати 99%. Також повідомляється [43], що дигестат має вищу концентрацію фосфору і калію, ніж компости. Середнє співвідношення фосфору до калію становить близько 1:3. Все це разом робить дигестат потенційно життєздатним джерелом для внесення в ґрунт для сільськогосподарських культур [26].

Стандарт дигестату, отриманого в результаті анаеробного зброджування, можна оцінити за трьома критеріями: хімічним, біологічним і фізичним аспектами. Хімічна якість повинна розглядатися з точки зору вмісту важких металів та інших неорганічних забруднювачів, стійких органічних сполук і вмісту макроелементів, таких як азот, фосфор і калій. Залежно від джерела, біовідходи можуть містити патогенні мікроорганізми, які можуть призвести до поширення хвороб людини, тварин або рослин, якщо ними не управляти належним чином.

Фізичні стандарти дигестату включають, головним чином, зовнішній вигляд і запах. Контроль якості сировини є найважливішим способом забезпечення якості кінцевого продукту [34].

Стандарти та технічні умови для дигестату були розроблені в кількох державах-членах ЄС. У Німеччині існує система гарантії якості для дигестату, яку застосовує "GüteGemeinschaft Gärprodukt e.V." (компанія, що спеціалізується

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк 23
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

в галузі підтвердження гарантії якості установок анаеробного зброджування), член "Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V." (Федеральна асоціація якості компосту) (BGK). Крім того, у Бельгії, Швеції та Сполученому Королівстві існує добровільна система гарантії якості для дигестату. У кожній системі якість гарантується за допомогою перевірки дотримання національних регламентів (регламенти щодо побічних продуктів тваринного походження, біовідходів і добрив), у яких є дозволений перелік компонентів вихідної сировини та предмети вихідної сировини і добрив, вихідної сировини і приписи щодо моніторингу та контролю процесу, з метою перевірки відповідності з гігієнічними вимогами. Це охоплює вимірювання та документальне підтвердження значень температури і рН у реакторі та систему забезпечення санітарно-гігієнічних умов, час гідравлічного утримання, а також навантаження за органічними речовинами та за об'ємом [31].

Типи і кількості речовин і добавок мають документально підтверджуватися, і необхідно застосовувати деякі дії для запобігання порушенню технологічного режиму внаслідок повторного забруднення. Початкова сировина має бути чистою і розділеною в джерелі утворення. Функціонування контролюється за допомогою відвідування установки незалежними менеджерами служби забезпечення якості. Продукти регулярно (4-12 разів на рік) контролюються за допомогою незалежних пробовідбірників і супроводжуються офіційними аналітичними звітами. Крім того, даються рекомендації щодо правильного застосування відповідно до регламентів на використання добрив [11].

У Сполученому Королівстві дигестат може отримати статус припинення стану відходів. Протокол якості дигестату почали застосовувати з вересня 2009 року, а його розробником є WRAP (Програма дій у галузі відходів і ресурсів) та Агентство довкілля в рамках консультацій із зацікавленими представниками промисловості та регулювальними органами. Він застосовний в Англії, Уельсі та Північній Ірландії. Протокол встановлює критерії припинення стану відходів

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						24

для виробництва і використання щодо якості кінцевої продукції, отриманої під час анаеробного зброджування біорозкладних відходів, розділених у джерелі утворення, не включно з осадом стічних вод. Як вихідний матеріал дозволено використання гною [31].

Для відповідності матеріалу Протоколу якості виробники дигестату мають бути сертифіковані відповідно до схеми сертифікації BSI PAS11032, якою керує Агентство навколишнього середовища. PAS є першим попередником потенційного британського стандарту.

У Швеції є добровільна система сертифікації для анаеробного зброджування, SPCR12034. Ця SPCR є системою гарантії якості як для процесу, так і для якості кінцевого продукту, дигестату. Однак, як і у випадку компосту, виходячи з SPCR 152 QAS, дигестат, що відповідає сертифікату якості SPCR 120, повинен продовжувати мати статус відходів. Субстрати для сертифікованого дигестату мають бути чистими, розділеними в джерелі утворення та біорозкладними. Осад стічних вод не включено до переліку вихідних матеріалів, але гній дозволено [11].

У Німеччині сертифікат Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) є носієм сертифіката якості для компосту, дигестату і компостуємих осадів стічних вод. BGK визнана RAL, Інститутом гарантії якості та сертифікації Німеччини, організацією, відповідальною за моніторинг і контроль усіх сертифікатів якості в Німеччині. У Німеччині відповідно до використовуваних вихідних матеріалів є дві групи продуктів для дигестату і два відповідні сертифікати: RAL GZ 245 для продуктів анаеробного зброджування, отриманих з біовідходів, і RAL GZ 246 для продуктів зброджування з енергетичних культур. Осад стічних вод не включений до переліку вихідних матеріалів, але гній дозволений. RAL GZ 245 є добровільною схемою, проте зусилля учасників винагороджуються місцевими органами влади шляхом звільнення установок від деяких вимог контролю, що підпадають під дію законодавства про відходи. За допомогою цієї процедури дигестат із гарантованою якістю має статус "квазі" продукту в Німеччині. Як

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк 25
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

дигестат, одержуваний з біовідходів, так і дигестат, одержуваний з енергетичних культур, можуть бути дозволені для рідких продуктів і твердого дигестату.

Дозвіл на використання сертифіката якості RAL для дигестату надається відповідно до якості та перевірки регламентів, сформульованої в методичних настановах BGK для аналізу органічних добрив, структуроутворювачів ґрунту та поживного субстрату. Відбір проб і дослідження повинні проводитися схваленим зовнішнім органом моніторингу [24].

2.2 Управління якістю дигестатом

Якість дигестату як органічного добрива визначається чотирма основними групами показників: поживним складом, фазовим станом, стабільністю та вмістом шкідливих домішок (рис. 2.1).

Вміст поживних речовин, гумінових речовин та мікроелементів у дигестаті визначає його ефективність як добрива, а отже, і його потенційну ринкову вартість. Надмірний вміст певних видів домішок знижує його комерційну цінність, обмежує сферу застосування або робить його непридатним для використання без додаткової обробки [8].

Вміст вологи та щільність продуктів з дигестату мають значний вплив на витрати на транспортування та польове застосування.

Нарешті, ступінь стабільності впливає на зручність і безпеку використання та торгівлі. Виробництво та використання дигестату як добрива вимагає управління якістю та контролю протягом усього виробничого циклу, від виробництва сировини до використання дигестату як добрива [30].

Контроль якості включає використання високоякісної контрольованої сировини, попередню обробку окремих видів сировини, ретельний контроль процесу зброджування, технічних параметрів, що впливають на якість дигестату, його подальшу переробку, декларування, оптимальне зберігання та використання як добрива. Управління якістю дигестату має два основні напрямки: профілактика та лікування [15].

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № до обл.	Підп. і дата
----------------	--------------	---------------	----------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

Арк
26

- N_{заг.} / N_{амон.}
- P (P₂O₅)
- K (K₂O)
- C_{орг.}
- мікроелементи (Cu, Zn, Mo, Co, Ni, Mn ...)

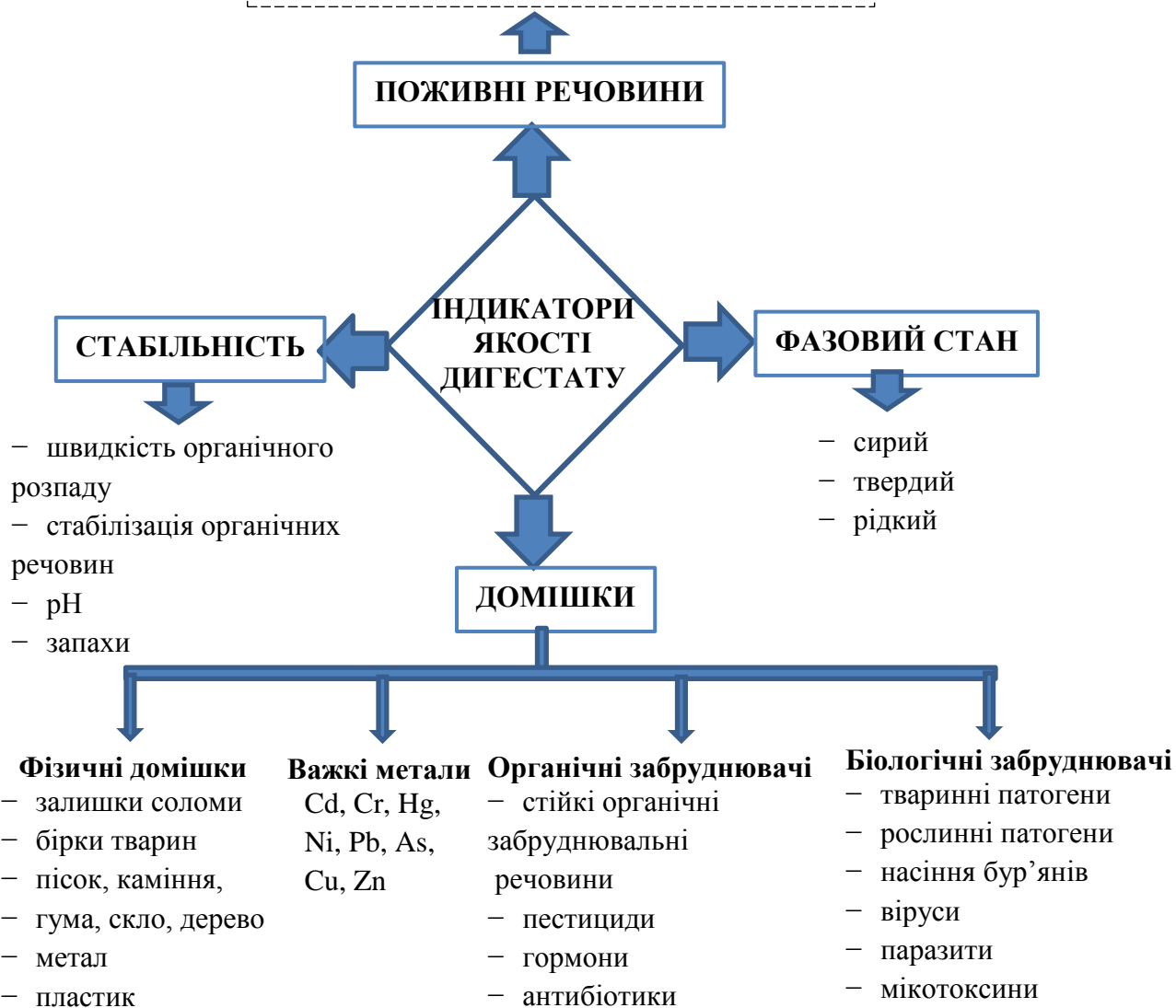


Рисунок 2.1 – Показники якості дигестату

Як правило, дигестат не повинен використовуватися як сировина для біогазових установок для виробництва добрив або інших сільськогосподарських цілей, якщо ефективного видалення забруднюючих речовин не може бути гарантоване в процесі попередньої обробки та зброджування.

Загальну послідовність по контролю якості дигестату проілюстровано на рисунку 2.2.

Інв. №подл.	Підп. і дата
Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

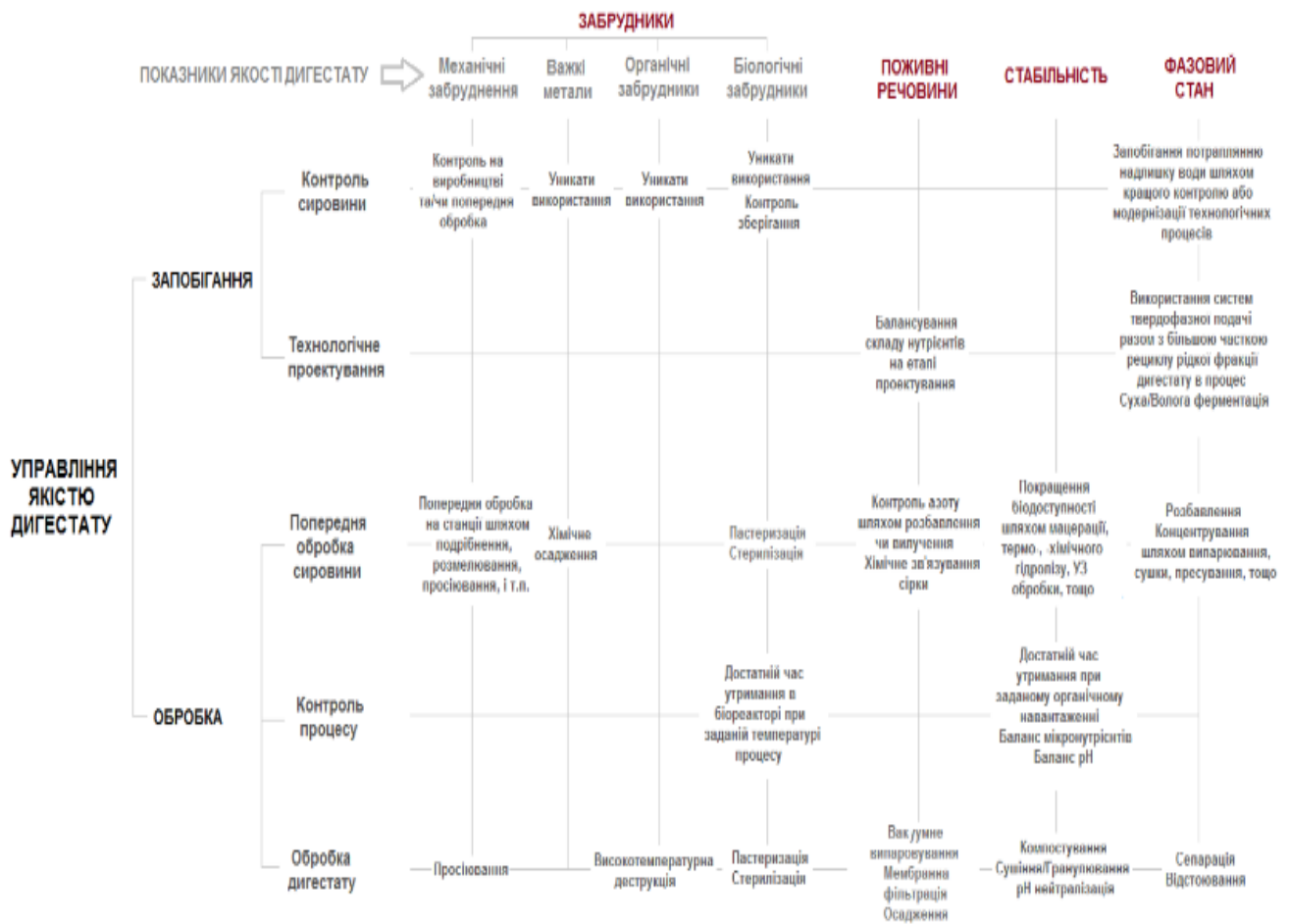


Рисунок 2.2 – Послідовність управління якістю дигестату

2.3 Підходи до дослідження дигестату як біодобрива

Методологія оцінки життєвого циклу використовується з точки зору управління якістю дигестату. Виробництво та утилізація дигестату як добрива вимагає управління якістю та контролю якості протягом усього життєвого циклу, від виробництва сировини до остаточного використання дигестату як добрива. Управління якістю передбачає використання високоякісної сировини, попередню обробку окремих видів сировини, ретельний контроль параметрів процесу, що впливають на якість дигестату, переробку дигестату, декларування та оптимальне зберігання і застосування як добрива.

Існує два основних способи управління якістю дигестату, а саме: запобігання утворенню та переробка. Емпіричне правило полягає в тому, що

Інв.№подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ОС 19510044					28
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

якщо ефективно видалення забруднюючих речовин не може бути гарантоване попередньою обробкою, матеріал не повинен використовуватися як сировина на біогазових заводах, дигестат яких використовується як добриво або для інших сільськогосподарських цілей [49].

Профілактичні методи поєднують контроль якості сировини на етапах її формування в технологічних процесах, збору, транспортування та зберігання. Потрапляння в сировину небажаних компонентів, таких як пісок, каміння, пластик, інші синтетичні матеріали, можна уникнути шляхом контролю якості технологічних процесів та логістичних операцій. Також важливо забезпечити якість сезонної сировини (кукурудзяний силос, жом, пожнивні рештки) при тривалому зберіганні. Наприклад, необхідно уникати грибкових утворень у сировині, підтримуючи необхідну кислотність та вміст води.

Всі методи переробки дигестату включають попередню обробку субстрату, управління процесом зброджування та технології постобробки дигестату.

Попередня обробка сировини включає три основні методи, спрямовані на попередню санітарну обробку, покращення засвоюваності та розділення твердої та рідкої фаз. На європейських біогазових заводах попередня санітарна обробка зазвичай включає попереднє нагрівання певної сировини шляхом періодичної пастеризації при 70°C протягом 1 години або стерилізації під тиском при 133°C і 2,4 бар (абсолютний тиск) протягом 20 хвилин.

У деяких випадках попередня обробка також необхідна, якщо сировина містить фізичні домішки. Її можна обробити простим просіюванням.

Управління процесом зброджування в основному базується на часі перебування сировини в метантенку при постійній температурі процесу. Час утримання визначається як гідравлічний час утримання, мінімальний гарантований час утримання і час утримання осаду, щоб уникнути вимивання бактерій і колоній. Процес має санітарний ефект, завдяки якому він може інактивувати більшість патогенних мікроорганізмів, присутніх у сировинній

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

суміші всередині метантенка. Інактивация/руйнування патогенів в основному є результатом комбінованого впливу температури процесу (термофільної або мезофільної) і часу утримання сировини в метантенку. Загалом, чим вища температура і чим довший час утримання, тим вищий ефект інактивации/руйнування патогенів [50].

Обробка дигестату включає кілька можливих технологічних етапів: сепарацію твердої фази та спеціальну обробку для вилучення компонентів N, P, K, оскільки N і K в основному містяться в рідкій фракції, а P – у твердій фракції.

Метою сепарації є механічне розділення дигестату на рідку і тверду фракції. Суттєвого зменшення об'єму не відбувається, лише потреба в резервуарах для зберігання рідкого дигестату зменшується приблизно на 10-20 % за рахунок відокремлення твердої фракції, залежно від складу вихідних матеріалів і технології сепарації. Сепарація, як правило, є першим етапом перед подальшою обробкою, спрямованою на отримання концентрованих рідкого та твердого залишків, придатних для безпосередньої та екологічно безпечної утилізації. Рекомендується принаймні часткова рециркуляція технологічної води, оскільки це зменшує зусилля з очищення рідкої фази.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ОС 19510044				Арк
				30

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика та аналіз агроекологічних показників дигестату

3.1.1 Вплив виду субстрату

Склад і якість дигестату визначається складом і якістю вихідної сировини в поєднанні з ефективністю процесу зброджування. Це два найважливіші фактори, які визначають якість дигестату як добрива. Тому основним заходом в управлінні якістю дигестату є забезпечення високої якості сировини. Матеріали, що використовуються як сировина, повинні бути не тільки легко засвоюваними, але й не повинні бути забруднені небажаними матеріалами та сполуками хімічної (органічної та неорганічної), фізичної або біологічної природи.

Вичерпний перелік біовідходів, придатних для біологічної переробки, був опублікований в Європейському каталозі відходів у 2002 році.

Матеріали, що постачаються на біогазові установки, які використовують дигестат як добриво, в основному належать до перелічених нижче категорій:

- гній тварин;
- зернові культури;
- овочеві побічні продукти та залишки, а також відходи сільського господарства, садівництва, лісового господарства тощо;
- засвоювані органічні рештки та стічні води від виробництва кормів для тварин (рослинного та тваринного походження);
- органічна фракція побутових відходів та харчових залишків (рослинного та тваринного походження);
- побічні продукти тваринного походження;
- інші промислові відходи (дубильні речовини, відбілююча глина з паперової та текстильної промисловості, гліцерин тощо).

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	--------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк 31
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

Біовідходи (наприклад, садові відходи та садові продукти) мають тенденцію до зниження вмісту поживних елементів (N, P і K) у дигестаті, тоді як поєднання побічних продуктів тваринництва та свинячого гною підвищує їх вміст. Вміст аміаку та загального фосфору можна зменшити шляхом метанізації осаду міських очисних споруд або комбінованої метанізації відходів тваринництва (особливо свинячого гною) та побічних продуктів тваринництва (свинячий гній може містити фенольні сполуки на додаток до міді та цинку, що збільшує вміст фенолів у дигестаті (якщо частка свинячого гною в метанізаторі є високою) та в ґрунті після внесення добрив), а також в (що має ефект зниження мікробної активності) [54].

Дигестат з комунальних відходів часто містить більше небажаних елементів (мікроелементів, включаючи метали та деякі органічні забруднювачі), ніж дигестат з сільськогосподарських джерел (за винятком осаду з промислових свиноферм, який багатий на мідь і цинк, що надходять з продуктів харчування, кормів для тварин і харчових добавок). Такі забруднювачі, як діоксини, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ), пестициди, ПХБ, хлоровані парафіни, фталати і фенольні сполуки були виявлені в різних типах дигестату.

3.1.2 Вплив типу попереднього оброблення сировини

Для певних видів сировини попередня санітарна обробка проводиться на підприємстві виробника сировини, таким чином мінімізуючи будь-яку можливу біологічну небезпеку, пов'язану з транспортуванням несанірованого матеріалу. В інших ситуаціях попередня санітарна обробка проводиться в спеціальних установках на біогазовому заводі. На європейських біогазових заводах попередня санітарна обробка зазвичай включає в себе попереднє нагрівання певної сировини (залежно від категорії матеріалу в регламенті АВР) шляхом періодичної пастеризації при 70°C протягом 1 години або стерилізації під тиском при 133°C і 2,4 бар протягом 20 хвилин.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						32

Датський досвід показує, що санітарна обробка, еквівалентна пастеризації, може бути досягнута при термофільних або мезофільних температурах, якщо сировина перебуває в метантенку протягом певного часу (мінімальний гарантований час витримки) [53].

Залишкове тепло незараженого матеріалу може бути утилізоване за допомогою теплообмінників і використане для підвищення температури вхідної сировини.

В інших випадках незараження можна проводити після зброджування.

3.1.3 Вплив типу після оброблення дигестату

Подальша обробка дигестату може концентрувати, розділяти і розбавляти ці поживні речовини (або забруднювачі). Метод "фазового розділення" дозволяє окремо оцінити рідкий дигестат (квазімінеральне добриво) і майже суху фракцію, яка часто містить фосфор і може бути використана як органічна добавка.

Регулювання рН. рН готового дигестату може знадобитися відрегулювати перед застосуванням. Методи підкислення або підлужнення можуть бути використані для зміни рН, гарантуючи, що він підходить для конкретних культур або умов ґрунту. Коригування рН може знадобитися для оптимізації доступності поживних речовин, пом'якшення потенційних проблем із рН ґрунту або полегшення сумісності з іншими сільськогосподарськими ресурсами. Додавання гідроксиду кальцію (вапна) до дигестату може служити багатьом цілям. Вапно можна використовувати для регулювання рН дигестату, особливо якщо він надто кислий. Вапно є лужною сполукою, яка може підвищити рівень рН, роблячи дигестат більш придатним для певних культур або умов ґрунту. Крім того, вапно також може допомогти стабілізувати дигестат, зменшуючи запахи та покращуючи характеристики обробки.

Додавання заліза до дигестату зазвичай здійснюється для вирішення проблем, пов'язаних із виробництвом сірководню (H₂S) і контролем запаху.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						33

Сполуки заліза, такі як хлорид або сульфат заліза, можуть реагувати з газоподібним сірководнем, утворюючи сульфід заліза, який має відносно менший запах. Цей процес, відомий як хімічне очищення або хімічне окислення, допомагає пом'якшити запахи та зменшити виділення сірководню під час зберігання або застосування дигестату.

Вдування аміаку (впорскування аміаку) у дигестат передбачає введення газоподібного аміаку в рідкий дигестат. Цей метод лікування може служити кільком цілям. Введення аміаку збільшує вміст азоту в дигестаті шляхом введення додаткового аміачного азоту. Це може підвищити вміст поживних речовин у дигестаті та зробити його більш придатним як добриво. Крім того, введення аміаку також може допомогти в регулюванні рН, оскільки газоподібний аміак є основним і може підвищити рН, якщо дигестат занадто кислий.

Готовий дигестат може пройти процес дозрівання або витримки, який передбачає його зберігання в контрольованих умовах протягом певного періоду. Це дозволяє розщепити будь-які залишкові леткі сполуки, зменшити кількість патогенів і підвищити стабільність. Періоди дозрівання можуть відрізнятися залежно від таких факторів, як початкова якість дигестату та бажані кінцеві властивості.

Залежно від складу та характеристик рідкої фракції дигестату можуть застосовуватися додаткові варіанти обробки. Методи очищення можуть включати біологічні процеси, такі як створені водно-болотні угіддя, де рідкий дигестат пропускають через систему водних рослин і мікроорганізмів для подальшого видалення поживних речовин і забруднень. Передові технології очищення, такі як окислення, адсорбція або передові системи фільтрації, також можуть бути використані для покращення якості рідкої фракції.

При виборі методу обробки важливо враховувати конкретні потреби, нормативні вимоги та передбачуване застосування готового дигестату. Кожен варіант обробки має свої переваги, і вибір повинен базуватися на таких

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

факторах, як склад поживних речовин, бажана стабільність, потенційний вплив на навколишнє середовище та економічна доцільність.

Важливо зазначити, що використання цих добавок або методів обробки має здійснюватися з обережністю та відповідно до місцевих правил і вказівок. Конкретне дозування, час і методи застосування можуть змінюватися залежно від бажаних результатів, потреб у поживних речовинах і потенційних екологічних міркувань. Консультації з сільськогосподарськими експертами, консультаційними службами або місцевими регуляторними органами можуть надати вказівки щодо відповідного використання цих добавок при обробці дигестату.

Біодобрива є технічно живими і можуть жити в симбіозі з корінням рослин. Мікроорганізми можуть перетворювати складні органічні речовини на прості сполуки, які легко засвоюються рослинами. Мікроорганізми працюють у довгостроковій перспективі, покращуючи родючість ґрунту. Вони можуть підтримувати природне середовище існування ґрунту. Вони підвищують врожайність на 20-30%, замінюють 30% хімічного азоту і фосфору та стимулюють ріст рослин. Вони також можуть захистити від посухи та деяких хвороб, що передаються через ґрунт. Також було показано, що біодобрива з їхньою здатністю фіксувати азот і розчиняти фосфор призводять до найбільшого ефекту у виробництві більшої кількості врожаю [6]. Біодобрива сприяють росту пагонів і коренів багатьох культур порівняно з контролем [7]. Це важливо при вирощуванні нового насіння. Біодобрива також сприяють оздоровленню ґрунтів, що, в свою чергу, покращує стійкість сільського господарства.

Оскільки аміак майже завжди є надлишковим у дигестаті, до нього додають оксид магнію та фосфорну кислоту. Крім того, рН дещо знижують до найбільш сприятливого для осадження струвіту значення на рівні 8,5–9,0, що відповідає даним, наведеним в огляді Silicano та ін. Утворений струвіт є добрим добривом, оскільки N, P і Mg є цінними поживними речовинами для рослин.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510044

Арк
35

Відновлення азоту і фосфору шляхом осадження струвіту ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) може покращити управління азотом і фосфором, оскільки їх можна експортувати з ферм на великі відстані за відносно низькою вартістю. Магнієво-амонійно-фосфатні продукти можуть містити 12,65 % P у чистому вигляді, тоді як струвіт, осаджений з органічних відходів, містить від 6 до 12 % [20].

Основним недоліком осадження струвіту є те, що потрібна велика кількість хімікатів, а це призводить до високих операційних витрат. Альтернативним процесом може бути відновлення хімічних речовин, оскільки струвіт вивільняє амоній і воду після нагрівання до температури значно вище 100 °C. Утворений гідрофосфат магнію можна повторно використовувати для осадження амонію та як джерело фосфору і магнію для очищення неочищених стічних вод. За останні 10 років дослідники вивчали різні методи розкладання, включаючи пірогенізацію струвіту, дистиляцію, ацидоліз, хлорування та електроліз

3.2 Агроекологічна оцінка дигестату як біодобрива

3.2.1 Форма та спосіб внесення добрива

Ефективне використання дигестату є надзвичайно актуальним в Україні. Розвинений агропромисловий сектор економіки України з великою часткою сільськогосподарських угідь потребує значної кількості добрив. Практика господарювання та форми власності на землю за роки незалежності України негативно вплинули на родючість ґрунтів, що призвело до втрати значної частини гумусу, дисбалансу вмісту поживних речовин, підкислення та підлуження ґрунтів, дефіциту рухомих форм фосфору, калію та мікроелементів, хімічного та радіаційного забруднення, а також ерозії ґрунтів. Причини таких умов криються в інтенсивному виробництві з домінуючим використанням мінеральних добрив і критичним падінням обсягів внесення органічних добрив [17].

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510044

Арк

36

Ряд попередніх обробок може бути застосований до сировини з метою покращення продуктивності шляхом збільшення концентрації або доступності органічного матеріалу, що легко розкладається. Попередня обробка включає базові операції, такі як видалення фізичних домішок, подрібнення та гомогенізація. Інші попередні обробки є більш складними і включають мацерацію, термічний та хімічний гідроліз, обробку ультразвуком тощо.

Сировина з низьким вмістом сухої речовини, наприклад, свинячий гній, може бути попередньо розділена перед зброджуванням на рідку і тверду фракції. Твердо-рідинне розділення використовується для зменшення об'ємів і витрат на транспортування сировини. Тверда фракція може постачатися на біогазовий завод, а рідка фракція може застосовуватися як рідке добриво. Можна використовувати мобільні сепаратори (наприклад, декантерні центрифуги або шнекові преси), які обслуговують декілька ферм. Спільне використання сепараторів знизить витрати на сепарацію.

Дигестат можна вносити безпосередньо в ґрунт або розбавляти водою. Потім продукт розподіляється по полю за допомогою розкидача. Розкидач використовується для того, щоб забезпечити рівномірний розподіл дигестату по поверхні ґрунту. Розкидання дигестату можна використовувати для обробки ґрунтів з дефіцитом поживних речовин і забезпечення ефективного росту сільськогосподарських культур у майбутньому. Процес і кількість дигестату визначаються шляхом тестування, яке показує правильний рівень поживних речовин, що потрапляють у ґрунт. Для полегшення зберігання та транспортування дигестату під час переробки його переважно гранулюють.

Наприклад, МХП Еко Енерджі проводило експеримент зі внесенням рідкої фракції дигестату на полі силосу. Приріс врожайності по відношенню до полей, де це біодобриво не використовувалось склав – 15–20 % [4].

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						37

3.2.2 Вплив на параметри ґрунту

Дигестат сприяє відновленню ґрунту. Це пов'язано з тим, що дигестат містить велику кількість мікро- і макроелементів та мікроорганізмів, які нормалізують рівень рН ґрунту.

За результатами пестицидного аналізу цього добрива, воно забезпечує рослини макро- і мікроелементами, вдвічі знижує кислотність ґрунту на кислих ґрунтах і зменшує використання мінеральних добрив.

Дигестат, що утворюється при ферментації свинячого гною, містить різноманітні мікроорганізми, в тому числі значну кількість патогенних і гнильних бактерій, на додаток до ключових елементів, таких як азот, калій і фосфор. Таким чином, дигестат є одночасно і органічним добривом, і біоорганічним добривом [45].

В середньому за рік рН ґрунту підвищується на 0,72 одиниці. Це пов'язано з лужним характером дигестату. Зокрема, спостерігається стійке зростання вмісту в ґрунті таких макро- та мікроелементів, як вуглець та магній. Таким чином, дигестат безпосередньо відновлює ґрунт.

3.3 Рекомендації щодо удосконалення способу одержання біодобрива з дигестату

У більшості країн існують суворі обмеження на концентрацію хімічних, фізичних і біологічних забруднювачів у будь-якому матеріалі, що вноситься в ґрунт, тоді як інші країни встановлюють обмеження на вміст таких забруднювачів у ґрунті. Національні рекомендації щодо домішок в органічних рештках включають максимальні значення у % від сухої речовини для загальних домішок і різних фракцій, таких як пластмаси, метал, скло, залізні метали, не залізні метали, камінь. Відповідні норми щодо добрив або аналогічні стандарти були розроблені та впроваджені в Австрії, Бельгії, Фінляндії, Франції, Німеччині, Італії, Нідерландах, Норвегії, Іспанії, Швеції понад 20 років тому.

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Отже, українське законодавство може бути адаптоване до європейських норм відповідно до місцевих умов.

Ще однією особливістю дигестату є питання контролю якості та біобезпеки під час тривалого зберігання перед застосуванням. Наявність певної частки нестабілізованої органічної речовини та вологи визначає ризики, пов'язані з розвитком небажаних біологічних процесів у дигестаті (як твердій, так і рідкій фракції), а відповідно зміною фізико-хімічних властивостей, утворенням забруднень бактеріальної або грибової природи тощо. Таким чином, створення товарного продукту з дигестату можливе лише після стабілізації, яка передбачає видалення надлишкової вологи.

Тверда фракція дигестату після сепаратора має більший потенціал для ринкового застосування, ніж рідка, що узгоджується з результатами інших досліджень. Таким чином, окрім прямого використання як добрива та покращувача ґрунту, можливе також компостування з різними органічними матеріалами для виробництва компосту. Компостування є способом подальшої стабілізації та знезараження органічних речовин, а тому з точки зору маркетингових стратегій компостування дигестату має очевидні переваги з точки зору довготривалого збереження якості. Сфера застосування компосту охоплює як безпосереднє використання як органічного добрива та покращувача ґрунту, так і використання компосту як замітника ґрунту в садівництві, тепличному господарстві, вирощуванні грибів, домашньому та промисловому квітникарстві. Крім того, компост використовується в загальному озелененні, технічному плануванні територій, озелененні міських територій. Ще одним потенційним застосуванням може бути використання дигестату або компосту для покриття сміттєзвалищ або відновлення родючості забруднених та малопродуктивних земель [41].

Для полегшення зберігання та транспортування дигестату під час переробки його переважно гранулюють. Модернізація (сушіння або гранулювання) дозволяє виробляти такі добрива, як струвіт або сульфат амонію,

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

Арк

39

які можна легко використовувати в сільському господарстві або стандартизувати.

Грануляція дигестату – це процес, який передбачає перетворення рідкого або твердого дигестату, побічного продукту анаеробного зброджування, у гранульовану форму для полегшення обробки, зберігання та застосування як добриво або поправки до ґрунту. Гранулювання допомагає покращити фізичні характеристики дигестату, роблячи його більш зручним для транспортування, розподілу та контрольованого вивільнення поживних речовин. Ось загальний процес гранулювання дигестату включає в себе декілька етапів. Перший етап це зневоднення. Якщо дигестат знаходиться в рідкій формі, його зазвичай зневоднюють, щоб зменшити вміст вологи. Цього можна досягти за допомогою методів механічного розділення, таких як гвинтові преси, стрічкові преси або центрифуги, які відділяють рідку та тверду фракції дигестату.

Наступний етап це – кондиціонування. Як рідкий, так і твердий дигестат може потребувати кондиціонування для оптимізації їхніх фізичних властивостей для гранулювання. Кондиціонування може включати регулювання вмісту вологи, розміру частинок і поживного складу дигестату. Для покращення процесу гранулювання та підвищення якості гранул можна додавати добавки, такі як зв'язуючі речовини, осушувачі або інші матеріали.

Методи гранулювання:

– Екструзійне гранулювання: Екструзія є широко використовуваним методом гранулювання дигестату. У цьому процесі кондиційований дигестат пропускається через екструзійну головку під тиском, утворюючи циліндричні гранули певного розміру та форми.

– Барабанне гранулювання: барабанне гранулювання передбачає перемішування кондиційованого дигестату в барабані, що обертається, під час розпилення зв'язуючого або рідкого розчину на частинки. Частинки агломерують і поступово утворюють гранули бажаного розміру та консистенції.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510044

Арк
40

– Розпилювальне гранулювання: розпилювальне гранулювання передбачає обприскування кондиційованого дигестату розчином зв'язуючого або суспензією, як правило, у псевдозрідженому шарі або баштовому грануляторі. Розпилена рідина твердне навколо частинок, утворюючи гранули під час висихання.

Після гранулювання новоутворені гранули можуть потребувати сушіння, щоб зменшити вміст вологи та підвищити їх стабільність. Сушіння може бути досягнуто за допомогою таких методів, як сушарки з киплячим шаром, роторні сушарки або інші системи сушіння, залежно від масштабу та конкретних вимог.

Висушені гранули можуть пройти процес охолодження, щоб знизити їх температуру та стабілізувати їх далі. Потім гранули зазвичай просіюють для видалення будь-яких завеликих або занижених частинок, забезпечуючи рівномірний розподіл розміру.

Принципова схема одержання гранульованого добрива з дигестату наведена на рис. 3.1.

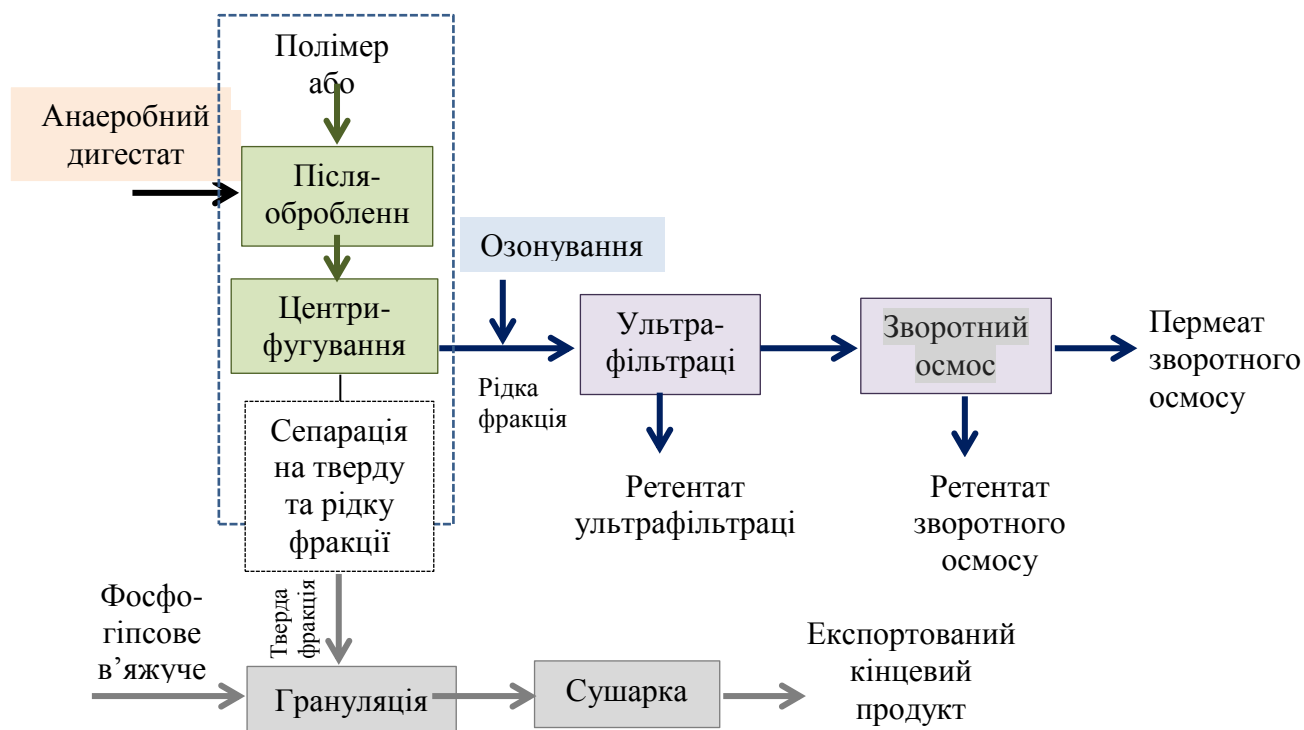


Рисунок 3.1 – Принципова технологічна схема одержання гранульованого дигестату

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

Заходи контролю якості впроваджуються для оцінки властивостей гранул, включаючи вміст поживних речовин, фізичну силу та однорідність. Кінцеві гранули можуть бути упаковані в мішки, контейнери або інші відповідні пакувальні матеріали для зберігання, транспортування та застосування.

Гранулювання дигестату пропонує кілька переваг, включаючи покращене вивільнення поживних речовин, зменшення запаху, підвищену ефективність обробки та підвищення ринкової вартості продукту дигестату. Специфічний процес гранулювання та обладнання, що використовується, можуть відрізнитися залежно від таких факторів, як характеристики дигестату, бажані властивості гранул і наявні ресурси. Важливо враховувати місцеві правила та вказівки під час впровадження гранулювання дигестату та проконсультуватися з експертами або виробниками обладнання, щоб оптимізувати процес для конкретного застосування.

Однією з переваг гранульованого добрива з технології рідкого дигестату є те, що поживні речовини з розчину, адсорбовані на твердій основі, вивільняються повільніше. Крім того, гранули легше вносяться рослинами, ніж дрібні частинки. Наприклад, порошки, як правило, здуваються з цільових ділянок і легко змиваються. Крім того, знижуються ризики, пов'язані з поведінням з дрібнодисперсними матеріалами, наприклад, вдихання. Гранули також мають покращені властивості потоку порівняно з дрібними частинками. Наприклад, дрібні частинки мають більшу схильність до злежування і злипання, ніж гранульовані матеріали. Це робить гранульовані добрива легшими для внесення на поле за допомогою механічних розкидачів, ніж порошкоподібні добрива. Порівняння фізико-хімічних властивостей цільного дигестату, відокремленого осаду і клітковини та різних комерційно доступних добрив показало, що:

- рідка фракція дигестату може бути придатною для розкидання на великих поверхнях сільськогосподарських полів

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

– тверда фракція дигестату може бути придатною для компостування з іншими органічними залишками та використання на полях [17].

Гранули з дигестату можна оптимально продавати в невеликих упаковках у садових центрах. Гранули з дигестату розчиняються під впливом вологи, а це означає, що поживні речовини, які містяться в них, надходять до рослин. Наразі лише декілька біогазових заводів в Європі гранулюють висушений дигестат і згодом продають його за межами сільськогосподарського сектору, хоча потенціал оцінюється як дуже високий. Пелети з дигестату можна додатково переробляти на спеціальні добрива з мінеральними або органічними добавками.

На рисунку 3.2 наведена схема реалізації дигестату та його похідних.

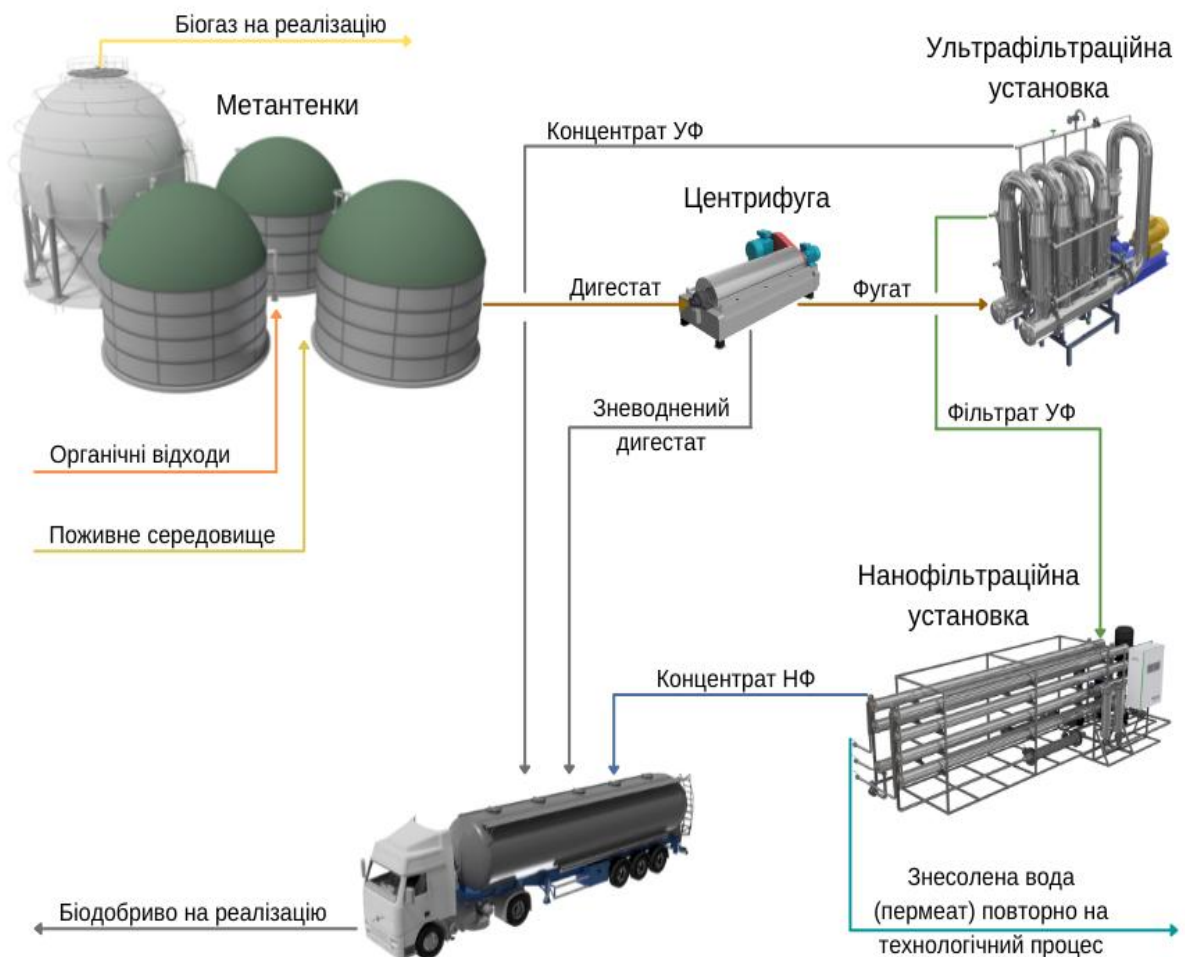


Рисунок 3.2 – Схема реалізації дигестату та його похідних

Підп. і дата
Взаєм. інв. №
Інв. № дубл.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Внесення органічних речовин у ґрунт має значний позитивний ефект, стимулюючи діяльність корисних організмів, забезпечує рослини необхідними їм мікроелементами. Також поставляються поживні речовини та мікроелементи, необхідні рослинам, покращується вологість ґрунту та забезпечується надходження додаткових поживних речовин і мікроелементів, необхідних рослинам, поліпшується водний режим ґрунту, встановлюється комфортний температурний режим для кореневої системи.

Біодобрива, на відміну від гною, не містять насіння бур'янів і шкідливих бактерій, що викликають різні захворювання. Біодобрива швидкодіючі, легко засвоюються корінням і не вимиваються. Вони є екологічно чистими та безпечними як для рослин, так і для людини. Ще однією перевагою виробництва дигестату є багатофункціональність не тільки самого дигестату, а і можливість реалізації похідних, які утворюються внаслідок виробництва.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						44

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Техніка безпеки під час роботи з посудинами під тиском

Огляд фізичних небезпек, пов'язаних з балонами. Фізичні пошкодження: Балони з високим внутрішнім тиском є дуже небезпечними, якщо вони зазнають пошкоджень внаслідок падіння або перекидання, нагрівання, дії електричних ланцюгів, руху або вібрації – будь-чого, що може спричинити слабкість або тріщини в стінці або оболонці балону. Такі пошкодження можуть призвести до розриву та вибуху балона, внаслідок чого гострі металеві шматки, подібні до шрапнелі, розлітаються по всьому приміщенню.

Найпоширеніша небезпека – це перекидання або падіння балона на вас або іншого працівника, який знаходиться поруч. Оскільки балони важкі та незручні у використанні, вони потребують особливої обережності та обладнання для поводження з ними, щоб вони не впали або не перекинулися і не спричинили травм [1].

Негерметичність клапанів. Клапани балонів можуть протікати, що призводить до витоку вмісту. Щоб мінімізувати небезпеку витоку, слід використовувати належну вентиляцію та зберігання.

Варто прочитати, зрозуміти та дотримуйтесь маркування на балоні, етикетки (етикеток) на балоні та паспорта безпеки (SDS). Кожен балон для стисненого газу має унікальні небезпеки залежно від вмісту. Деякі з них наповнені інертними газами – особливо тими, що використовуються в дуговому зварюванні. Багато газів є легкозаймистими, вибухонебезпечними, токсичними або поєднують ці властивості.

Зберігати балони в сухому, добре провітрюваному приміщенні на відстані не менше 20 футів від горючих матеріалів. Не зберігати балони в шафках. Якщо вони протікають, всередині шафки може утворитися скупчення горючих або

Інв. №поодл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	Арк 45
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

інших видів газів. Позначити місце зберігання відповідними застережними знаками, наприклад, "вогнебезпечно", "окислювач" або "токсично". Щоб запобігти можливому вибуху або пожежі, розміщувати балони в місці, де вони не будуть піддаватися механічним або фізичним пошкодженням, нагріванню або впливу електричних ланцюгів. Тримати балони подалі від руху транспортних засобів.

Зберігати порожні балони окремо від наповнених. Зберігати кисневі балони на відстані 20 футів від балонів з паливними газами, такими як ацетилену, або відокремлюйте їх негорючим бар'єром (наприклад, стіною) заввишки щонайменше 5 футів з межею вогнестійкості щонайменше півгодини.

Не вносити балони в замкнутий простір, щоб уникнути вдихання газу та можливого удушення від скупчення легкозаймистих, токсичних або хімічно активних газів [1].

Відкривати клапани повільно вручну, щоб уникнути пошкодження манометра. Якщо для відкриття клапана потрібен спеціальний інструмент, залишити його в такому положенні, щоб у разі потреби можна було швидко зупинити потік газу. Піднімати та переміщувати балони належним чином. Закривати вентиля газівих балонів, коли вони не використовуються, наприклад, під час перерви, обіду або в кінці зміни, щоб уникнути витоків.

Уникати потрапляння мастила або жиру на балони або регулятори/манометри, особливо ті, що містять кисень, щоб уникнути пожежі або вибуху. Зберігання не потрібне для окремих балонів з паливним газом і киснем, готових до використання, з регуляторами, закріпленими на відповідному візку.

Загальні положення з охорони праці

1. До самостійного виконання робіт з обслуговування посудин, що працюють під тиском, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж, навчання та стажування на робочому місці, перевірку знань з питань охорони праці та мають

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						46

відповідну кваліфікацію згідно з групою з електробезпеки не нижче I і кваліфікаційною характеристикою, визначеною в кваліфікаційній інструкції.

2 Під час виконання робіт з технічного обслуговування посудин, що працюють під тиском, необхідно:

- Виконувати тільки роботи, описані в інструкції з експлуатації.
- Дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку.
- Використовувати відповідні засоби індивідуального та колективного захисту.
- Дотримуватися вимог охорони праці та техніки безпеки.
- негайно повідомляти безпосередньому керівнику або керівникам про будь-яке погіршення стану здоров'я, наприклад, про небезпечні для життя ситуації, нещасні випадки на виробництві або ознаки гострого професійного захворювання.

– Проходити навчання безпечним методам, прийомам і способам надання першої медичної допомоги при нещасних випадках на виробництві, проходити інструктажі з охорони праці та перевірку знань вимог охорони праці.

– Проходити регулярні обов'язкові медичні огляди протягом трудової діяльності, а у випадках, передбачених трудовим та іншим законодавством, – у порядку, встановленому роботодавцем.

– Надавати першу допомогу потерпілим від ураження електричним струмом та інших нещасних випадків.

– Користуватися первинними засобами пожежогашіння.

3. У разі отримання травми або захворювання припинити роботу, повідомити керівника робіт і звернутися за медичною допомогою.

4.2 Розрахунок природної вентиляції у лабораторному приміщенні

Належна вентиляція на робочому місці видалить брудне повітря з будівлі. Необхідно забезпечити циркуляцію чистого повітря ззовні всередину будівлі, використовуючи при цьому систему рециркуляції повітря, що знаходиться

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ОС 19510044

Арк
47

всередині. Циркуляція повітря в приміщенні запобігає його застаріванню та збалансовує рівень кисню в приміщенні, щоб співробітники могли комфортно дихати.

Покращення якості повітря в приміщенні може підвищити утримання співробітників і продуктивність праці на робочому місці. Чисте повітря створює більш комфортне та здорове робоче середовище. Люди, які працюють в таких умовах, рідше просять надмірну відпустку або звертаються за інвалідністю через виробничі травми, спричинені поганою якістю повітря, наприклад, астму.

Вентиляція виробничих приміщень у теплу пору року забезпечується безканалюю природною вентиляцією припливу повітря, тобто вентиляцією нижніх прорізів стінових огорожень, воріт і вхідних дверей. У періоди низьких зовнішніх температур необхідна кількість повітря подається через отвори в стінах на висоті не менше 4 м над рівнем підлоги. У всі сезони відпрацьоване повітря видаляється через шахти, дефлектори та ліхтарні отвори.

У періоди низьких температур вентиляційні отвори відкривають тільки там, де вони знаходяться над інтенсивними джерелами тепла. При надлишку видимого тепла в приміщенні температура повітря в приміщенні завжди вища, ніж температура зовнішнього повітря, з відповідно меншою щільністю. Це спричиняє різницю в тиску повітря ззовні та всередині приміщення [2].

На площині на певній висоті в приміщенні (так званій ізобаричній поверхні) ця різниця відсутня, тобто дорівнює нулю. Вище ізобаричної поверхні існує надлишковий тиск, де нагріте повітря викидається назовні, а нижче - розрідження, куди надходить свіже повітря. Тиск, який змушує повітря рухатися при природній вентиляції, можна визначити за допомогою наступної формули:

$$P_{\Pi} = (\rho_{\text{вс}} - \rho_{\text{з}}) \cdot h \cdot g, \quad (4.1)$$

де $\rho_{\text{з}}$ – густина зовнішнього повітря, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{вс}}$ – густина повітря всередині приміщення, кг/м^3 ;

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044				

h – відстань від центру припливного отвору до центру витяжного по вертикалі, м;

g – прискорення вільного падіння, що дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$.

$$P_{\text{п}} = (1,4-1,29) \cdot 0,22 \cdot 9,81 = 0,237 \text{ Па}$$

Об'єм вентиляційного повітря визначається індивідуально для кожного приміщення з урахуванням наявності або відсутності шкідливих домішок (речовин) або за результатами попередніх досліджень. Якщо природу або кількість забруднювача неможливо врахувати, об'єм повітрообміну визначається за співвідношенням:

$$L = V_{\text{пом}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.2)$$

де $V_{\text{пр}}$ – об'єм приміщення, м^3 ;

$K_{\text{пр}}$ – кратність мінімального повітрообміну, 1/год.

$$L = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Визначте кратність повітрообміну відповідно до кількості людей у приміщенні:

Визначення кількості повітрообміну для видалення надлишкового тепла:

$$L = Q / (\rho \cdot C_p \cdot (t_v - t_n)), \quad (4.3)$$

де Q – кількість тепла, що виділяється в приміщення, кВт;

t_v – температура витяжного повітря, $^{\circ}\text{C}$;

t_n – температура припливного повітря, $^{\circ}\text{C}$;

ρ – густина повітря, кг/м^3 ($1,205 \text{ кг/м}^3$ при 20°C);

C_p – теплоємність повітря, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ($C_p = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ при 20°C).

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ОС 19510044

Арк

49

$$L = 3,7 / (1,205 \cdot 1,005 (22,3 - 21,0)) = 2,36 \text{ (м}^3\text{/Год)}.$$

Але природня вентиляція особливо в лабораторних умовах не зможе надати необхідних показників для ведення практичної діяльності. Тому необхідно забезпечувати виробничі приміщення додатковими системами вентиляції, такими як кондиціонування, зволоження та інші.

Інв. № по длу.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ОС 19510044	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		50

ВИСНОВКИ

Одними з широко використовуваних, а в деяких випадках і зловживаних факторів виробництва є хімічні або синтетичні добрива. Хоча різні дослідження доводять, що розумне використання синтетичних засобів виробництва є прийнятним, не можна заперечувати його негативний вплив у довгостроковій перспективі, ключовим з яких є порушення балансу ґрунтової екосистеми, що може призвести до зниження врожайності і, в свою чергу, до збільшення використання хімічних засобів виробництва, що призводить до замкненого кола. У минулому столітті добрива, створені людиною, значно підвищили виробництво сільськогосподарських культур, дозволивши фермерам вирощувати більше їжі на меншій площі.

Стандарти та технічні умови для дигестату були розроблені в кількох державах-членах ЄС. У кожній системі якість гарантується за допомогою перевірки дотримання національних регламентів (регламенти щодо побічних продуктів тваринного походження, біовідходів і добрив), у яких є дозволений перелік компонентів вихідної сировини та предмети вихідної сировини і добрив, понентів вихідної сировини і приписи щодо моніторингу та контролю процесу, з метою перевірки відповідності з гігієнічними вимогами. Це охоплює вимірювання та документальне підтвердження значень температури і рН у реакторі та систему забезпечення санітарно-гігієнічних умов, час гідравлічного утримання, а також навантаження за органічними речовинами та за об'ємом. В останні роки дигестат набув законодавчої чинності в Україні і офіційно дозволено використання дигестату, як біодобрива.

В роботі розглянуто методи аналізу складу дигестату та вплив викидів, під час його виробництва в атмосферу. Розглянуті питання щодо екологічності виробництва та використання дигетстату.

Рекомендовано використовувати дигестат в якості біодобрива за умов досягання якості кінцевого продукту.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	
ОС 19510044					

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безпека життєдіяльності. Безпека технологічних процесів і виробництва (Охорона праці) / П. П. Кукін, В. Л. Лапін, Н. Л. Пономарьов та ін. Київ: Вищ. шк., 2022. 335 с.
2. Вентиляція та кондиціонування В. Самойлов. К.: Аделант, 2019. 686 с.
3. Веденєв А. Г., Маслов О. М. Будівництво біогазових установок. Короткий посібник. Б.: "Євро", 2019. 28 с.
4. Використання дигестату МХП Еко Енерджі 2020 URL: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/dombrovskiyi-mhp-saf-seminar-digestat-2020.pdf>
5. Голуб Н. Переробка біомаси. Київ, 2021. 204 с.
6. Голуб Г. БІОГАЗ. ЮНІДО. 2019. URL: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_7.pdf.
7. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвєєв Ю. Б. Перспективи виробництва біогазу в Україні. *Відновлювана енергетика*. 2019. №3. С. 73–77.
8. ДСТУ 7588:2014 «Сільськогосподарська техніка. Установки біогазові. Методи випробування»
9. Кучерук П. П., Матвєєв Ю. Б., Ходаківська Т. В. Дослідження ефективності сумісного зброджування гною свиней та силосу кукурудзи. *Механізація, екологізація і конвертація біосировини в тваринництві*. 2018. №2. С. 45–53.
10. Кучерук П. П., Матвєєв Ю. Б., Ходаківська Т. В., Грабовський М. Б., Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні. *Пром. теплотехніка*. 2020. 35, №1. С. 107- 113.
11. Любін М., Основи запуску та експлуатації біогазових установок для фермерських господарств // *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2021. №10. С. 69–76.

Підп. і дата	
Інв. № докл.	
Взаєм. інв. №	
Інв. № дубл.	
Підп. і дата	
Інв. № докл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк 52
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

12. Нікітіна А. Біотехнологічні та мікробіологічні аспекти термофільної анаеробної переробки комунальних органічних відходів при високому навантаженні по субстрату : дис. канд. біол. наук / Нікітіна Анна Київ, 2018. 168 с.

13. Поліщук В.М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. Київ, 2021. № 185. Ч. 3 С. 180-191.

14. Скляр В. Спирні та безперечні переваги когенерації // Збірник наукових праць ВНАУ. 2018. №2.

15. Таргоня В. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2017.

16. Технологія використання біомаси в біогазових установках. Зб. наук. праць НАУ. К.: 2020. № 60.С.18.

17. Ablieieva I. Y., Geletukha G. G. Digestate Potential to Substitute Mineral Fertilizers: Engineering Approaches. *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES*. 2022. Vol. 9, no. 1. 1-12.

18. ADEME, ‘Les Energies Renouvelables en Agriculture: L’intérêt Agronomique du Digestat issu de la Méthanisation’, Fiche Technique N°3 élaborée par l’Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie (Adème), Mission Energie de la Chambre d’Agriculture du Doubs, 2 p., 2019.

19. Alastair James Ward. Mixing system improves biogas output Alastair James Ward. Processing. 2018. URL: processingmagazine.com/mixing-blending-size-reduction/article/15586689/mixing-system-improves-biogas-output

20. Alcor et Axenne, ‘Etude Stratégique pour le Développement des Energies Renouvelables en Tunisi Bilan des Réalisations’, Rapport Final de l’Agence Nationale des Energies Renouvelables, pp. 148 – 157, 2021.

21. AOAC, ‘Official Methods of Analysis’, Association of Official Analytical Chemist (AOAC), Washington, DC, 16ème Edition, 2018.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ОС 19510044	Арк
						53

22. Angelonidi E, Smith SR. A comparison of wet and dry anaerobic digestion processes for the treatment of municipal solid waste and food waste. *Water Environ J.* – 2019. – №29. – С.549–557.

23. Bhogal, A., Taylor, M., Nicholson, F., Rollett, A., Williams, J., Newell Price, P., Chambers, B., Litterick, A., Whittingham, M. (2016). DC-Agri; field experiments for quality digestate and compost in agriculture. Work Package 1 Final report (2010-2015). UK.

24. Biogasgewinnung und –nutzung. Handreichung. Institut fur Energetik und Umwelt gGmbH. 3., uberarbeitete Auflage, Gulzow, 2016. 232 p.

25. Buta Singh. Impact of mixing intensity and duration on biogas production in an anaerobic digester: a review [Електронний ресурс] / Buta Singh, Zoltán Szamosi, Zoltán Siménfalvi // *Critical Reviews in Biotechnology.* – 2020. – Режим доступу до ресурсу: DOI: 10.1080/07388551.2020.1731413.

26. B.A. Kahn, J.K. Hyde, J.C. Cole, P.J. Stoffella and D.A. Graetz, ‘Replacement of a Peat-Lite Medium with Compost for Cauliflower Transplant Production’, *Compost Science and Utilization*, Vol. 13, pp. 175 – 179, 2019.

27. B. Leclerc, ‘Guide des Matières Organiques: Fumier de bovin : p. 204-206- Fumier de poulet de chair: p. 219-221- Fiente de poule pondeuse : p. 225-227- Lisier de bovin : p. 228-230- Lisier de poule pondeuse : p. 238-240’, *Guide Technique de l’Institut Technique de l’Agriculture Biologique (ITAB)*, 2ème édition, 2021.

28. C. Serra-Wittling, S. Houot and E. Barriuso, ‘Soil Enzymatic Reponse to Addition of Municipal Solid-Waste Compost’, *Biology and Fertility of Soils*, Vol. 20 N°4, pp. 226 – 236, 2020.

29. Conseil des Productions Végétales du Québec, ‘CVPQ’, ‘Pépinières, Cultures en Conteneurs, Substrats’, 19 p., 2021.

30. Chu X., Wu G., Wang J., Hu Z.H. Dry Co-digestion of sewage sludge and rice straw under mesophilic and thermophilic anaerobic conditions // *Environmental Science and Pollution Research.* 2019. V. 22. № 24. С. 43–53.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

31. Dinh Pham Van. A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends [Електронний ресурс] / Dinh Pham Van // Environmental Engineering Research. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.eeer.org/journal/view.php?doi=10.4491/eer.2018.334>.

32. D.J. van der Gaag, F.R. van Noort, L.H.M. Stapel-Cuijpers, C. Kreij, A.J. Termorshuizen, E. van Rijn, S. Zmora-Nahum and Y. Chen, ‘The Use of Green Waste Compost in Peat-Base Potting Mixtures: Fertilization and Suppressiveness Against Soilborne Diseases’, Scientia Horticulturae, Vol. 114, N°4, pp. 289 – 297, 2017.

33. F. Gauthier, S. Gagnon et B. Dansereau, ‘Incorporation de Résidus Organiques dans un Substrat Tourbeux pour la Production d’Impatiens et de Géraniums’, Canadian Journal of Plant Science, Vol. 78, pp. 131 – 138, 2019.

34. J.G. Fuchs, U. Galli, K. Schleiss and A. Wellinger, ‘Caractéristiques de Qualité des Composts et des Digestats Provenant du Traitement des Déchets Organiques’, Association Suisse des Installations de Compostage (ASIC) & Forum Biogaz Suisse, 26 p., 2021.

35. H.A.J. Hoitink, A.G. Stone and D.Y. Han, ‘Suppression of Plant Diseases by Composts’, HortScience, Vol. 32, N°2, pp. 184 – 187, 2020.

36. Hamed M.El-Mashad. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure / Hamed M.El- Mashad. // Bioresource Technology. – 2018. – №95. – С. 191–201.

37. M. Larbi, ‘Influence de la Qualité des Composts et de leurs Extraits sur la Protection des Plantes contre les Maladies Fongiques’, Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, 2019.

38. M. Mustin, ‘Le Compost: Gestion de la Matière Organique’, Edition François Dubusc, Paris, 954 p., 2020.

39. M.P. Bernal, J.A. Albuquerque and R. Moral, ‘Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment’, Bioresource Technology, Vol. 100, N°22, pp. 5444 – 5453, 2019.

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № покл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	OC 19510044	Арк
						55

40. M. Comtois et M. Legaré, 'La Fertilisation des Plantes Ligneuses Cultivées en Contenant', Institut Québécois de Développement de l'Horticulture Ornementale, 57 p., 2021.

41. M. Soumaré, A. Demeyer, F.M.G. Tack and M.G. Verloo, 'Chemical Characteristics of Malian and Belgian Solid Waste Composts', Bioresource Technology, Vol. 81, N°2, pp. 97 – 101, 2022.

42. M. Annabi, 'Stabilisation de la Structure d'un Sol Limoneux par des Apports de Composts d'Origine Urbaine: Relation avec les Caractéristiques de leur Matière Organique', Thèse de Doctorat de l'Institut National Agronomique (INA) Paris-Grignon, 280 p., 2022.

43. P. Morard, 'Les Cultures Végétales Hors Sol', Publications Agricoles Agen, Paris, 2020.

44. P. Levasseur et C. Aubert, 'Contexte, Atouts et Faiblesses des Effluents Porcins et Avicoles Destinés à Etre Exportés', ESA d'Angers, Vol. 29, N°2, 9 p., 2019.

45. P. Pouech, 'Principales Caractéristiques des Digestats', Journée Technique Nationale, 'Réussir un Projet de Méthanisation Associant des Déchets Ménagers Agricoles et Industriels', 7 Octobre 2018, 6 p., Adème, France, 2018.

46. P. Vanai, 'Valorisation Agronomique d'un Compost Urbain Produit par Méthanisation: Etude en Milieu Tropical', Thèse de Docteur en Sciences de l'Université Française du Pacifique (UFP), Spécialité Chimie, 172 p., 2018.

47. Rapport J, Zhang R, Jenkins BM, Williams RB. Current anaerobic digestion technologies used for treatment of organic wastes. California Environmental Protection Agency. California: California Integrated Waste Management Board; 2018.

48. R. Gras et I. Agius, 'Quelques Propriétés Physiques des Substrats Horticoles', PHM Revue Horticole, Vol. 234, pp. 11 – 13, 2020.

49. S.M. Tiquia, 'Reduction of Compost Phytotoxicity during the Process of Decomposition', Chemosphere, Vol. 79, N°5, pp. 506 – 512, 2019.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	OC 19510044	Арк
						56

50. S. Goyal, S.K. Dhull and K.K. Kapoor, ‘Chemical and Biological Changes During Composting of Different Organic Wastes and Assessment of Compost Maturity’, Bioresource Technology, Vol. 96, pp. 1584 – 1591, 2018.

51. The Food and Agriculture Organization (FAO) [Електронний ресурс] – 2020. – Режим доступу: <https://latifundist.com/kompanii/1044-the-food-and-agriculture-organization>

52. Trzcinski AP, David CS. Microbial biomethane from solid wastes: Principles and biotechnological processes. USA: CRC Press; 2017. p. 77– 151.

53. I. Tou, S. Igoud et A. Touzi, ‘Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales’, Revue des Energies Renouvelables: Production et Valorisation Biomasse, pp. 103 – 108, 2021.

54. Vandevivere P, De Baere L, Verstraete W. Types of anaerobic digester for the organic wastes. London: IWA Publishing; 2023. С. 111–140.

55. Y. M’Sadak, A. Ben M’Barek and L. Tayachi, ‘Possibilités d’Incorporation du Méthacompost Avicole dans la Confection des Substrats de Culture à Base de Compost Sylvicole en Pépinière Forestière’, Revue Nature et Technologie, Vol. 06, pp. 59 – 70, 2022.

56. Zareei S. Modeling and optimization of biogas production from cow manure and maize straw using an adaptive neuro-fuzzy inference system [Електронний ресурс] / S. Zareei, J. Khodaei // Renewable Energy. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: doi:10.1016/j.renene.2017.07.050.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата