

Луцький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет аграрних технологій та екології  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))  
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесів виробництва твердих органічних добрив з удосконаленням аератора-змішувача»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм- 21  
спеціальності 208 Агроінженерія  
за освітньо-професійною  
програмою «Агроінженерія»

Коцюба О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дідух В.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Голій О.В.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Завідувач кафедри аграрної інженерії  
ім. проф. Г.А.Хайліса  
доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_ В.В. Сацюк  
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Коцюбі Олександр Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесів виробництва твердих органічних добрив з удосконаленням аератора-змішувача

керівник роботи Дідух Володимир Федорович, професор, д.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

## 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані .....	1 лист
2. Теоретичні положення .....	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Коцюба О.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дідух В.Ф.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сацюк В.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота за спеціальністю 208 – агроінженерія, ОПП – агроінженерія. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2023.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку джерел посилання. Загальний обсяг роботи складає 55 сторінок, включає 25 рисунків, 3 таблиць, перелік джерел посилання з 19 назв та 2 додатки.

У магістерській роботі проведено огляд літератури та сформульовано завдання досліджень за обраною темою. Виявлено, що проблемою сучасного сільськогосподарського виробництва у рослинництві є нестача органічних добрив. Через відсутність органіки, у ґрунти, все більше вноситься мінеральних добрив для збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Безконтрольне використання мінеральних добрив призводить до зміни екологічного стану навколишніх середовищ. Основною причиною зменшення органічних добрив стало різке скорочення тваринництва. Для поповнення запасів органічних добрив необхідно налагоджувати їх промислове виробництво.

Теоретично обґрунтовано технологію виробництва твердих органічних добрив з використанням аеробних процесів. Така технологія не ставить особливих вимог до вихідної сировини та характеризується короткотривалим періодом приготування високоякісних органічних добрив. Єдиним затратним робочим процесом у технології є застосування аерації закладених компостів. Тому, у магістерській роботі, вказано на конструктивні особливості удосконалення аератора-змішувача і проведено дослідження основних параметрів і режимів його роботи при взаємодії з компонентами органічної сировини..

Запропоновано програму досліджень, яка включає методики проведення експериментальних досліджень і опис лабораторного устаткування. Приведені результати досліджень та вказано на подальше удосконалення технології виробництва органічних добрив з використанням аеробного процесу.

**Ключові слова:** технологія, виробництво, органічні добрива, аерація, змішування, компостування, шнек.

## ABSTRACT

Master's thesis on specialty 208 - agricultural engineering, OPP - agricultural engineering. Lutsk National Technical University, Lutsk, 2023.

Structure and volume of the research work. The research work consists of entry, four sections, general conclusions, list of the used sources and additions. The general volume of work is made by an 55 page, includes 25 drawings, 3 tables, list of the used sources from 19 names and 2 additions.

In the master's thesis, a review of the literature was carried out and the task of research on the chosen topic was formulated. It was found that the problem of modern agricultural production in crop production is the lack of organic fertilizers. Due to the lack of organic matter, more and more mineral fertilizers are applied to the soil to increase the yield of agricultural crops. Uncontrolled use of mineral fertilizers leads to a change in the ecological state of the surrounding environment. The main reason for the decrease in organic fertilizers was a sharp reduction in animal husbandry. To replenish stocks of organic fertilizers, it is necessary to establish their industrial production.

The production technology of solid organic fertilizers using aerobic processes is theoretically substantiated. This technology does not make special requirements for raw materials and is characterized by a short period of preparation of high-quality organic fertilizers. The only costly work process in the technology is the use of aeration of the laid composts. Therefore, in the master's thesis, the design features of the improvement of the aerator-mixer were indicated and the main parameters and modes of its operation during interaction with the components of organic raw materials were studied

A research program is proposed, which includes methods of conducting experimental studies and a description of laboratory equipment. The research results are presented and the further improvement of the production technology of organic fertilizers using the aerobic process is indicated.

**Key words:** technology, production, organic fertilizers, aeration, mixing, composting, auger.

## ЗМІСТ

	стр.
ЗАВДАННЯ.....	3
АНОТАЦІЯ.....	4
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	11
1.1 Особливості технології аеробного виробництва органічних добрив.....	11
1.2 Огляд сировини для виробництва твердих органічних добрив.....	13
1.3 Аналіз конструкцій аераторів-змішувачів та їх робочих органів .....	17
1.4 Аналіз способів змішування сільськогосподарських матеріалів.....	19
1.5 Висновки до розділу.....	22
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Обґрунтування аеробного процесу у виробництві твердих органічних добрив.....	23
2.2 Обґрунтування конструкції аератора змішувача.....	25
2.3 Визначення технологічних параметрів аератора змішувача .....	28
2.4 Теоретичні дослідження механізму для перемішування компосту.....	31
2.5 Висновки до розділу.....	33
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	34
3.2 Лабораторне обладнання, прилади і апаратура та методики для проведення експериментальних досліджень.....	35
3.3 Результати дослідження з визначення властивостей органічної сировини .....	38
3.4 Висновки до розділу.....	42
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АЕРАТОРА ЗМІШУВАЧА.....	43
4.1 Методика та результати проведення експерименту математичним методом планування експерименту.....	43
4.2 Доцільність та напрями використання отриманих результатів досліджень.....	46

4.3 Висновки до розділу .....	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51
ДОДАТКИ.....	53

## Перелік термінів

**Аеробний процес** – процес, що вимагає присутність кисню.

**Органічні добрива** - добрива, що містять елементи живлення рослин переважно у формі органічних сполук. До них відносять гній, компости, торф, тирса, солома, зелене добриво, мул (сапрпель), промислові та господарські відходи та ін.

**Технологія** - це сукупність знань і прийомів, які впорядковано застосовуються для досягнення певної мети або вирішення проблеми.

**Машина** (від лат. *machina*, від дав.- гр. *Μηχανή* - пристрій, засіб, знаряддя) - технічний об'єкт, який складається із взаємопов'язаних функціональних частин (деталей, вузлів, пристроїв, механізмів та ін.), що використовує енергію для виконання покладених на нього функцій. Традиційно, під машиною розуміють технічну систему, яка виконує або допомагає у виконанні якогось виду роботи.

**Пристрій** - сукупність технічних елементів, окремий технічний засіб або його складова частина, які призначені для виконання однієї або кількох заданих функцій.

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Виробництво сільськогосподарської продукції, особливо органічної, неможливе без застосування твердих органічних добрив. Різке зменшення галуззі тваринництва призвело до скорочення продукування органічних добрив. Втрачена рівновага між галуззями рослинництва і тваринництва призвело до збільшення застосування мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур, що у певній мірі, впливає на родючість ґрунту та приводить до їх деградації.

В Україні традиційними органічними добривами вважається підстилковий гній. На його основі та на основі посліду, виробляються похідні органічні добрива. До них слід додати органічні добрива, які виробляються з додаванням торфу та сапропелів. Окремими можна виокремити добрива на основі природного мінералоїду – леонардиту. З появою установок для вироблення біогазу, можна виокремити також органічне добриво з дигестату та похідних продуктів з нього.

Широкий спектр виробництва сільськогосподарської продукції вимагає також різних видів органічних добрив. В залежності від технології приготування та вихідної сировини буде різний склад органічних добрив. Органічні добрива називають ще біологічними добривами. Але загалом - це завжди продукт життєдіяльності живих організмів. Головною перевагою такого добрива є його натуральність. Будь - який вид органічного добрива характеризується тривалим терміном дії і комплексністю. Живильні речовини в добривах містяться в органічних сполуках. Органічні добрива (практично всі) можна назвати комплексними, так як вони містять азот, калій, фосфор і інші мікроелементи, вітаміни, а також гормони в легкій для засвоєння рослинами формі. Внесення органічних добрив можливе під будь-які культури. Стимулюючий ефект органічних добрив значно підвищується, якщо виготовити з них дрібнодисперсний порошок.

Існують два основні види компостування - аеробне (гаряче) й анаеробне (холодне). Аеробне компостування базується на заміщенні вуглекислого газу киснем, завдяки чому органіка розкладається під дією аеробних мікроорганізмів

(бактерій і мікроміцетів). Процес здійснюється за допомогою спеціальної техніки - причіпних або самохідних перетрушувачів компосту (аераторів), які періодично перемішують органічні відходи. Перевагою аеробного компостування є максимальне збереження поживних елементів, доступність цих елементів для рослин уже в перший рік використання компосту, а також збільшення площі для внесення органічних добрив завдяки зменшенню норм унесеного компосту.

Постала проблема удосконалення процесів виробництва твердих органічних добрив вимагає проведенню нових досліджень та удосконалення аератора - змішувача.

**Об'єкт досліджень** – технологічні процеси аеробного виробництва органічних добрив.

**Предмет досліджень** – органічні добрива, органічна сировина для компостування, робочі органи аератора змішувача.

**Мета роботи.** Удосконалити технологію аеробного виробництва твердих органічних добрив.

**Завдання досліджень:**

1. Провести аналіз технологій і технічних засобів аеробного виробництва твердих органічних добрив на основі місцевої сировини.
2. Дослідити властивості органічної сировини, придатної для компостування.
3. Розробити програму та методики експериментальних досліджень.
4. Встановити визначальні параметри аератора змішувача.
5. Провести експериментальні дослідження з визначення властивостей сировини для компостування.
6. Запропонувати удосконалення технології аеробного виробництва твердих органічних добрив і конструкції аератора змішувача.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів дослідження природи: спостереження, вимірювання, експеримент, моделювання і методів, що ґрунтуються на основних положеннях теорії класичної механіки. Експериментальні дослідження проводились за відомими галузевими та розробленими методиками на лабораторних установках і приладах. При проведенні

експериментальних досліджень для визначення основних параметрів аератора змішувача застосовувано математичний метод планування експерименту.

**Результати роботи та їх новизна.** В магістерській роботі запропонована технологія механізованого аеробного виробництва органічних добрив на основі місцевої сировини. Новизна результатів досліджень полягає у обґрунтуванні технології аеробного виробництва органічних добрив та параметрів аератора змішувача.

**Апробація результатів магістерської роботи та публікації.** Результати досліджень доповідались на студентській НТК ЛНТУ в 2023 році. За темою магістерської роботи опубліковано тези.

**Структура роботи.** Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку джерел посилання і додатків. Загальний обсяг роботи складає 64 сторінки.

На захист виноситься технологія аеробного виробництва органічних добрив і удосконалення конструкції аератора змішувача.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБГУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

#### 1.1. Особливості технології аеробного виробництва органічних добрив

Виробництво твердих органічних добрив не тільки покращить ситуацію з родючістю ґрунтів, але дозволить наростити виробництво органічної сільськогосподарської продукції. Адже, Україна перебуває лише на початковому етапі розвитку органічного виробництва. І хоча темпи розвитку невпинно зростають із року в рік, проте частка органічних земель становить трохи більше 1 % в загальному обсязі сільськогосподарських угідь.

Обсяги світового виробництва органічних добрив, у тому числі і з курячого посліду, здаються мікроскопічними в порівнянні з десятками мільйонів тонн випуску їх із мінеральних-калійних, азотних і фосфорних аналогів. Незважаючи на це, сегмент органічних добрив динамічно розвивається, і за останні сім років цей ринок збільшився на 71 %. [1]. Проте, лєвова частка у використанні твердих органічних добрив належить підстилковому гною(рис.1.1).

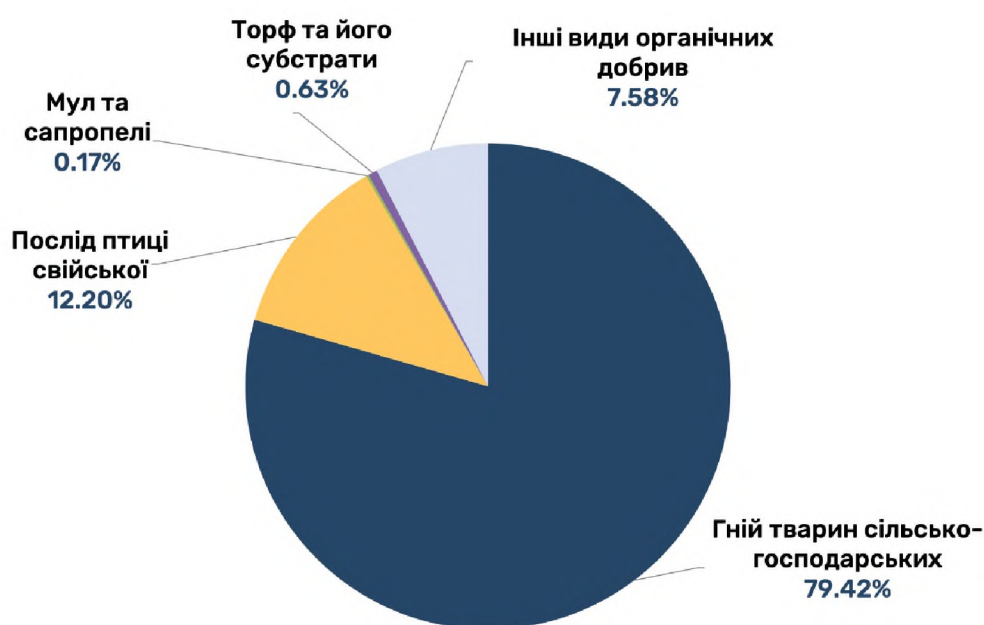


Рисунок 1.1 Розподіл споживання органічних добрив в Україні

Методологія статистичної звітності щодо внесення добрив не передбачає можливості оцінити фактичний внесок кожного виду органічних добрив за діючими поживними елементами (NPK), однак очевидною є поточна домінуюча роль відходів тваринництва (гною та посліду) в структурі використання органічних добрив.

Технологія виробництва органічних добрив передбачає[4]:

1. Збір сировинних матеріалів з дотриманням усіх санітарних та екологічних норм.
2. Попередня обробка, яка включає дроблення, змішування, дезинфекцію, тощо.
3. Компостування – основний етап виробництва органічних добрив.
4. Після завершення компостування проводять сортування, пакування та маркування готового продукту.
5. Зберігання і розподіл готового продукту на ринок. Зберігати органічні добрива необхідно у спеціальних умовах для збереження поживних речовин.

Сировину для виробництва органічних добрив можна закуповувати у різних постачальників:

- У фермерських та сільськогосподарських підприємствах. Вони можуть надавати тваринний гній, залишки рослинності та інші органічні матеріали.
- На рибопереробні підприємства можуть реалізовуватися рибні відходи.
- Промислові підприємства можуть постачати органічні відходи, серед яких - відходи харчової промисловості або зелені відходи з ландшафтних робіт.
- Організації з утилізації відходів, які займаються переробкою органічних відходів.

Вимоги до виробництва органічних добрив встановлюються низкою нормативно-правових документів, таких як ДСанПіН "Гігієнічні вимоги до добрив, агрохімікатів і пестицидів", ГОСТ "Добрива органічні. Вимоги до якості", та інші.

Професійний підхід до компостування дає змогу ефективно утилізувати будь-які рослинні рештки, відходи тваринництва та будь які органічні матеріали або відходи: опале листя, суха трава, солома, гілки кущів та дерев.

Таким чином, серед багатьох способів для промислового виробництва органічних добрив, варто звернути увагу на два: анаеробний і аеробний. Анаеробний спосіб компостування називають ще холодним компостуванням, коли органічні матеріали укладаються у бурт дуже щільно та витримують їх до повного завершення процесу без зовнішнього втручання. Так як кисень не попадає у бурт, то такий спосіб, у деякій мірі, втрачає свою ефективність. Адже за холодного компостування зберігаються й потрапляють у ґрунт всі негативні фактори (гниль, насіння бур'янів, глисти, яйця шкідників). Значно кращим є аеробний спосіб, коли в процесі компостування створюються умови доступу кисню у бурт. Також, при потребі складники компостування зволожуються. Але така технологія вимагає додаткових затрат і відповідних технічних засобів: навантажувачі, аератори, змішувачі або подрібнювачі, тощо. Тому, для здешевлення органічної продукції, важливо звертати увагу на доступну дешеву місцеву сировину.

## 1.2. Огляд сировини для виробництва твердих органічних добрив

Зниження собівартості вироблених твердих органічних добрив залежить від дешевої сировини для компостування та логістики при її доставці до місця компостування. Тому, при виборі сировини, необхідно надавати перевагу місцевим сировинним ресурсам. Відомо, що на сьогоднішній день, галузь рослинництва займає ведучу роль у АПВ. Після збирання врожаю, залишаються величезні об'єми стеблово - соломистих матеріалів, які необхідно утилізувати.

Солома є відходом виробництва зернових культур. Співвідношення зернової частини врожаю та незернової (соломи) становить приблизно 1:15, тому річні обсяги утворення соломи близькі до загального виробництва зернових культур в Україні. В процесі збирання врожаю зернова частина культури відділяється від стеблової, подальший спосіб заготівлі соломи залежить від застосованої технології. Частина соломи залишається у вигляді стерні в полі, пізніше вона приорується у ґрунт.

Серед багатьох технологій заготівля соломи, для виробництва органічних добрив найбільше підходить потокова(рис. 1.2)



Рисунок 1.2 Потокова технологія збирання соломи

Така технологія передбачає подрібнення соломи зернозбиральним комбайном та збирання подрібненого матеріалу у змінні причепа. Це дозволяє відвозити до місця використання. При відсутності причепа солома розкидається по полю.

У соломі найбільше органічної речовини, причому її склад дуже цінний для підвищення родючості ґрунту. Солома містить: целюлозу, пентозами, геміцелюлозу та лігнін, які є вуглеводними енергетичними субстратами для ґрунтових мікроорганізмів. Це основний будівельний матеріал для збільшення гумусу у ґрунтах [9].

Внесення однієї тони соломи у чистому вигляді повертає у ґрунт: 4,2 кг азоту, 1,7 кг фосфору, 8,3 кг калію, 4,2 кг кальцію, 0,7 кг магнію та інших ряд мікроелементів. Наявність соломи створює умови для доступу рослинам фосфору і калію. Одна тонна підготовленої соломи до внесення у ґрунт шляхом компостування рівноцінна 3,5-4,0 т/га соломистого гною. Ізогумусовий коефіцієнт соломи по різних джерелах становить 0,1-0,25. Це значить, що внесення 20-40 ц соломи в ґрунті забезпечує утворення 0,3-2,6 т гумусу на 1 га.

Солома покращує водопроникність ґрунту, що важливо для умов зростання глобального потепління, посилює процеси «дихання» ґрунту шляхом виділення вуглекислого газу. Для компостування величина подрібнених частинок має складати до 5-7 см. р При аеробному способі компостування, коли в процесі переробки додається кисень, бажано додавати інші складники які мають певний

вміст вологи: глину, сапрпель, торф та ін.. За правильного компостування потрібно чітко розуміти якість органічних відходів у даний момент.

У випадках використання компостів на піщаних ґрунтах хороший ефект дає глина(рис.1.3).



Рисунок 1.3 Натуральна глина.

Найдрібніші мінеральні частинки глини сильно впливають на властивості ґрунту, навіть якщо їх концентрація становить лише близько 5 %. За рахунок розбухання та зсідання глини надають ґрунту агрегатованої структури з тріщинками й порами, якими корені можуть проникати в шар ґрунту. Пропорції щодо введення складника з глини до соломи для компостування не досліджено.

Також не досліджено використання сапрпельів прісноводних озер. Сапрпель (від грецького *sapros* – гнилий і *pelos* – мул) – прісноводний мул(рис. 1.4), що утворюється на дні водоймищ з продуктів розпаду рослинних та тваринних організмів і містить більше 10% (за масою) органічної речовини у вигляді гумусу та рослинних залишків[11].

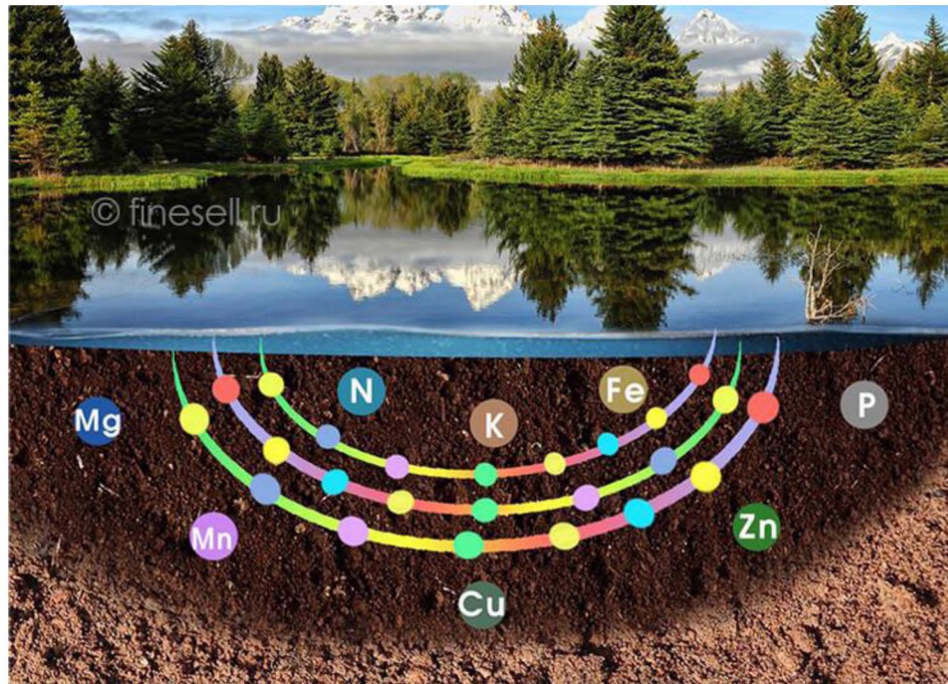


Рисунок 1.4 Озерний сапропель різного стану

Як видно з рис.1.4, сапропель багатий не тільки органічною речовиною. Але й містить цілий ряд корисних мікроелементів. Додавання сапропелю у компост забезпечить краще утримання вологи, сприятиме збільшення в ньому гумусу .

Аналогічною сировиною для компостування до сапропелю є торф. Торф – це органічна гірська порода, що утворилася внаслідок відмирання і розкладу залишків болотних рослин. Розрізняють декілька різновидів:

- низинний торф розміщується нижче рівня ґрунтових вод. Виникає внаслідок перемішування мінеральних речовин із перегниваючими рослинами;
- верховий торф утворюється в результаті нашаровування рослин та під впливом рідини у вигляді опадів;
- перехідний торф являється речовиною, що розміщується між низинним і верховим. В його утворенні приймають участь як ґрунтові води, так і опади.

Властивості торф'яників напряду залежить від складу активної рідини та видів рослин, з яких вони складаються. У ґрунтових водах достатньо високий ступінь мінералізації, в той час як вода з опадів майже не містить в своєму складі мінеральних речовин. Тож низинні торф'яники найбільше насичені мінералами, перехідні в меншій мірі, а верхові - мають найнижчий показник. Через зміну

погодних умов та відходження води з-під землі в одному місці можна зустріти нашаровування різних видів торфів.

Таким чином, наявність потужної сировинної бази вказує на перспективу виробництва твердих органічних добрив із застосуванням аерації в регіоні. При цьому, залежно від потреб у народному господарстві, можна виробляти тверді органічні добрива для різних видів ґрунтів.

### 1.3 Аналіз конструкцій аераторів змішувачів та робочих органів

Сучасні техніко - технологічні засоби механізації виробництва твердих органічних добрив, шляхом компостування, можна виділити у три групи:

- модернізовані причепа – розкидачі органічних добрив, навантажувачі, дорожньо - будівельні машини;
- спеціально виготовлені змішувачі - аератори: причіпні, навісні, самохідні, тунельні;
- змішувачі – аератори – навантажувачі безперервної дії: самохідні і причіпні.

Основне призначення вказаного технічного забезпечення забезпечити доступ кисню до компонентів компостуючої суміші. Поділ машин на вказані групи пов'язані з можливостями виробництва та вибором технології пов'язаної із сировинною базою. Для цього необхідно розробити технологічний процес виробництва твердих органічних добрив. Він включає:

- аналіз загальної характеристики господарства за виробничими ресурсами, типами і кількістю органічної сировини, наявністю техніки, термінами виробництва, логістичними маршрутами;
- розробку технологічного регламенту на основі хімічного аналізу компонентів суміші: вологості, рН, співвідношення вуглецю до азоту, визначення розмірів майданчиків для компостування з урахуванням кількості і якості органічної сировини;
- розробку технічного регламенту, що включає обґрунтування типів і кількості машин та обладнання, їх налаштування, логістичні маршрути руху техніки для технологічного забезпечення процесу компостування, експлуатаційні особливості

роботи та обслуговування, завдання для виконавців на основі технологічних карт, а також розробку циклограм виконання робіт на майданчику;

- розробку заходів з охорони праці та виробничої санітарії, техніко-економічне обґрунтування.

Основними робочими органами, які встановлені на аераторах-змішувачах є горизонтально - бітерні, лопатеві або зубчасті фрезерні барабани з обмежувальними поверхнями у вигляді рамок трикутної, трапецеїдальної або арочної форм висотою від 1,5 до 2 м. Такі розміри обумовлюють розміри буртів. Для промислового виробництва перспективу мають тунельні(рис. 1.5). Їхні переваги: простота конструкції, відносно невелика енергоємність, широкий діапазон пристосованості до господарських умов та виконання технологічного процесу.



Рисунок 1.5 Сучасний тунельний аератор -змішувач

У такому випадку створюються особливі умови для інтенсифікації процесу перетворення органічної сировини у тверді органічні добрива, зменшуються втрати поживних речовин, створюються умови аеробного процесу шляхом підвищення внутрішньої буртової температури.

#### 1.4. Аналіз способів змішування сільськогосподарських матеріалів

Аналіз кінетики змішування, яка пояснює розвиток процесу з часом показує, що процес змішування можна розділити на три етапи (рис. 1.6):

I – конвективне змішування, при якому швидкість процесу майже не залежить від фізико-механічних властивостей змішуваних матеріалів;

II – дифузійне змішування, при якому швидкість процесу дещо уповільнюється в результаті поступового перерозподілу частинок через новоутворені межі їх розподілу;

III – стан завершення змішування, коли процес характеризується зоною  $ab$  а його показники коливаються в деяких межах. Величина  $ab$  залежить від розмірів змішуваних частинок, параметрів робочих органів змішувача тощо. Подальше перемішування не покращує якості суміші.

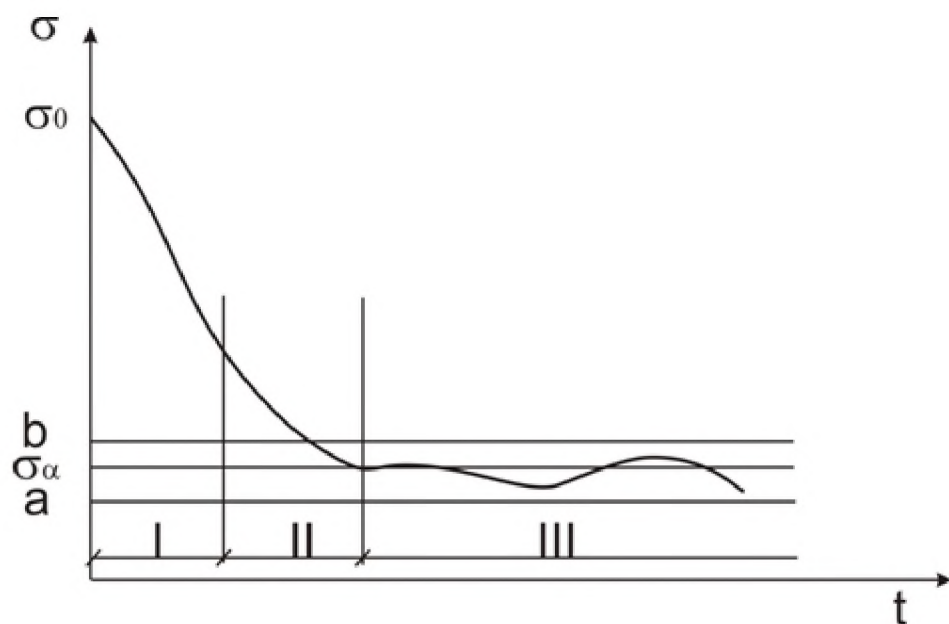


Рисунок 1.6 Етапи змішування матеріалів

Процес змішування протікає швидко у випадку перемішування однорідних матеріалів. При змішуванні матеріалів з частинками різних розмірів і неоднакових за щільністю процес протікає повільніше (етап II) і менш стабільно (етап III).

Якість змішування оцінюється наступними показниками: коефіцієнтом варіації, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним відхиленням контрольного компоненту в суміші, однорідністю.

Продуктивність або пропускна здатність змішувача безперервної дії визначається за формулою:

$$Q = F_n v_0 \beta \gamma_{см}, \quad (1.1)$$

де  $F_n$  – площа поперечного перерізу змішувача,  $m^2$ .

У випадку одновального циліндричного змішувача з діаметром  $D$  вибирають наступні параметри:

$v_0$  – швидкість осьового переміщення потоку корму,  $v_0=0,005 \dots 0,025$  м/с;

$b$  - коефіцієнт заповнення робочого об'єму,  $b=0,2 \dots 0,4$ ;

$\gamma_{см}$  – насипна маса змішаного матеріалу,  $kg/m^3$ .

Мінімальна довжина зони змішування, яка забезпечує відповідну зоотехнічним вимогам якість

$$F_n = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (1.2)$$

Потужність привода змішувачів порційної і безперервної дії

$$L_{зм} = v_0 t_{зм}, \quad (1.3)$$

де  $g_e$  – питома енергомісткість,  $kВт \times год/т$ .

Для змішувачів безперервної дії  $g_e=0,5 \dots 0,8$   $kВт \times год/т$ , а для порційної –  $1,0 \dots 1,2$   $kВт \times год/т$ .

Для інтенсивного руйнування матеріалу важливо розірвати зв'язки, сформовані природою. Таким чином міцність - основна ознака, яка чинить опір руйнуванню матеріалу. Руйнування компостів складних за своєю структурою, яка включає різні фази матеріалів підкоряється загальним законам руйнування. Так для

грунту, чисельну міцність представляють коефіцієнтом міцності [15], який обумовлений при одноосьовому стиску по  $\sigma_{ст}$ .

$$f = P / F 10^6, \quad (1.4)$$

де  $f$  - коефіцієнт міцності при одноосьовому стиску, МПа;

$P$  - навантаження на масив при одноосьовому стиску, Н;

$F$  - площа поперечного перерізу зразка, який відділяється, м<sup>2</sup>.

Компости у більшості випадків включають стеблово - соломисті включення, які у процесі змішування необхідно зруйнувати способом різання. За особливостями взаємодії між робочим органом і перероблюваним матеріалом виділяють три способи різання (рис. 1.7): пуансоном, клином та лезом.

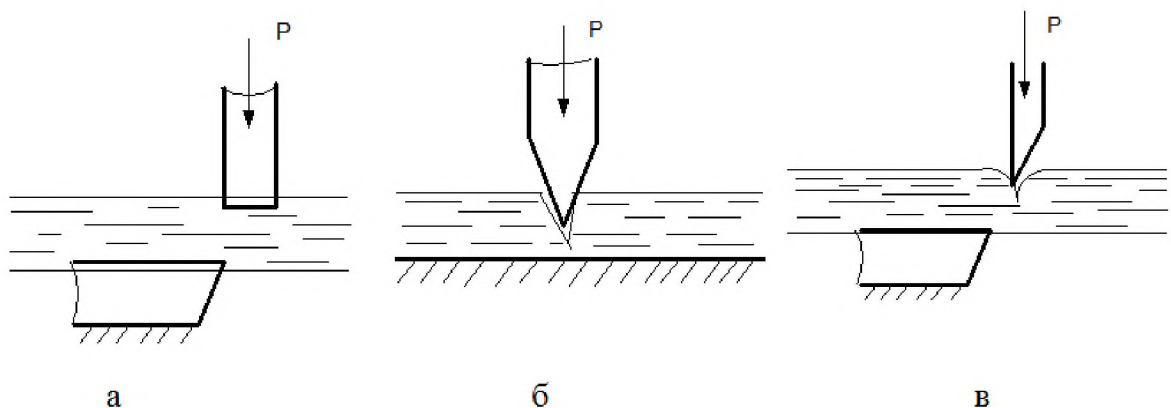


Рисунок 1.7 Способи різання: а- пуансоном; б- клином; в- лезом

У змішувального робочого органу необхідно встановлювати ножі. Передня (з боку перероблюваного матеріалу) грань ножа та його фаска утворюють кут заточування  $\alpha$ , а вершина цього двогранного кута на ножі являє собою лезо або робочу кромку ножа. Від величини цього кута (гостроти робочих органів) у значній мірі залежать енергомісткість процесу і довговічність робочих органів

Кути заточування та встановлення ножа створюють кут різання  $\beta$

$$tg \gamma = \frac{V_n}{V_p}; \quad \beta = \alpha + \gamma, \quad (1.5)$$

Саме кут  $\beta$  становить робочу гостроту ножа як клина, що деформує і розділяє матеріал на частки. Отже, від величини цього кута і залежать опір матеріалу проникненню в нього вказаного клина і зусилля різання.

#### 1.5 - Висновки до розділу

На основі аналізу літературних джерел і патентної літератури можна зробити наступні висновки:

1. Необхідність внесення твердих органічних добрив пов'язане з вирощуванням органічної продукції і відновленням родючості ґрунтів. Збільшення внесення твердих органічних добрив у сільськогосподарському секторі можливо у випадку налагодження їх виробництва на промисловій основі.

2. Якість твердих органічних добрив залежать від способу компостування. Інтенсивне приготування твердих органічних добрив потребує постійної подачі кисню у бурт для забезпечення аеробного процесу.

3. Запропонована технологія виробництва твердих органічних добрив включає використання органічної сировини місцевого походження. Раціональний підхід до її використання забезпечить низьку собівартість отриманих добрив.

4. Проведений аналіз теоретичних положень змішування компонентів вказує, необхідно враховувати умови руйнування матеріалів методом різання. На необхідність встановлення на робочі органи аератора змішувача додатково ножів, для руйнування стеблово - соломистих включень шляхом різання.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Обґрунтування аеробного процесу у виробництві органічних добрив

Процес аеробного компостування базується на заміщенні вуглекислого газу, який виділяється мікороорганізмами і бактеріями, киснем. Забезпечити таке заміщення можливо за допомогою спеціальної техніки – причіпних або самохідних перетрушувачів компосту (аераторів змішувачів). У такому випадку час приготування твердих органічних добрив не перевищує трьох місяців.

Тому, за достатньої кількості органічної сировини виробництво органічних може відбуватися круглий рік. При цьому, за низьких температур навколишнього середовища, необхідно створювати відповідні умови життєдіяльності мікроорганізмів і бактерій. Запропонована структурна схема технології виробництва органічних добрив з використанням аеробних бактерій, представлена на рис. 2.1.

Відповідно до схеми закладання компостів із використанням аеробного процесу можна проводити на протязі всього календарного року при створенні відповідних умов проведення технологічної операції аерації бурта. Тому у період відсутності морозів виробництво таких добрив можна налагодити на відкритих площадках. За наявності морозів закладати бурти для компостування варто у закритих приміщеннях. У будь якого випадку важливо забезпечити відповідні санітарні норми до проведення даного технологічного процесу та звернути увагу на можливу появу рідкої фракції. Тому всі площадки мають мати відповідні ухили для збігання рідкої фракції і відповідно ємкості для її накопичення.

Окрім вказаних вимог, на території виробничого підприємства важлива мати місця для накопичення органічної сировини. При цьому сировинні компоненти мають бути розділенні та не змішуватись до початку їх закладання у бурти.

Залежно від моделі та розмірів аератора змішувача, розміри буртів можуть бути різними. Але, у середньому для ефективного використання площі орієнтовні розміри бурта повинні бути такими: довжина - 100 м, ширина 2,5 м, а висота бурта - 1,8 м.

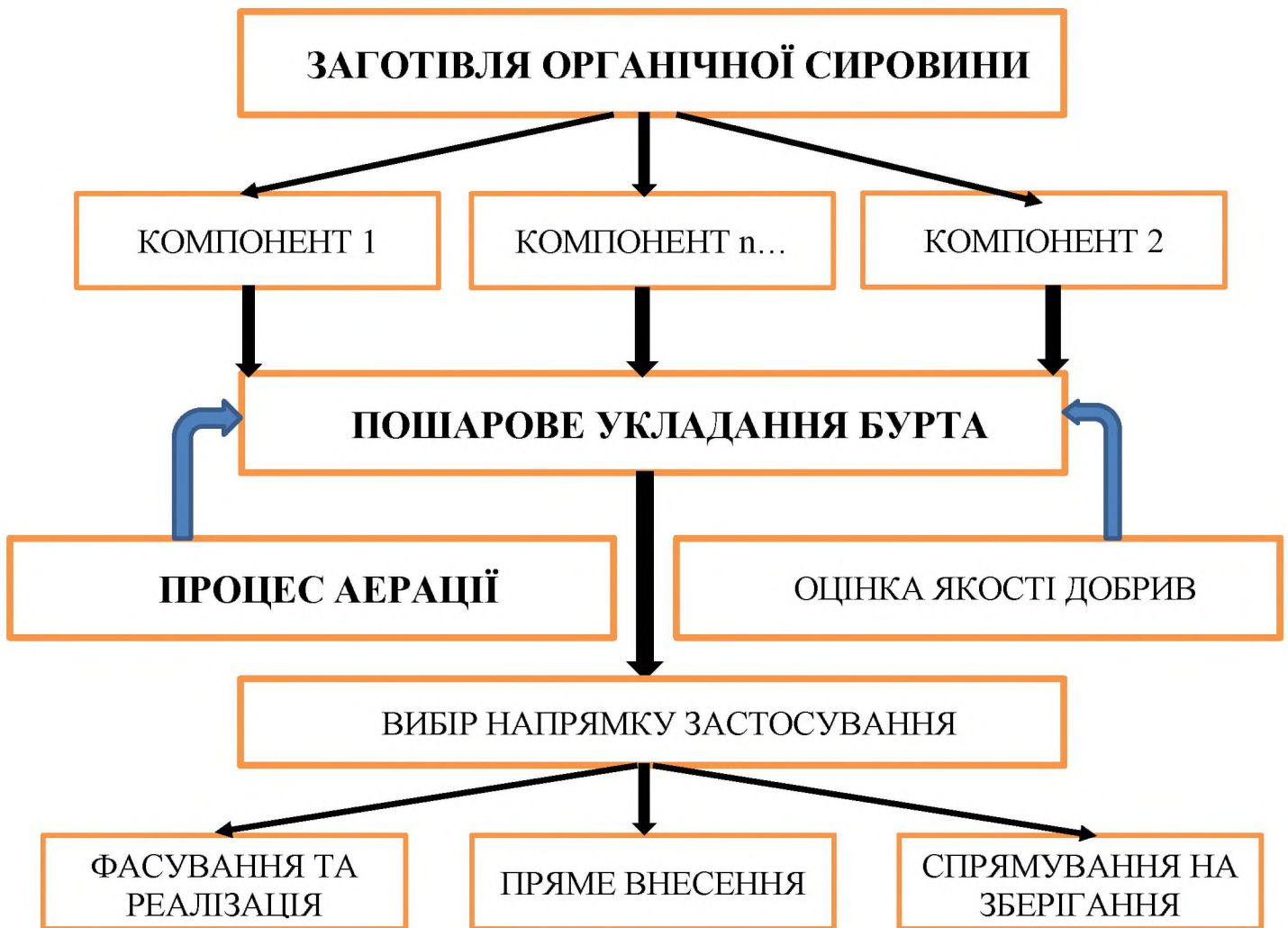


Рисунок 2.1 Структурна схема технології виробництва органічних добрив із застосуванням аеробного процесу

Відведена під компостування площа залежить від кількості органічної сировину у радіусі, який забезпечує логістику її переміщення. Майданчики для компостування для зручності бажано розташовувати поруч з фермами, недалеко від одного поля або біля декількох полів вздовж доріг з твердим покриттям. Важливо забезпечити наявність джерела води (бажано нехлорованої). Залежно від типу та вологості первинного матеріалу, на 1 т додають 50 - 80 л води за весь період компостування при 5 – 10 повторів ворущіння.

Успішна реалізація технології виробництва твердих органічних добрив у господарстві буде за умови, якщо технологію компостування розглядати, як окремий виробничий процес, з відповідною залученою технікою, зокрема навантажувачем та аератором змішувачем із трактором відповідної потужності.

## 2.2. Обґрунтування конструкції аератора - змішувача

Основне функціональне призначення техніки, яка приймає участь в аеробному процесі компостування це створити умови для заміщення вуглекислого газу киснем. Для цього розробляють спеціальні конструкції барабанів із лопатками, які подрібнює та розмішують сировину. Таким чином забезпечується потрапляння кисню всередину компостованої маси. Аератор – змішувач створюється спеціально для того, щоб підтримати у бурті аеробне середовище. В процесі аерації бурта, проводиться його зволоження і внеситься інокулянт з бактеріями. Таким чином застосування аератора змішувача прискорює процес розкладання органічних матеріалів та умови переходу форми азоту з амонійної у нітратну і нітритну. Великі обсяги органічної сировини аерують самохідними агрегатами. Такі агрегати складні у конструкторному відношенні, тому вони недешеві. Причіпні агрегати, простіші конструктивно, але вони також здатні ефективно переробляти різні за розмірами обсяги органічної сировини. Класифікація аераторів-змішувачів приведена на рис. 2.2.

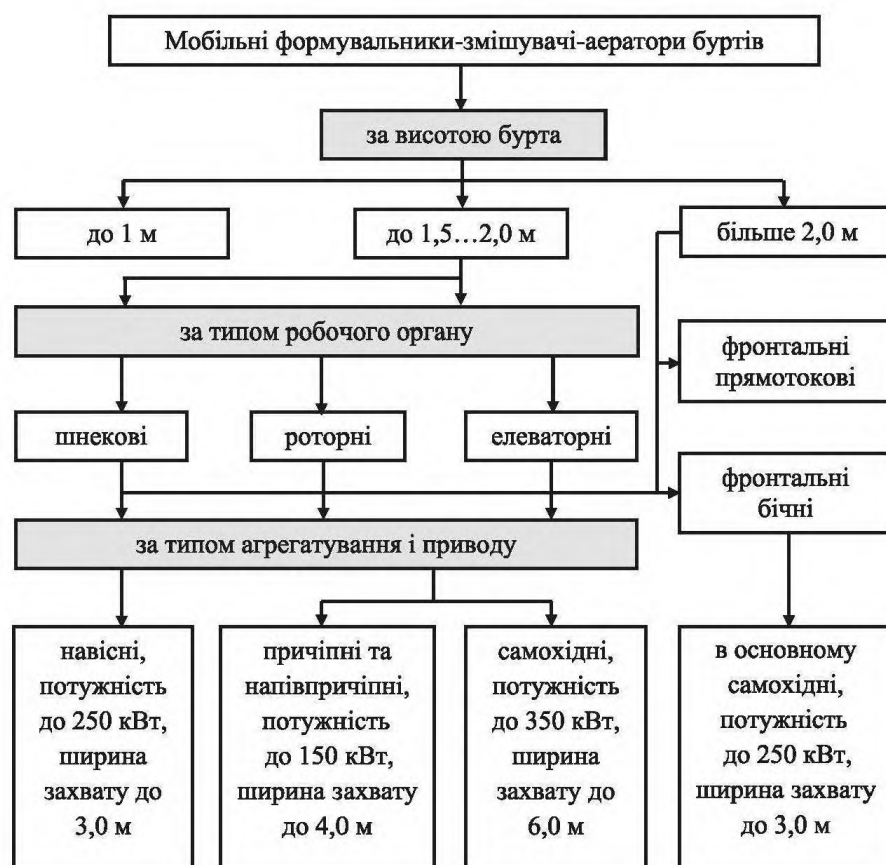


Рисунок 2.2 Класифікація аераторів змішувачів

Відповідно до вказаної схеми(рис.2.2), робочі органи аераторів-змішувачів - це активні горизонтально розміщені бітерні, лопатеві або зубчасті фрезерні барабани. Барабани виготовляють з гвинтовою навивкою. Над барабаном встановлюється обмежувальна поверхня у вигляді рамок трикутної, трапецеїдальної або арочної форм висотою від 1,5 до 2 м.[3]. Структурна схема аератора змішувача представлена на рис. 2.3 вважається якісною, якщо його конструкція дозволяє проводити технологічні операції відповідно до заданих агротехнічних норм. При цьому аератор змішувач повинен якісно виконувати технологічні процеси як подрібнення, так і подрібнення з аерацією. У другому випадку число обробок бурта може становити від 5 до 8 разів. Тоді, подрібнення відбувається у перший та другий раз, а далі відбувається активне перемішування з аерацією органічної маси.

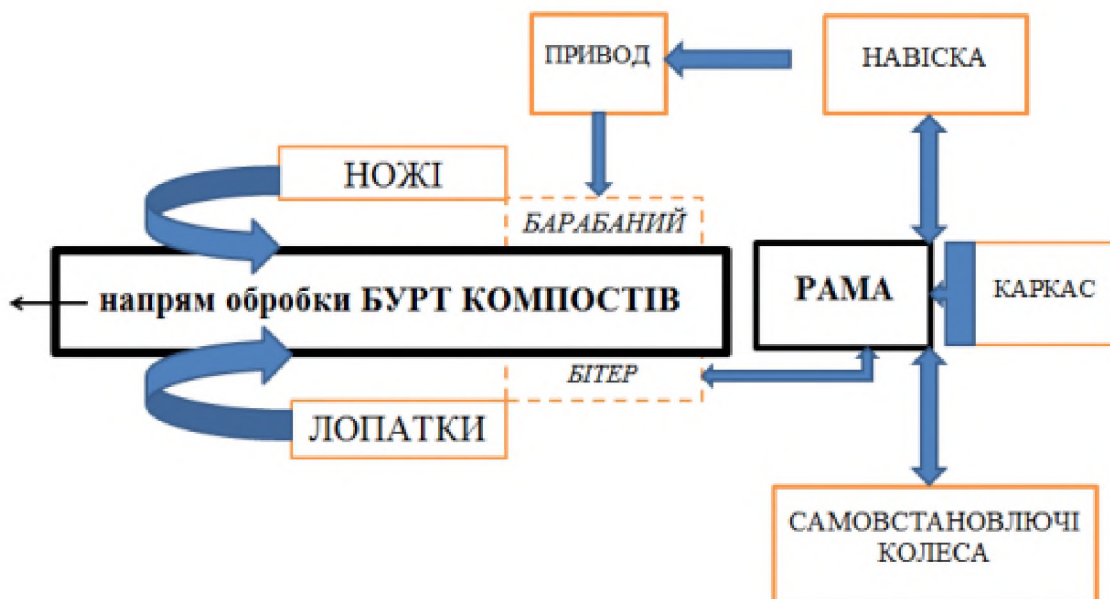


Рисунок 2.3 Структурна схема причіпного аератора змішувача

Причіпний аератор змішувач(рис. 2.3 ) повинен мати раму яка спирається на самовстановлюючі колеса. Вони передбаченні для забезпечення транспортування аератора змішування по дорогах загального призначення. До рами кріпиться навісна система, яка з'єднує аератор змішувач з трактором. Відповідно енергія на робочий орган передається від ВВП трактора. Механічний привід забезпечує обертання



переміщення аератора змішувача як у робочому, так і у транспортному положенні.. Запропонована конструкція аератора змішувача має переваг перед промисловими аналогами через простоту його конструкції. Складним у виготовленні є лише бітерний барабан.

### 2.3. Визначення технологічних параметрів причіпного аератора змішувача

Основними технологічними параметрами аератора змішувача є розрахунок продуктивності барабанного бітера, від роботи якого залежить якість подрібнення перемішування.

Умови, за яких добрива у бурті будуть залишатися монолітним шаром без обвалення, встановлено у[10]. Доведено, що обвалення матеріалу, що знаходиться в стані спокою, без урахування сил тертя, тобто за відсутності бічні стінок, відбувається по площині з кутом нахилу, що дорівнює куту природного укосу. Граничний кут укосу, сформований в результаті підпору за довжиною бурта, дорівнює  $90^\circ$ . Сили, що виникають у площині обвалення, зображені на рис. 2.5.

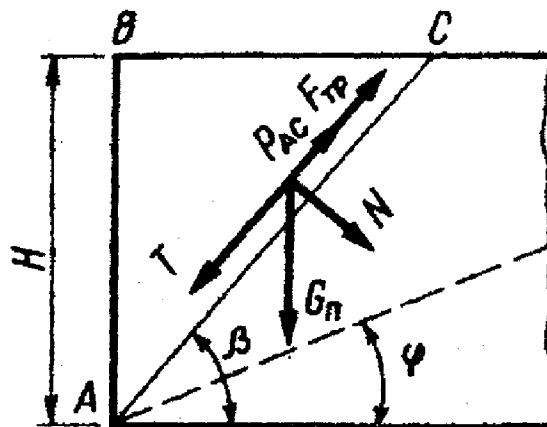


Рисунок 2.5 Схема виникнення сил при обваленні добрив з врахуванням кута природного укосу

Тангенціальна складова маси в перетині призми площиною ABC дорівнює:

$$T = G_{II} \cdot \sin \beta \quad (2.1)$$

де,  $T$  - тангенціальна складова маси призми, Н;

$G_{II}$  - маса призми обвалення, Н;

$\beta$  - кут природного укосу добрив, град.

Масу призми обвалення можна визначити за формулою:

$$G_{II} = \frac{\rho_{II} \cdot g \cdot H^2 \cdot b_k}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad (2.2)$$

де,  $G_{II}$  - вага призми обвалення, Н;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Сила зчеплення добрив в площині ABC становить:

$$P_{ABC} = C \cdot F_{ABC} \frac{C \cdot H \cdot b_k}{\sin \beta} \quad (2.3)$$

де,  $P_{ABC}$  - сили зчеплення добрив, Н;

$C$  - питома сила зчеплення у шарах, Н/м<sup>2</sup>;

$F_{ABC}$  - площа січення призми обрушення в площині ABC, м<sup>2</sup>;

$H$  - висота призми обвалення, м;

$b_k$  - ширина призми обвалення, м.

Сила тертя в площині ABC дорівнює:

$$F_{TP} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi = G_{II} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

де,  $F_{TP}$  - сила тертя, Н;

$\varphi$  - кут тертя, град.

Рівняння граничної рівноваги сипкого середовища в цьому випадку напишемо як:

$$G_{II} \cdot \sin \beta = \frac{C \cdot H \cdot b_k}{\sin \beta} + G_{II} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.5)$$

Після перетворення даного рівняння отримаємо:

$$H = \frac{4 \cdot C}{\rho_d \cdot g \cdot \sin 2\beta \cdot (1 - \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi)} \quad (2.6)$$

Отже, висота призми обвалення, а разом з нею і стабільність перемішування бурта залежать від фізико-механічних властивостей добрив.

У зв'язку з тим, що шар добрив знаходиться в русі, його товщина зменшується через обвалення при ковзанні верхніх шарів щодо нижніх. Тому, в процесі роботи барабанного бітера важливо враховувати зміну висоти матеріалу в за висотою бурта. Якщо в розрахунках враховувати середню висоту бурта, то через деякий час і в кінці процесу відхилення ефекту перемішування сягне 40-70%, проти 10% згідно агротехнічних вимог. Тому фактичне значення висоти шару добрив, на який діє барабанний бітер, визначається за формулою:

$$H_\phi = H_\Pi - C / \rho_d g [4 \sin 2\beta (1 - \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} \varphi) + 1 / m_n f_2 - f_1] \quad (2.7)$$

де:  $C$  – питома сила зчеплення у шарах добрив, Н/м<sup>2</sup>;

$\rho_n$  – початкова щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  – кут тертя, град.;

$f_1, f_2$  – коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя;

$m_n$  – коефіцієнт рухомості.

Таким чином, для визначення товщини бурта з органічних добрив, за основу приймаються припущення, що матеріал являє собою зв'язне сипуче середовище, переміщення якого викликається дією граничних сил і залежить від його опору зрушення.

#### 2.4. Теоретичні дослідження механізму для перемішування компосту

Робочим органом аератора змішувача є барабанний бітер шнекового типу на гвинтовій лінії якого розміщені лопатки та ножі. Для оцінки роботи механізмів подібного типу, існують лише загальні формули, які зв'язують як режимні, так і конструктивні параметри робочих органів у вигляді роторів бітерів, барабанів. Серед них визначення кутової швидкості барабана [10]:

$$\omega = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2l_x g}{\sin 2\alpha}} \quad (2.8)$$

де:  $r$  – радіус робочого органу, м;

$l_x$  – відстань польоту часток добрив, м;

$\alpha$  – кут відриву частинки від поверхні, град.

На основі аналізу конструкцій барабанних бітерів різного функціонального призначення прийняті варіанти конструкційних рішень його окремих елементів (рис. 2.6).

Так, для гвинтової спіралі є присутнім інтенсивне руйнування її робочої кромки при взаємодії з органічними добривами, особливо природного походження, в яких знаходиться певна кількість мінералів. Тому, новим рішенням може бути встановлення змінних ножів спеціальної форми по периметру гвинта (рис. 2.6, б). А формування гвинтової лінії може бути як із суцільної смуги, так і з окремих секторів (рис. 2.6, г). і підсилені косинками (рис. 2.6, а) та ребрами жорсткості (рис. 2.6, в).

Крім цього, при виготовленні даного механізму, варто звернути увагу на наступне:

- покриття робочих поверхонь високощільними синтетичними матеріалами;
- оформлення раціональних форм крайок лез для мінімізації зусиль розрізання органічних соломистих включень;
- забезпечення раціональних параметрів гвинтових опорних елементів, зокрема крокового і діаметрального;

– зменшення кількості накладних шовних з'єднань деталей бітерів і заміна спіралі ГРО, як складальної одиниці, одною суцільною деталлю.

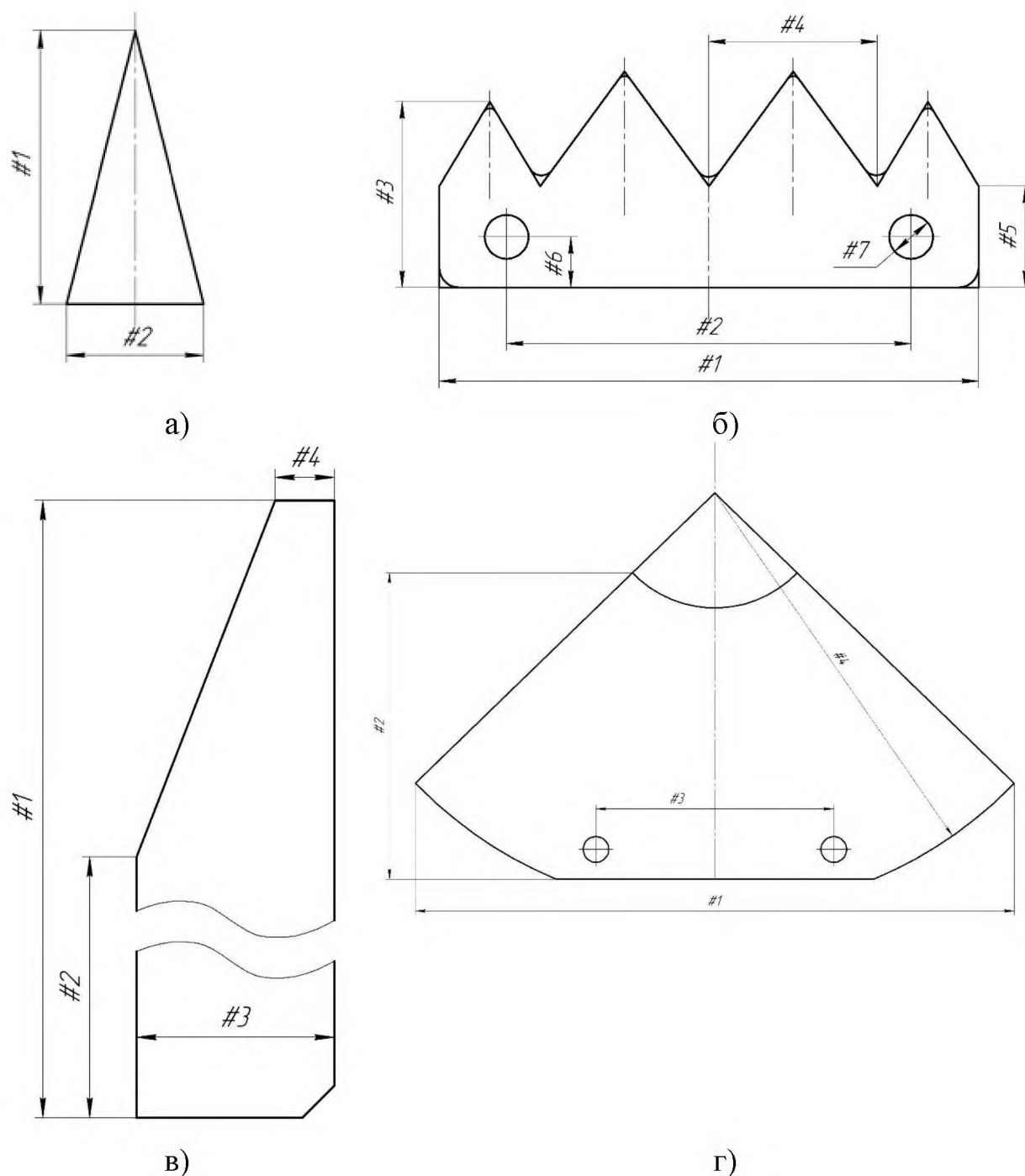


Рисунок 2.6 Деталювання секції барабанного бітера

Враховуючи те, що частота обертання гвинтових барабанних бітерів у машинах, які працюють з твердими органічними добривами знаходиться у межах  $10,0 \dots 16,6 \text{ с}^{-1}$ , то робимо допущення, що органічна сировина, закладена у бурти,

подрібнюються у зоні взаємодії з ножами, і діляться на частинки, що мають розміри допустимі агротехнічним вимогам.

## 2.5. - Висновки до розділу

Складність виробництва твердих органічних добрив з використанням аеробного процесу полягає у необхідності суттєвого збільшення кількості механічних дій на матеріал. Вирішення посталої проблеми полягає у застосуванні ефективного робочого органу у вигляді барабанного бітера. Процес перемішування та подрібнення органічної сировини з різними фізико – механічними властивостями вимагають особливої уваги до елементів барабанного бітера, які безпосередньо взаємодіють з матеріалом. У даному розділі виконані наступні дослідження:

1. На основі проведеного аналізу технологічних процесів аеробного виробництва твердих органічних добрив запропоновано проводити 5 - 8 разове перемішування з подрібненням органічної сировини, яка закладена пошарово у бурти, відповідно до агротехнічних вимог, наступних розмірів: довжина - 100 м, ширина 2,5 м, а висота бурта - 1,8 м.

2. Запропоновано конструктивну компоувальну схему причіпного аератора змішувача з врахуванням його можливості якісно виконувати технологічний процес приготування твердих органічних добрив і переміщення по дорогах загального призначення.

3. Визначено технологічні параметри аератора змішувача відповідно до запропонованих розмірів бурта. Приведені формули, які обумовлюють взаємодію барабанного бітера та нерухомого бурта з органічної сировини.

4. З врахуванням запропонованої конструкції причіпного аератора змішувача розроблені структурна та функціональна схеми, які мають слугувати базою для розробки принципової схеми машини та конструкторської документації.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма експериментальних досліджень

Виробництво твердих органічних добрив потребує глибоких досліджень з пошуку та впровадження нових технологій. Застосування аеробного процесу у такому виробництві вимагає спеціальної машини - аератора змішувача буртів.

Глобальне потепління та переміщення теплого клімату на Північ на відстань до 500км дозволяє стверджувати, що аеробне виробництва твердих органічних добрив можна налагодити круглий рік. Відповідно, для цього необхідно мати достатньо органічної сировини.

Проведені теоретичні дослідження у попередньому розділі не дозволили визначитись з кінцевими конструктивними і технологічними параметрами запропонованого причіпного аератора змішувача, що вимагало проведення цілого ряду експериментальних досліджень. Розроблена програма експериментальних досліджень передбачала:

1. Дослідження властивостей органічної сировини сільськогосподарського походження.
2. Визначення зусилля різання стеблово – соломистих матеріалів.
3. Обґрунтування раціональних геометричних параметрів і режимів роботи барабанного бітера для перемішування та подрібнення компонентів твердих органічних добрив математичним методом планування експерименту.
4. Моделювання процесу взаємодії органічної сировини у польових умовах з використанням аеробного процесу.
5. Вироблення рекомендацій щодо вдосконалення технології аеробного виробництва твердих органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів.

Обробку експериментальних даних проводили за стандартними методиками [18]. Результати окремих дослідів оцінювали шляхом підрахунку цілого ряду значень, серед яких:

- середнє арифметичне:

$$x_{\text{сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.1)$$

- значення за середньою квадратичною похибкою:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{сер.}})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

- за середньою квадратичною похибкою середнього арифметичного значення:

$$\sigma = \frac{S_c}{\sqrt{n}}, \quad (3.3)$$

- встановленням коефіцієнта варіації:

$$V = \frac{S_c}{x_{\text{сер.}}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

- визначали похибку проведення дослідів:

$$\nu = \pm \left( \frac{S_c}{x_{\text{сер.}} \cdot \sqrt{n}} \right) \cdot 100\%. \quad (3.5)$$

3.2. Лабораторне обладнання, прилади і апаратура та методики проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень використовувалось як, спеціально розроблене, так і стандартне лабораторне обладнання. На стандартних

лабораторних установках та обладнанні визначали фізико – механічні властивості компонентів для компостування.

Для дослідження процесу подрібнення стеблової частини льону олійного використовували розроблену дослідну установку, схема та загальний вигляд зображена на рис. 3.1.

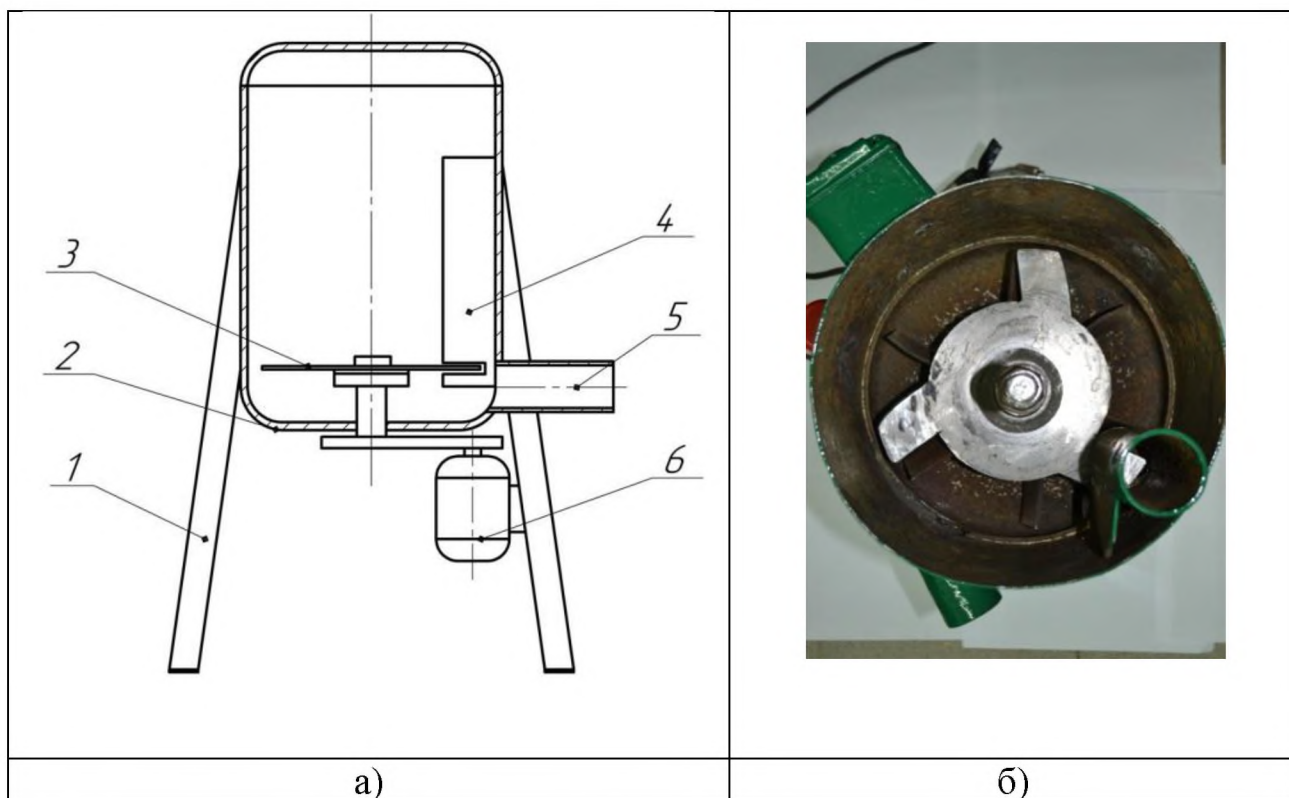


Рисунок 3.1 Установка для подрібнення стебло-волокнистої маси: а- схема; б- загальний вигляд; 1 – рама, 2 – корпус, 3 – ножі, 4 – отвір подачі матеріалу, 5 – відвідна труба, 6 – двигун.

Установка використовувалась для проведення факторного експерименту з подрібненням стеблово - соломистих матеріалів, які можуть залишатись при компостуванні та впливати на процес перемішування подрібнення органічної сировини закладеної у бурти. Для досягнення поставленої мети за зразки брали різні стеблові матеріали: солону злакових культур, стебла льону. Функцією відгуку була величина часток на виході через відвідну трубу 5. Вхідний матеріал подавали через вхідний отвір 4 у вигляді труби, яка слугувала одночасно протиіржучим елементом для ножів 3.

Зусилля різання стебел визначали за допомогою розробленого лабораторного стенда (рис 3.2).

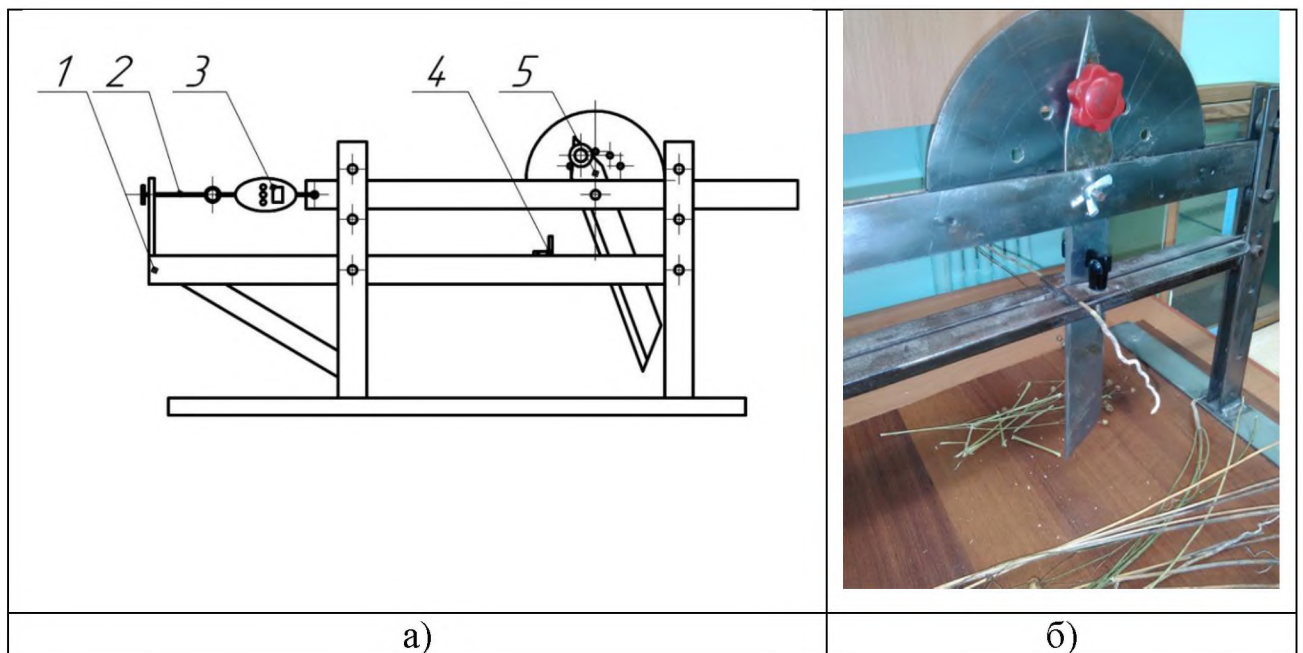


Рисунок 3.2 Лабораторний стенд для визначення зусилля розрізання стебел: а- схема; б- загальний вид; 1 – корпус; 2 – фіксатор; 3 – динамометр; 4 – тримач; 5 – ніж.

Дослідження проводили наступним чином. На корпусі 1 фіксатором 2 жорстко кріпили стебло а на секторі встановлювали кут нахилу ріжучого ножа . прикладаючи зусилля до динамометра 3, у момент перерізання стебла фіксували його зусилля

Компонетами при виробництві твердих органічних добрив є волога органічна сировина. Окрім того, в процесі аерації, пов'язаної з перемішуванням і подрібненням можуть утворюватися окремі пластичні та тверді включення. Відповідно, для їх руйнування важливо знати зусилля.

В окрему групи виділено досліди з визначення твердості на екс тензометрі (рис.3.3) твердих включень з врахуванням їх вологості. Методика проведення дослідів була наступною:

1. – Частинки з різних стадій формоутворення, попередньо сортуються за вологістю по групах у кількості не менше 20 об'єктів.

2. – Методом вибіркової виділяємо із даних груп по 5 частинок у три партії.

3. – Почергово вкладаємо кожну частинку у спеціальну рамку на екстензометрі та проводимо її руйнування до максимального значення зусилля на ручці екстензометра.

4. – Значення заносимо у таблицю, яка передбачає визначення середнього значення та можливого відхилення.

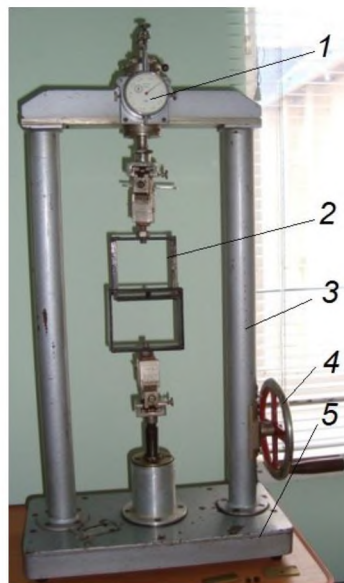


Рисунок 3.3 Екстензометр, переобладнаний для руйнування частинок та гранул: 1 – індикатор; 2 – рамка для встановлення зразка матеріалу; 3 – рама; 4 – ручка; 5 – станина.

Зміна вологості компонентів в процесі аеробного виробництва твердих органічних добрив вимагає постійного контролю за вологість, як окремих частинок, так і виготовлених добрив, загалом. Визначення вологості матеріалів проводиться за загальновідомою методикою на стандартному обладнанні.

### 3.3. Результати досліджень з визначення властивостей органічної сировини

Формування дослідних зразків твердих органічних добрив проводили на основі подрібненої стеблової маси сільськогосподарських культур (рис. 3.4, а) і сапропелю прісноводних озер. Готові добрива після тримісячної витримки представлені на рис 3.4, б.



Рисунок 3.4 Моделювання аеробного виробництва твердих органічних добрив у лабораторних умовах: а- подрібнена солома; б- готові добрива

Поява частинок у буртах, як наслідок перемішування та подрібнення компонентів, гранул шляхом утворення частинок довільної форми вимагає досліджень з встановлення часу їх утворення та виявлення закономірності вологовіддачі(рис.3.5).

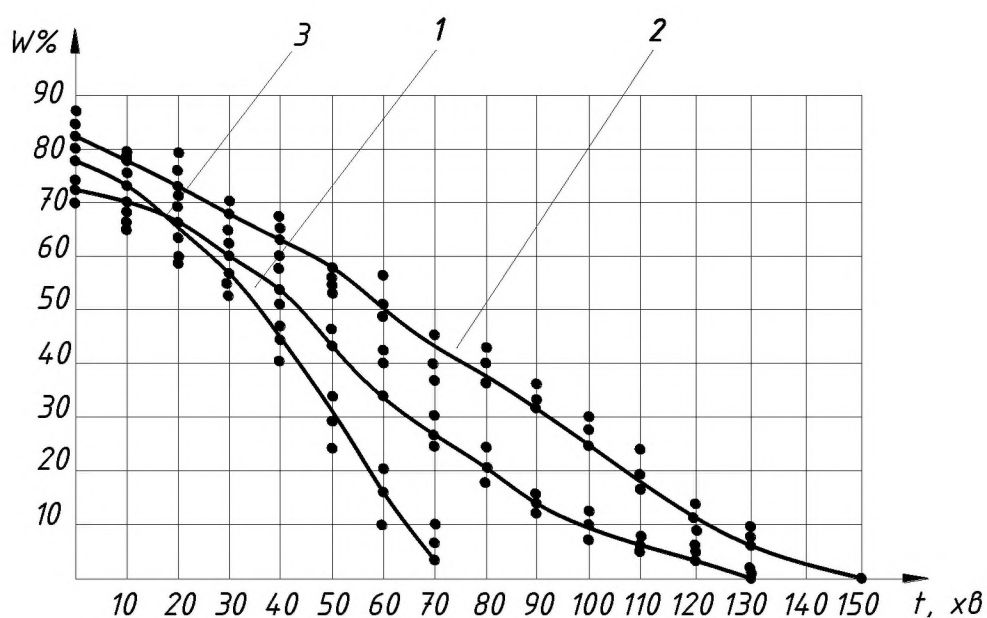


Рисунок 3.5 Криві сушіння часток, утворених у результаті приготування твердих органічних добрив, при температурі сушильного агенту 100<sup>0</sup>С: 1 – частинки, утворенні після першого перемішування; 2 – частинки, утворенні після четвертого перемішування; 3 – частинки, утворенні після восьмого перемішування.

Аналіз кривих сушіння вказує, що в процесі компостування у бурті відбуваються складні процеси переміщення вологи між окремими складниками. Так, у перші половині компостування, утворення агрегатів відбувається під впливом початкової вологості 80% компонентів(крива 1). В основному це фізико-хімічна зв'язана вологість. Але, її вивільнення у фазі падаючої швидкості сушіння, не затримується.

При подальшому компостуванні, на середині процесу, відповідно з технологією, додається вільна вода, вологість утворених агрегатів зростає до 90%. Процеси зневоднення під дією теплового сушіння(крива 2) сповільнюються, що вказує на збільшення часу на зневоднення утворених агрегатів.

Приготовлені тверді органічні добрива мають найнижчу початкову вологість у межах 70%. Такі добрива добре утримують вологу під дією теплового сушіння(крива 3). Сухі частинки руйнували на ексензометрі

Отримані дані при дослідженні частинок твердих органічних добрив на твердість в залежності від часу затвердіння, дозволяють встановити зусилля під дією якого частинка зруйнується. Встановлення таких показників дозволить визначитись із параметрами робочих поверхонь барабанного бітера, встановити експлуатаційні та технологічні параметри аератора змішувача. У процесі виконання дослідів отримані результати заносились у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. - Результати встановлення твердості частинок твердих органічних добрив виготовлених із застосуванням процесу аерації

Склад суміші	Добрива 83% вологості											
	0	10	20	30	40	45	50	52	54	56	58	60
Час, хв.	0	10	20	30	40	45	50	52	54	56	58	60
Вага, гр.	9,16	6,60	5,46	4,43	3,45	2,98	2,56	2,35	2,14	2,00	1,88	1,73
Твердість, Н/мм <sup>2</sup>	-						3,0	6,0	15,0	16,0	16,0	16,0
Розмір, мм	8...10	8...10	7...8	6...8	6...8	4...6	4...6	4...6	4...6	4...6	4...6	3...5

Час затвердіння частинок певної початкової вологості вказує на першу критичну точку, яка присутня при сушінні капілярно-пористих колоїдних тіл.

Варто звернути увагу також, що частинки утворенні у результаті компостування мають різну стійкість до навантажень, що вказує на наявну у мінеральну частину у межах 10 – 15 %.

У дослідженнях статичного різання стебел, особлива увага приділялась величині зусилля різання стебел злакових сільськогосподарських культур і льону з врахуванням їх вологості. На початковій стадії компостування початкова вологість стебел коливалась у межах 20%.

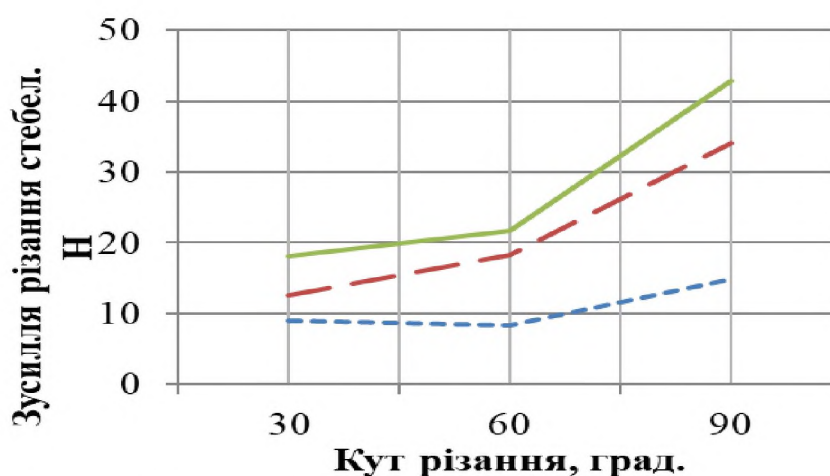


Рисунок 3.6 Зусилля різання стебел вологістю у межах 20%:

— льон олійний; — льон – довгунець; - - - злакові

Аналіз кривих вказує, що мінімальне зусилля складає 10Н при кутах 30-60<sup>0</sup> для руйнування злакових культур. Дещо подібна картина при руйнуванні обох видів льону – різко зростає до 45 Н зусилля при куті 90<sup>0</sup>. Дане явище пояснюється наявністю у стеблах льону волокна.

Зростання вологості у стеблах до 50%(рис. 3.7) не змінює характер руйнування стебел вказаних культур. Найнижче зусилля 12-20 Н для руйнування стебел відбувається при куті 30<sup>0</sup>, а найбільше при куті встановлення ножа 90<sup>0</sup>. Менше значення зусилля руйнування при куті 90<sup>0</sup> із збільшенням вологості у стеблах вказує на їх здатність до зміни стану протягом часу компостування під впливом аеробних бактерій і мікроорганізмів.

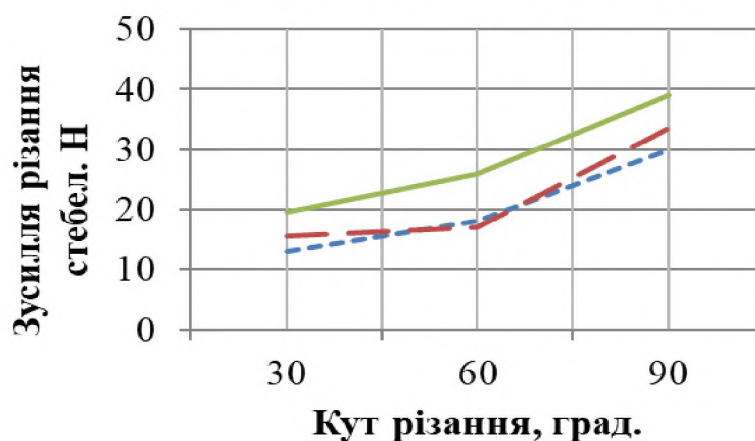


Рисунок 3.7 Зусилля різання стебел вологістю у межах 50%:

— льон олійний; — льон – довгунець; - - - злакові

Як результат проведених дослідів, можна зробити висновок про те, що аеробні бактерії добре розщеплюють органічну сировину. Таким чином аеробний процес виробництва твердих органічних добрив найбільш придатний протягом календарного року.

#### 3.4. Висновки за розділом 3

1. Запропонована програма, обладнання і методики експериментальних досліджень для встановлення властивостей органічної сировини для компостування
2. Проведені експерименти з визначення зміни стану добрив у процесі аеробного виробництва вологістю у межах 75 - 80 %, показали, що їх поведінка характерна поведінці капілярно – пористих колоїдальних тіл. Такі тіла утримують воду.
3. Зусилля руйнування стеблово – соломистих включень коливається у широких межах від 50 Н і залежать від часу впливу аеробних бактерій та мікроорганізмів.
4. Проведені порівняльні лабораторні дослідження вказують, що у якості органічної сировини можуть бути стебла на тільки злакових культур.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

4.1. Методика та результати проведення експерименту методом математичного планування

При визначенні основних конструктивних і режимних параметрів барабанного бітера, у запропонованому аераторі - змішувачі, необхідно враховувати вміст стеблово - соломистих включень у компостах, як основного компонента при виробництві твердих органічних добрив. При проведенні перших перемішувань, ножі барабанного бітера повинні добре їх подрібнювати для прискорення процесів впливу аеробних бактерій і мікроорганізмів на матеріал. Подрібненні частинки добре вбирають рідину, сприяють розмноженню бактерій і мікроорганізмів. Для ефективного подрібнення стебел на гвинтовій лінії встановлено спеціальні ножі. Відповідно до теоретичних досліджень, на якість подрібнення таких включень буде впливати швидкість обертання барабанного бітера та вологість матеріалу, який необхідно подрібнити. Досліди з визначення якості подрібнення були проведені із використанням лабораторної установки, яка представлена на рис. 3.1. Мета експерименту полягала у визначенні співвідношення частинок величиною 5-8 см і залишків стебел більших вказаного значення при варіюванні таких факторів: швидкість обертання ножів і відносної вологості стебел злакових сільськогосподарських культур і льону.

Методика визначення ефективності подрібнення стеблово - соломистих включень є стандартною із використанням відомого математичного методу планування експерименту[18].

Досліджувалась ефективність подрібнення стеблово –соломистих включень, на виході з подрібнюючого пристрою з врахуванням вище приведених факторів:

- швидкість обертання барабанного бітера(ножів), об/хв;
- вологості матеріалу, %

У дослідженнях було використано симетричний некомпозиційний план Бокса-Бенкіна другого порядку [18], який розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: верхнього (+1), основного (0) і нижнього (-1).

Таблиця 4.1. - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Швидкість обертання барабанного бітера $\omega$ , об/хв	Вологість матеріалу $W, \%$
	$x_1$	$x_2$
Верхній (+1)	1200	20
Основний (0)	1000	15
Нижній (-1)	800	10
Інтервал варіювання $\varepsilon$	200	5

При проведенні двох факторного експерименту необхідно провести 4 досліди відповідно до матриці планування експерименту, яка представлена у додатку А. Порядок проведення дослідів встановлювали, використовуючи таблицю випадкових чисел.

Функція відгуку (якість подрібнення матеріалу на виході) в області факторного простору подана у вигляді лінійного рівняння регресії:

$$Y = 0,139 + 3,25 \cdot 10^{-3} \omega - 7,60 \cdot 10^{-3} W \quad (4.1)$$

Аналіз рівняння регресії дає можливість оцінити можливість впливу на якість подрібнення стеблово – соломистих включень запропонованим барабанним бітером з врахуванням вище приведених факторів(табл 4.2).

Таблиця 4.2. - Черговість виконання дослідів

Номер дослідів	Фактори	
	$V$ , об/хв	$W$ , %.
1	800	10
2	800	50
3	1200	10

4	1200	50
---	------	----

За рівнянням регресії (4.1) було побудовано поверхні відгуку (рис. 4.1) та її двомірне січення (рис. 4.2).

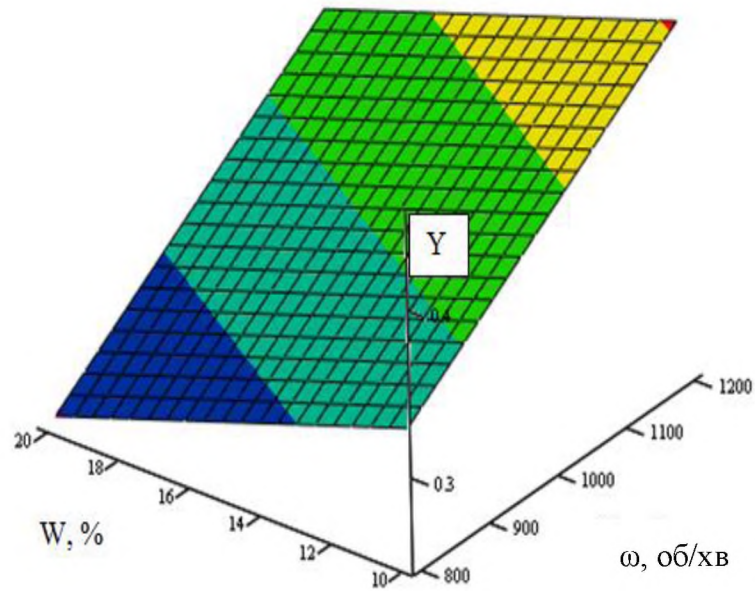


Рисунок 4.1 Поверхня відгуку, яка відображає якість подрібнення матеріалу з врахуванням його вологості та впливу частоти обертання барабанного бітера

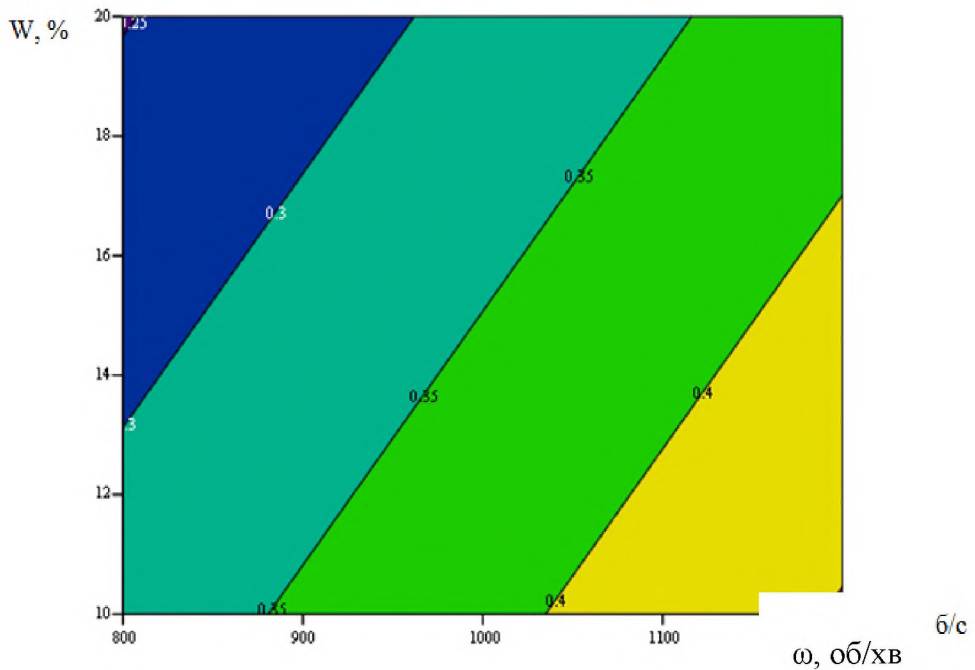


Рисунок 4.2 Двомірне січення поверхні відгуку

Як видно з графіків, найбільш ефективно подрібнення стебел відбувається на початковому етапі компостування, коли вологість стебел найнижча і становить 10% , при максимальному значенні частоти обертання барабанного бітера у 1200 об/хв.

#### 4.2 Доцільність та напрями використання отриманих результатів досліджень

В останні роки, в Україні та світі, велика увага приділяється виробництву твердих органічних добрив з використанням аеробного процесу. У такому випадку органічна сировина перетворюється у гумосоподібну речовину, яка сприяє відродженню родючості ґрунтів.

Якщо подивитися на аграрні країни Європи, то переважно всі активно працюють із компостом, оскільки робота з органікою там давно стала централізованою проактивною позицією.

На початковому етапі виробництва важливо правильно оцінити, яка органічна сировина є в наявності та в якому обсязі. Це повинні бути органічні речовини природного походження, відходи галузей рослинництва та тваринництва. Для господарств з чітко вираженим тваринницьким напрям, основою компостів може стати підстилковий і безпідстилковий гній великої рогатої худоби, відсепарована тверда фракція свинячого або коров'ячого гною, пташиний послід із підстилкою, солома, зіпсоване сіно, залишки силосу, старі перегнилі корми, жом, макуха, тирса тощо.

Надання переваги у галуззі рослинництва зерновій групі сільськогосподарських культур призвело до дефіциту підстилкового гною по всій території держави, в тому числі і на Поліссі. Аналіз сировинної бази даного регіону вказує на перспективу компостування соломи злакових сільськогосподарських культур з додаванням сапропелів прісноводних озер, які наділені унікальною властивістю – значним енергетичним зв'язком води з твердою фазою. Відповідно, виготовлені добрива також будуть утримувати в собі зв'язну вологу тривалий час, не залежно від температур навколишнього середовища. Набути волого утримуючих властивостей сприяє озерний сапропель у якого структура твердої фази складається з значної колоїдної маси. Тому, дану органічну сировину необхідно закладати природного стану, відразу після добування з озера. В свою

чергу, перед закладанням стебла злакових культур у бурти (рис.4.3), необхідно подрібнити для інтенсифікації вологообміну.



Рисунок 4.3 Схема технологічного процесу аеробного виробництва твердих органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів природно - кліматичної зони Полісся

У відповідності до представленої схеми, технологічна операція подрібнення відбувається два рази. На першому етапі суху солому вологістю 10-15% подрібнюють перед закладанням у бурти. У випадку застосування роздільної технології збирання зернових, подрібнення стеблової маси здійснює зернозбиральний комбайн. Тоді подрібнену солому збирають у причіпи та транспортують до місця закладання буртів. Пошарове закладання соломи створює умови «подушки» та полегшує подачу кисню у бурти при аерації(перемішування-подрібнення) Проведення аерації від 5 до 8 разів зобов'язує звернути увагу на барабанний бітер, секція якого зображена на рис. 4.5. Адже, у компостах все ще будуть присутні стеблово – соломисті включення, які повторно необхідно



1. Результати досліджень з визначення ефективності подрібнення барабанним бітером із застосуванням математичного методу планування експерименту, показують на необхідність встановлення на гвинтову лінію додатково знімних ножів спеціальної конструкції.

2. Виробництво твердих органічних добрив, з використанням процесу аерації, є перспективним для застосування круглий рік за відповідних умов розміщення площадок, адже вони володіють властивостями, які наближаються до гумусових речовин. Основою сировинної бази таких добрив мають стати сільськогосподарські органічні залишки галуззі рослинництва

3. Запропонований причіпний аератор - змішувач дозволяє виконувати якісно технологічні операції змішування компонентів та подрібнення стеблово - соломистих включень у компостах за рахунок секційного барабанного бітера.

Виробництво екологічно чистих продуктів харчування, покращення та відновлення родючості ґрунтів залежить від внесення твердих органічних добрив, виробництво яких можна налагодити за умови проведення науково-технічних досліджень та подальшої реалізації нових технологій у виробництво. Інтенсивність експлуатації ґрунтів зростає, а увага виробництву твердих органічних добрив ще є недостатньою.

Проведенні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Одним із ключових технологій виробництва твердих органічних добрив є технологія, яка включає процес аерації компосту. Така технологія дозволяє скоротити термін приготування високоякісних добрив до трьох місяців.
2. Забезпечення безперервності процесу виробництва твердих органічних добрив можливе за умови використання місцевих сировинних ресурсів. Для природної зони Полісся такими є стеблово - соломисті залишки при вирощуванні зернових культур і сапропелі прісноводних озер.
3. Однією з основних технологічних операцій процесу аерації компостів є подрібнення стебел. Встановлено, що інтенсивність подрібнення залежить від швидкості руху ножа та вологості вихідного матеріалу. При компостуванні соломи її вологість коливається від 10 до 50%.
4. Конструктивне виконання аератора - змішувача дозволяє якісно проводити призначений технологічний процес і транспортувати його по дорогах загального призначення за наявності самовстановлюючих коліс.
5. Для реалізації запропонованої технології виробництва твердих органічних добрив розроблено функціональну схему аератора змішувача та креслення барабанного бітера.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробництво органічних добрив зросло на 71% / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/news/2706-virobnitstvo-organichnih-dobriv-zroslo-na-71>(ост. відвідування 01.10.2023).
2. Петриченко В.Ф. Наукове забезпечення та перспективи органічного землеробства в Україні /В.Ф. Петриченко, В.Ф. Камінський //Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і реалізації якісної органічної продукції (Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф., 26 червня 2013 р., Київ – Іллінці). – К.: ФОП «А.І. Каштелянов», 2013. – С. 5–15.
3. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. д-ра с.-г. наук, проф., акад. НААН Я.М. Гадзала, д-ра с.-г. наук, проф., чл.-кор. НААН В.Ф. Камінського. – К.: Аграрна наука, 2016. – 592 с.
4. Скляр О.Г. Обґрунтування факторів, що впливають на процес компостування. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IX Міжнародна науково-технічна конференція. Глеваха-Київ. 2020. С. 143-145.
5. Войтюк Д.Г. та ін. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. – К.: Вища освіта, 2005. – 463 с.
6. Інформаційний ресурс: <http://agroazbuka.com/uk/sapropel.html>. (Ост. відв.10.10.2023)
7. Інформаційний ресурс: <https://superagronom.com/blog/115-kompostuvannya-efektivno-ekologichno-korisno-dlyagruntiv>. (Ост. відв.1.10.2023)
8. Гаценко М. В. Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти / М. В. Гаценко Сільськогосподарська мікробіологія. - 2014. - Вип. 19. - С. 11–20..
9. Удобрення польових культур на основі максимального застосування місцевих органічних ресурсів / В. М.Кабанець, М.Г. Собко, М.І. Радченко О.В. - Сад, 2015. – 23 с.
10. Серілко Л.М. До питання вибору забірних пристроїв гвинтових конвеєрів / Л.М. Серілко // Вісник Національного університету водного господарства

- та природокористування. Зб. наук. праць. – Рівне, 2007. – № 2(38). – С. 300 – 305.
11. Шевчук М. Й. Сапропелі України. Запас, якість і використання органо-мінеральних добрив // Вісник аграрної науки, 2000, №2. – С. 24 – 28.
  12. Hood R.C. (2001). The effect of soil temperature and moisture on organic matter decomposition and plant growth. *Isot. Environ. Health Stud.*, 37, 25-41.
  13. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / Барінов М.О., Олексівець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П. – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
  14. Petr Novak, Petr Sarec, Oldrich Lata, Martin Brtnicky, Jiri Masek. Influence of manure with activators of organic matter on physical properties of soil. Jelgava, 22.-24.05.2020.s. 457- 461.
  15. Березівський П. С. Організація виробництва в аграрних формуваннях: Навчальний посібник/ П. С. Березівський, Н. І. Михалюк; Мін-во освіти і науки України, Львівський держ. аграрний ун-т. - К.: Центр навчальної літератури, 2005. - 559 с.
  16. Лінник М.К., Сенчук М.М. Технології і технічні засоби виробництва та використання органічних добрив: [монографія] / За ред. доктора технічних наук, академіка НААН В.В. Адамчука; – Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2012. – 248с.
  17. Дідух В.Ф. Техніка і технології приготування компостів. Матеріали МНПК «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики» – Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.12-15.
  18. Налимов В.В. Статистические методы планирования эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1970. – 378 с.
  19. Шейко В.М., Кушнарєнко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Знання-Прес, 2002. – 295 с.

## ДОДАТКИ

