

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, шкільної комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесів виробництва твердих органічних добрив з удосконаленням сапропеледобувного модуля»

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

\_\_\_\_\_ Алексєєв О.І.

(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



## 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)

**Алексєєв О.І.**

\_\_\_\_\_ (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 65 сторінок, включає 19 рисунків, 2 таблиці, перелік джерел посилання з 18 назв та 3 додатки.

У магістерській роботі проведено огляд літератури та сформульовано завдання досліджень за обраною темою. Встановлено, що основною проблемою збереження родючості ґрунтів є недостатнє внесення твердих органічних добрив. Через відсутність органіки відбувається різке зменшення гумусу у ґрунтах. Левову долю органічних добрив давало тваринництво. Його різке скорочення призвело до потреби у виробництві органічних добрив.

Теоретично обґрунтовано технологію виробництва органічних добрив з використанням місцевих сировинних ресурсів. До таких слід віднести сапропелі прісноводних озер, добування яких має свої специфічні особливості. Тому, у магістерській роботі, вказано на конструктивні особливості сапропеледобувного модуля та проведено теоретичні дослідження основних параметрів і режимів його роботи. На основі проведених досліджень, запропоновано удосконалення конструкції сапропеледобувного модуля.

Розроблено програму експериментальних досліджень, яка включає методики проведення досліджень і опис лабораторного устаткування. Приведені результати експериментальних досліджень та їх аналіз.

Проведено експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування експерименту та запропоновано подальше удосконалення технології виробництва органічних добрив.

**Ключові слова:** технологія, виробництво, сапропель, органічні добрива, модуль, накопичення, бункер, 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 65 page, includes 19 drawings, 2 tables, list of the used sources from 18 names and 3 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 has been established that the main problem of maintaining soil fertility is insufficient application of solid organic fertilizers. Due to the lack of organic matter, there is a sharp decrease in humus in the soil. Animal husbandry provided the lion's share of organic fertilizers. Its sharp reduction has led to the need for the production of organic fertilizers.

The technology of production of organic fertilizers using local raw materials is theoretically substantiated. These include spropels of freshwater lakes, the extraction of which has its own specific features. Therefore, in the master's thesis, the structural features of the spropel extraction module were pointed out and theoretical studies of the main parameters and modes of its operation were carried out. On the basis of the conducted research, it is proposed to improve the design of the spropel extraction module.

A program of experimental research has been developed, which includes research methods and a description of laboratory equipment. The results of experimental studies and their analysis are presented.

Experimental studies were conducted using the mathematical method of experiment planning, and further improvement of the production technology of organic fertilizers was proposed.

Key words: technology, production, spropel, organic fertilizers, module, accumulation, bunker, auger.

## ЗМІСТ

	стр.
ЗАВДАННЯ.....	3
АНОТАЦІЯ.....	4
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	11
1.1 Особливості технології механізованого виробництва органічних добрив... 11	11
1.2 Вибір сировини для виробництва органічних добрив методом компостування.....	14
1.3 Аналіз конструкцій машин та робочих органів для добування сапропелів з прісноводних озер.....	17
1.4 Аналіз способу руйнування матеріалу різанням.....	19
1.5 Висновки до розділу.....	22
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Обґрунтування технології виробництва органічних добрив .....	23
2.2 Обґрунтування конструкції сапропеледобувного модуля.....	25
2.3 Визначення технологічних параметрів сапропеледобувного модуля .....	29
2.4 Теоретичні дослідження пристрою вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості.....	32
2.5 Висновки до розділу.....	35
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	43
3.2 Лабораторне обладнання, прилади і апаратура та методики для проведення експериментальних досліджень.....	45
3.3 Результати проведених експериментальних досліджень .....	49
3.4 Висновки до розділу 3.....	52
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ.....	53

4.1 Методика та результати проведення експерименту математичним методом планування експерименту.....	53
4.2 Доцільність та напрями використання отриманих результатів досліджень.....	56
4.3 Висновки до розділу.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

## Перелік термінів

**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.

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

**Сапропель** (від грец. *Σαπρός* - «гнилий» і *πηλός* - «мул», «бруд») – органічні мули, відклади прісних континентальних водоймищ, які містять понад 15%<sub>мас.</sub> органічних речовин. Лігніно - гумусовий комплекс, вуглеводні, бітуми й інші в колоїдному стані. Желеподібна або зерниста маса від рожевого до коричнювато-оливкового і майже чорного кольору, яка висихаючи твердне та не піддається розмочуванню.

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Великий вплив на ефективність виробництва сільськогосподарської продукції має використання місцевих сировинних ресурсів. Воно сприяє створенню нових виробництв при низькій собівартості продукції, дозволяє залучити місцеве населення до розвитку регіону, стабілізувати діяльність пріоритетних та суміжних галузей, забезпечити постійне наповнення коштами як місцеві, так і державні бюджети.

Проведені широкомасштабні геологорозвідувальні роботи показали, у зоні Північно-Західного Полісся знаходяться значні запаси сапропелів прісноводних озер. Дослідження з використання сапропелів у чистому вигляді як органічні добрива показують їх добрий ефект. За ефективністю вони не поступаються підстилковому гною а, за деякими параметрами переважають його: зменшують забур'яненість та хімічну забрудненість ґрунтів та ін.[1,2,3]. Для широкого застосування сапропелів потрібно налагоджувати їх промислове добування.

На сьогодні відомо про значну кількість технологій та технічних засобів для розробки прісноводних озер. Проте, для сільськогосподарського виробництва, важливим чинником є собівартість органічних добрив на основі сапропелю. Відома технологія добування сапропелів, яка передбачає проморожування та їх використання у якості органічних добрив на прилеглих до озера полях. Але, при цьому падає якість сапропелів, як органічної сировини. Гинуть бактерії анаеробного походження. Відтак, норма поверхневого внесення становить не менше 60 т/га, яка впливає на логістичні процеси їх застосування у сільськогосподарському виробництві.

Впровадження інтенсивних технологій в аграрному виробництві не сприяє збереженню родючості ґрунтів через відсутність органічних добрив. У сапропелях є цілий ряд необхідних елементів живлення для рослин: фосфор, калій, азот і речовини, які поліпшують органічні, хімічні і біологічні властивості ґрунту. За різними літературними джерелами сапропелі підвищують врожайність сільськогосподарських культур в межах 15...48 %.

Застосування сапропелів у якості складника органічних добрив потребує вивчення не тільки технологій їх приготування, але й технологій добування сапропелів. Відповідно, для їх реалізацій, потрібно нові технічні засоби. Особливо у випадках використання сапропелів природної вологості. Правильно виготовлені органічні добрива та внесенні у ґрунт можуть стати добрими акумуляторами регулювання вологісного режиму протягом всього періоду вегетації рослин.

Сьогодні відсутня науково обґрунтована екологічна оцінка отримання сільськогосподарської продукції в умовах глобального потепління. Не розроблена екологічно безпечна та економічно доцільна система удобрення сільськогосподарських культур при виробництві органічної продукції.

Постала проблема вирощування сільськогосподарських культур через зростання середньої температури повітря у навколишньому середовищі. Змінити ситуацію можна шляхом виробництва та внесення у ґрунт волого утримуючих добрив. Тому, з врахуванням вище вказаної актуальності, дослідження мають достатнє наукове і практичне значення.

**Об'єкт досліджень** – технологічні процеси виробництва органічних добрив і забезпечення його місцевими сировинними ресурсами.

**Предмет досліджень** – органічні добрива, сапропель прісноводних озер, робочі органи сапропеледобувного модуля.

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

**Завдання досліджень:**

1. Провести аналіз технологій і технічних засобів виробництва органічних добрив і забезпечення його місцевими сировинними ресурсами.
2. Дослідити властивості сапропелів природного стану, придатних для виробництва органічних добрив.
3. Розробити програму та методики експериментальних досліджень.
4. Встановити визначальні параметри пристрою вивантаження сапропелю з бункера сапропеледобувного модуля.
5. Провести експериментальні дослідження з визначення властивостей сапропелів природного стану.

6. Запропонувати удосконалення технології виробництва органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів і конструкцію сапропеледобувного модуля.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів, що ґрунтуються на основних положеннях теорії класичної механіки. Експериментальні дослідження проводились за галузевими та розробленими методиками на розроблених установках та приладах. При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися математичні методи планування експерименту з використанням комп'ютерних технологій.

**Результати роботи та їх новизна.** В магістерській роботі запропонована технологія механізованого виробництва органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів. Новизна результатів досліджень полягає у обґрунтуванні технології виробництва органічних добрив та параметрів сапропеледобувного модуля.

**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 65 сторінок.

На захист виноситься технологія виробництва органічних добрив і конструкція сапропеледобувного модуля.

## РОЗДІЛ 1

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

1.1. Особливості технології механізованого виробництва органічних добрив

Вирощування органічної продукції вимагає нових технологій та техніки. За даними Міжнародної організації органічного руху (IFOAM), площі земель під органічним виробництвом у 2009 р. займали близько 1% (у Європейському Союзі – до 3%) сільськогосподарських угідь і становили майже 37,2 млн. га [1]. В Україні площа сертифікованих сільськогосподарських угідь з органічним виробництвом у 2011 р. становила 369 тис. га, що займає 16-те місце у світі. [2].

Ведення органічного виробництва базується на використанні органічних добрив. Вони виконують ряд важливих функцій для живлення рослин а також позитивно впливають на родючість ґрунту(рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Властивості органічних добрив

Органічні добрива мають відчутну перевагу над мінеральними, яка полягає у наступному[4]:

- Органічні добрива містять мікроорганізми та інші корисні компоненти, які поліпшують структуру ґрунту, збільшують його водопроникність, допомагають боротися з засоленням та знижують рівень кислотності.

- Використання органічних добрив допомагає зменшити забруднення довкілля, оскільки вони не містять хімічних речовин, які можуть вимиватися в ґрунт та потрапляти до водойм.

- Органічні добрива сприяють розвитку кореневої системи рослин, що своєю чергою підвищує їх стійкість до хвороб та шкідників. Вони також покращують якість плодів та збільшують їх врожайність. Більш здорові рослини дають більший та якісніший врожай.

- Органічні добрива не містять шкідливих хімічних речовин, які можуть негативно впливати на здоров'я людини. При вживанні продуктів, вирощених на ґрунтах, удобрених органічними добривами, ми отримуємо більше корисних речовин та менше токсинів.

Найпоширенішими органічними добривами є гній[3]. Дешевий, доступний і корисний матеріал для рослин. Залежно від строків зберігання, умов, ступеня розкладання органічних компонентів гною він набуває відповідного зовнішнього вигляду і консистенції. Розрізняють чотири ступені розкладання гною на солом'яній підстилці: свіжий, напівперепрілий, перепрілий і перегній.

Згорання галуззі тваринництва призвело до необхідності виробництва органічних добрив. Серед механізованих технологій значного поширення набуло компостування. Компости виготовляють з різних органічних відходів: бадилля, стружки, сухого листя, ставкового мулу, стеблової маси злакових культур та ін... Підвищити якість компостів можна шляхом додавання гною, сапропелю, торфу і пташиного посліду. Компости готують, як правило, двома способами: пошаровим і вогнищним.

В Україні виробляються похідні органічні добрива на основі підстилкового гною та посліду, а також продукти на основі торфу та сапропелів. Окремо можна виокремити добрива на основі природного мінералоїду – леонардиту. З появою біогазових установок можна виокремити також органічне добриво з дигестату та похідних продуктів з нього

Процес розкладання органічної сировини прискорюють шляхом подрібнення рослинних матеріалів, додавання води та забезпечення належної аерації, регулярно перевертаючи суміш. Гриби, дощові черв'яки та інші детритофаги допомагають розщепити органічні матеріали. Бактерії, що потребують кисню для функціонування (аеробні бактерії), і гриби здійснюють хімічний процес з перетворенням вхідних речовин у тепло, вуглекислий газ та амоній.

Сапропелі – комплексні відкладення органічних (понад 15% маси) і мінеральних речовин на дні непроточних і слабопроточних відкритих водойм. Завдяки своєму складу, сапропель використовують як органічне добриво. До складу сапропелів входять мінеральні розчини кремнію, частки глини, вуглекислі та сірчаноокислі солі, відмерлі рештки флори і залишки водяних організмів. Нагромадження сапропелів становить близько 1 мм на рік. Потужність покладів сапропелів в озерах України складає 10-12 м, а розвідані геологічні запаси – до 0,8 млрд. м<sup>3</sup>. Найбільше покладів сапропелів в озерах льодовикового та карстового походження у Волинській та Рівненській областях. Виявлено поклади також у Київській, Чернігівській, Сумській областях та озерах Дунайського регіону (Одеська обл.)[6].

Сапропелі використовують у чистому вигляді самостійно або разом із мінеральними добривами. Під час добування сапропелів зазвичай звільняють все ложе озера від мулу, тому сапропелі, за всієї їх ефективності, є добривами одноразового використання. Втім сапропелі активно використовують також для виробництва похідних органічних добрив. На ринку України представлено багато торгових марок таких добрив на основі сапропелю, наприклад, «Гумат Екстра», «Stimul-S (SP)», «Humiwel», «Біостимулятор», «Гумилайф Еко Цинк» та інші

Дигестат за своїм походженням придатний для використання як органічне добриво або для покращення фізико – механічного складу ґрунту. Фактично будівництво кожної біогазової станції передбачає утворення дигестату. В Україні дигестат на сьогодні утворюється на 18 біогазових установках промислового масштабу, а також на малих біогазових установках.

## 1.2. Вибір сировини для виробництва органічних добрив методом компостування

Серед вище приведених технології виробництва органічних добрив на особливу увагу заслуговує компостування. Зниження собівартості готової продукції залежить від вибраної сировини для компостування та логістики при її доставці до місця виробництва органічних добрив. У такому випадку варто звертати увагу на місцеві сировинні ресурси.

Для отримання широко поширеного підстилкового гною використовують соломисту складову сільськогосподарських рослинних матеріалів. У першу чергу, злакових культур. Можливе використання і інших матеріалів. Для цього важливо стебла подрібнити, що забезпечується сучасною збиральною технікою(рис.1.2).



Рисунок 1.2 Збирання зернових культур

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 дозволяє вернути 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. Удобрення соломою забезпечує доступність фосфору і калію, за рахунок розчинюючої дії речовин кислої природи, що утворюються при її розкладанні. Заробляння у ґрунт однієї тони соломи в сполученні з рідким гноєм або мінеральним азотом по своїй дії рівноцінна 3,5-4,0 т/га соломистого гною. В то же час взаємодія соломи з сапропелем не встановлена. Ізогумусовий коефіцієнт соломи по різних джерелах становить 0,1-0,25. Це значить, що внесення 20-40 ц соломи в ґрунт забезпечує утворення 0,3-2,6 т гумусу на 1 га.

Щорічне внесення соломи на третій-четвертий рік підвищує кількість найцінніших водостійких агрегатів розміром більше 0,25 мм і збільшує водопроникність ґрунту, що важливо для умов зростання глобального потепління.

Внесення соломи викликає посилення «дихання» ґрунту - виділення вуглекислого газу, який необхідний рослинам у процесі фотосинтезу.

З іншої сторони, солома може стати суттєвою перешкодою проведенню обробітку ґрунту. З цією метою під час збирання, або ж одразу після збирання її подрібнюють. Тому, ефективним способом використання соломи як органічного добрива є роздільне внесення її з рідким гноєм. При цьому, чим дрібніше подрібнена солома, тим швидше проходить її розкладання. Солому треба подрібнювати на довжину до 5-7 см. На важких ґрунтах солома повинна заорювати мілко, тому що тільки в цьому випадку створюються умови для швидкого розкладання органічної речовини.

Таким чином, застосування соломи на добриво є ефективним способом її використання. Особливо важливе значення цей агрозахід має в господарствах із слаборозвиненим тваринництвом чи його відсутністю.

Напрямок використання соломи, як складника при компостуванні з сапропелем органічного походження не досліджений. Особливістю даного компостування є те, що у сапропелях знаходяться анаеробні бактерії, тому відомі технології компостування не підходять. Закладені компости мають бути ізольовані від навколишнього середовища.

Сапропель (від грецького *sapros* – гнилий і *pelos* – мул) – прісноводний мул(рис. 1.3), 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]. Дослідженнями доведено, що внесення сапропелів на у чистому вигляді, після проморожування, з нормою 50 і 100 т/га збільшує врожайність картоплі на 28 і 47 ц з одного га. Завдяки корисним бактеріям навіть виснажений ґрунт перетворюється на родючий із гарною мікрофлорою. Неабиякою перевагою сапропелю є його абсолютна екологічна безпека.



Рисунок 1.3 Озерний сапропель різного стану

Застосування сапропелю дає змогу боротися й проти шкідливих бактерій і патогенних мікроорганізмів. Структура ґрунту стає розпушеною, навіть якщо це глинозем і суглинок. Ґрунт краще утримує вологу, а відсоток гумусу в ньому зростає. Практично гамлетівське питання «як утримати вологу» має ще один варіант відповіді. Сапропелю це до снаги! Проте на варто впадати в крайнощі. Самий лише сапропель аж ніяк не в змозі закрити геть усі потреби рослин в корисних речовинах.

### 1.3. Аналіз конструкцій машин та робочих органів для добування сапропелів з прісноводних озер

Для реалізації технології виробництва органічних добрив шляхом компостування соломи злакових культур і сапропелю прісноводних озер необхідні технічні засоби як для добування сапропелю, так і для подрібнення соломи.

Існує значна кількість технологій та технічних засобів для добування сапропелю з водойм[10,11]. Серед них:

- Гідравлічний і гідромеханічний.
- Грейферний і екскаваторний.
- Шнековий і пневмо - шнековий.
- Точково - вакуумний і всмоктуючий.
- Скреперно - всмоктуючий.
- За допомогою замикаючого циліндра.

При цьому з екологічної точки зору варто надавати перевагу само плаваючим технічним засобам(рис. 1.4).



Рисунок 1.4 Сучасний самоплаваючий добувний модуль

Доцільним було б говорити про те, що земснаряди оснащуються досить широким спектром обладнання для видобутку сапропелю. Тому кожен замовник знайде зручне і економічно обґрунтоване рішення під конкретні цілі та завдання. Бюджетним варіантом можна було б назвати грейферні або екскаваторний методи.

У сільськогосподарському виробництві широко використовуються робочі органи або їх елементи у вигляді ковша[5]. Ковшові навантажувачі поділяються на одноковшеві з дизельним двигуном і багатоковшеві. За типом механізму пересування на гусеничні (тракторні лопати), пневмокок - лісові і рейкові. Одноковшеві навантажувачі відносяться до машин періодичної дії, багатоковшеві - до машин безперервної дії. Серед одноківшових навантажувачів розрізняють неповоротні, у яких робочий орган не обертається щодо шасі в горизонтальній площині, і неповноповоротні. Неповоротні навантажувачі здійснюють маневрування тільки механізмом пересування, неповноповоротні - згаданим механізмом і поворотом платформи (стріли з робочим органом) навколо вертикальної осі. Розрізняють передню, задню (перекидну) і бічну стінки для розвантаження ковша.

Продуктивність таких робочих органів, через циклічність виконання технологічного процесу – низька, незважаючи на ефективність його заповнення. Тому для добування сапропелю під шаром води необхідний робочий орган у якому поєднуються функції декількох ковшів і які дозволять забезпечити якісне безперервне виконання технологічного процесу.

Добувний модуль, який пропонується удосконалювати, представлений у науковій літературі, як самохідний плавзасіб[15]. Енергетичною установкою такого плавзасобу є трактор класу тяги 1,4 кН. Найбільш поширений універсальний трактор, серед яких найбільш підходить трактор марки ЮМЗ. Трактор встановлюється на понтоні установку, яка не потребує папільонажних пристроїв для переміщення добувного модуля. Недоліком такого добувного модуля є те, що добутий сапропель перевантажується у баржу, яку необхідно транспортувати до місця розвантаження.

#### 1.4. Аналіз способу руйнування матеріалів різанням.

Для подрібнення соломи широко використовують спосіб різання. При цьому присутні три загальні випадки різання[5], (рис.1.5). Все залежить від кута ковзання ножа. Даний кут утворюється між векторами нормальної сили і переміщенням матеріалу в певній точці ножа.

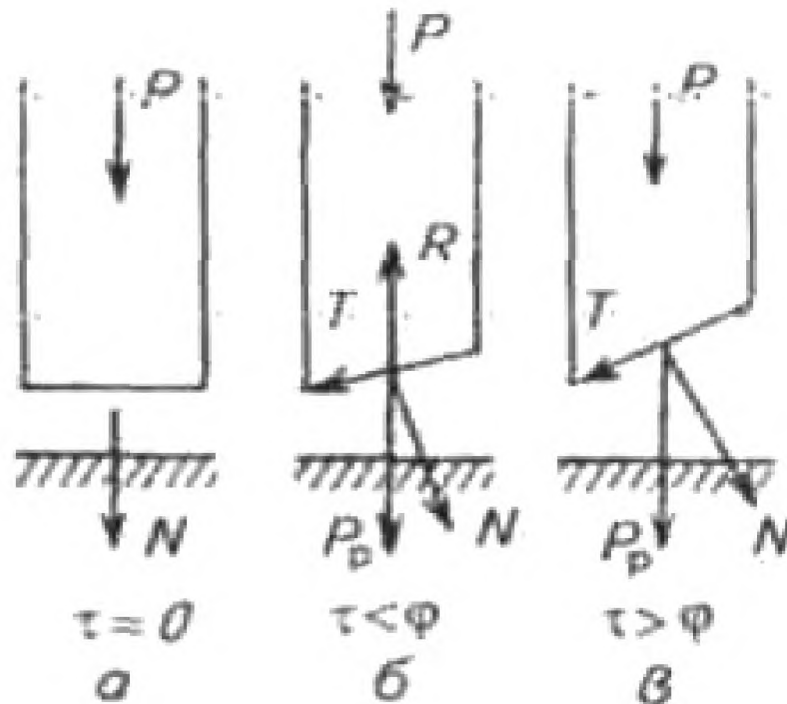


Рисунок 1.5 Випадки різання лезом: а) – рубання; б) – похиле різання;  
в) – різання з ковзанням

При різанні або „рубанні“, руйнування матеріалу відбувається тільки під дією нормальної сили  $N$  без переміщення матеріалу відносно леза. Кут ковзання відсутній ( $\tau = 0$ ).

У випадку похилого різання, додатково виникає бічна сила  $T$ . Значення її ще не достатнє, щоб викликати ковзання ножа ( $0 < \tau < \varphi$ ). Руйнування матеріалу залежить як від нормальної сили, так і кута заточування леза. Таким чином нормальне навантаження значно менше

Найменше нормальне зусилля для руйнування матеріалу потрібно у випадку різання з ковзанням. Тоді, кут  $\tau < \varphi$ . Робота здійснюється як нормальною силою  $N$ , так і боковою  $T$ . При цьому, матеріал переміщається відносно леза і в бічному напрямку. Появляється ефект перепилування матеріалу.

Аналогічний принцип роботи ножів і у ковшових робочих органах при врізанні їх ножів у матеріал. Безумовно, правильно вибранні кути захоплення сапропелю під водою знизить зусилля відділення пласта від загального масиву, що є важливим при проектуванні забірних пристроїв добувних модулів.

Розробка масиву матеріалу завжди починається з їхнього руйнування, тому знання його механічних характеристик дозволяє запропонувати правильні робочі органи і конструкцію машин для відповідних робіт.

Вважається, що міцність - основна ознака, яка чинить опір загальному руйнуванню. Наприклад для ґрунту, який за своєю структурою схожий до сапропелю у нерухомому стані, чисельна міцність може бути представлена коефіцієнтом міцності [15], обумовленим по  $\sigma_{ст}$  при одноосьовому стиску.

$$f = P/F10^6, \quad (1.1)$$

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>.

Якщо врахувати, що опір різанню це здатність матеріалу створювати опір механічному впливові, то при цьому викликають напруги стиску, розтягу і відриву від загального масиву. Їх подолання завершується руйнуванням матеріалу і відділенням певного пласта від загального масиву.

Опір ґрунту різанню характеризується коефіцієнтом питомого опору різання  $F_k$ , значення якого визначається експериментально в залежності від роду і стану ґрунту або обчислюється по емпіричній залежності, запропонованої проф. Н.Г. Домбровським.

$$k_F = k_{II} f, \quad (1.2)$$

де  $k_{II}$  - коефіцієнт пропорційності, що коливається в межах 1,6...2,1;

Загалом, закладений технологічний процес машини для розробки масиву матеріалу, в загальному випадку, включає наступні операції:

1. відділення необхідного пласта від загального масиву;
2. захоплення визначеної частини матеріалу робочими поверхнями;
3. переміщення матеріалу до місця розвантаження або передача його до іншим робочих органів;
4. транспортування матеріалу в засоби накопичення

У випадку розробки покладів ковшовими робочими органами, найбільш складним є процес заповнення ковша матеріалом.

Загальне рівняння зусиль при русі ковша:

$$S_m \geq P_{кон} = P_{0I} + P_{тр} + P_{н.в}, \quad (1.3)$$

де  $S_m$  - зусилля в тяговому елементі, Н;

$P_{кон}$  - сумарний опір руйнування матеріалу робочим органом, Н;

$P_{0I}$  - дотична складових сил різання, Н;

$P_{тр}$  - опір тертя робочих поверхонь у матеріал, Н;

$P_{н.в}$  - опір, що виникає при заповненню ковшового робочого органу, Н.

У випадку відділення матеріалу за принципом механічної лопати, питома енергоємність процесу визначається за формулою:

$$A_{num.} = A_n / m_{зр} \quad (1.4)$$

де  $A_n$  - робота з черпання ґрунту ковшем моделі механічної лопати, Н·м;

$m_{зр}$  - маса ґрунту в ковші, кг

Таким чином процеси подрібнення соломи стеблових сільськогосподарських культур і добування сапропелю з прісноводних озер ковшовими робочими органами, мають спільний підхід до руйнування матеріалів методом різання. Викладені теоретичні положення присутні у вказаних процесах заготівлі органічної сировини до компостування.

### 1.5. Висновки до розділу

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

1. Відсутність достатньої кількості органічних добрив призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур і родючості ґрунтів. Відновити нормативне внесення органічних добрив у сільськогосподарському секторі можливо при налагодженні сучасних виробництв органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів.

2. Властивості твердих органічних добрив залежать від способу і технологій їх приготування. Серед великої кількості сировини органічного походження, варто звернути увагу на сапропелі прісноводних озер та стеблову частину врожаю злакових зернових культур.

3. В основу реалізації нових технологій для виробництва органічних добрив шляхом компостування з використанням анаеробних бактерій покладено застосування сапропелів прісноводних озер, що потребує розробки спеціального модуля для їх добування.

4. Аналіз теоретичних досліджень вказує, що при впровадженні нових технологій виробництва органічних добрив, необхідно враховувати умови руйнування матеріалів методом різання. В агротехнічних вимогах до сапропеледобувного модуля основною вимогою є екологічна безпека навколишнього середовища.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Обґрунтування технології виробництва органічних добрив

Механізація процесу виробництва органічних добрив пов'язана з використанням необхідної кількості машин для створення умов перетворення органічної сировини у високоякісні добрива. Компостування сировини вимагає підготовки складників до їх закладання у бурти з відповідними умовами для збереження поживних речовин, зміни властивостей на основі анаеробного процесу. Відомо, що анаеробні бактерії формуються у озерному сапропелі без доступу кисню. У зв'язку з цим виникає проблема пошуку нових технологій добування та транспортування сапропелю до місця виробництва органічних добрив.

Коли органічної сировини достатньо, яка залишається після збирання, то варто налагодити виробництво органічних круглий рік. Але, у зимовий час, за низьких температур навколишнього середовища, виготовляти органічні добрива аеробним способом неможливо, так як такий спосіб потребує постійного перемішування складників для доставки кисню у зони дихання аеробних бактерій. Анаеробний процес не потребує аераторів - змішувачів. Головне у такому процесі забезпечити умови життєдіяльності анаеробних бактерій. Запропонована структурна схема технології виробництва органічних добрив з використанням анаеробних бактерій у польових умовах, яка представлена на рис. 2.1.

Як видно з схеми закладати компости із використанням анаеробного процесу необхідно в осінній період. Рекомендується два підходи виробництва твердих органічних добрив анаеробним способом. Перший шлях - осіннє компостування. Компости найкраще закладати на ділянках поля, на котрих будуть використовуватись дані добрива. Для цього з краю поля проводиться підготовка місця закладання бурта, робиться заглиблення на глибину 20-25 см. Відповідні ширина та довжина визначаються необхідною кількістю добрив для даного поля. Отриманий ґрунт, який вибрано із заглиблення, використовується для ізоляції бурта від навколишнього середовища.

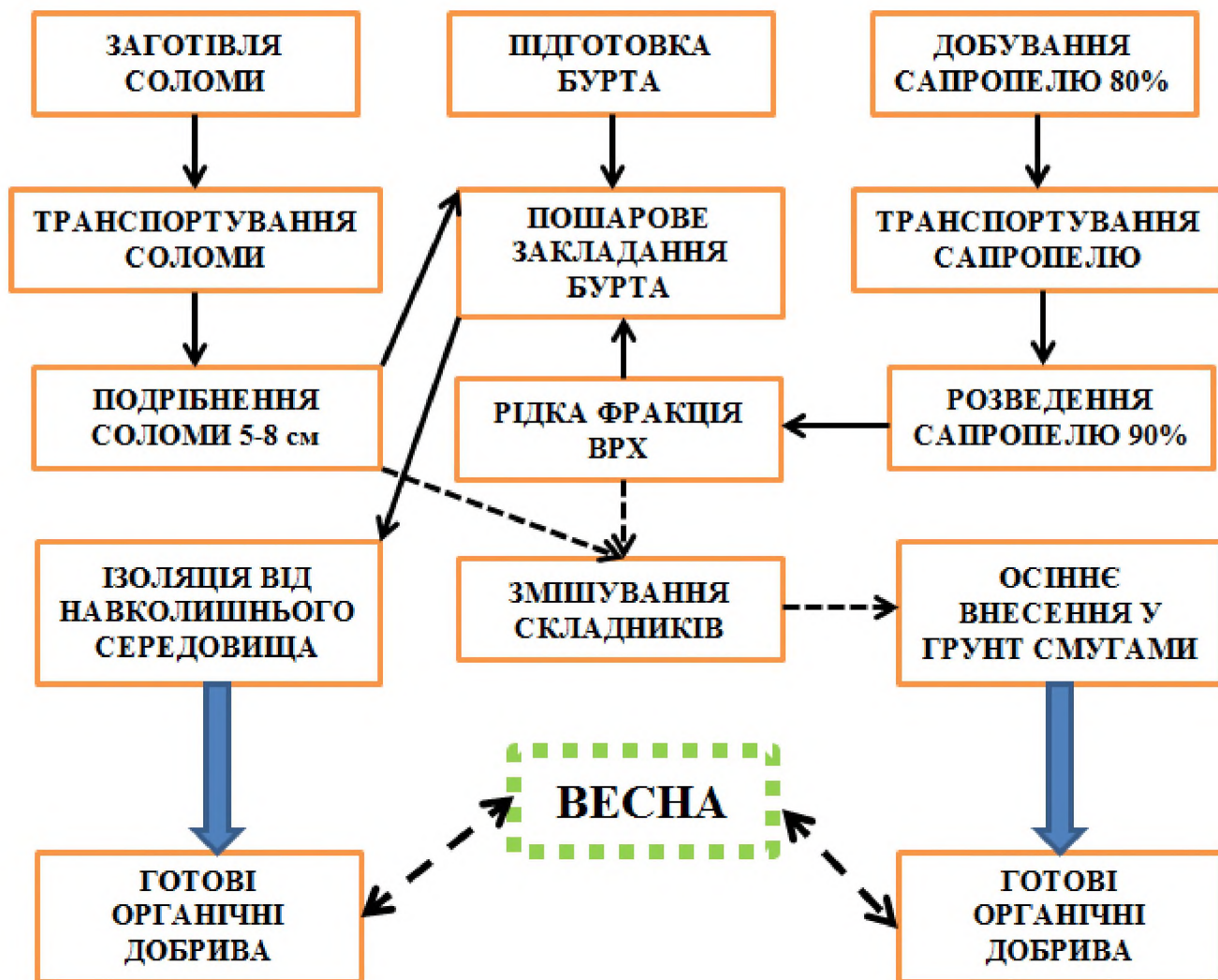


Рисунок 2.1 Структурна схема технології виробництва органічних добрив анаеробним методом

До місця закладання компостів транспортується солома (подрібнена до 5-8 см), або необхідний подрібнювач в процесі заповнення бурта. Добутий озерний сапропель з під шару води може мати мінімальну вологість 80%. Тому, в процесі компостування, його варто розвести до мінімальну вологості 90% рідким гноєм ВРХ, так як лише у ньому є гумосоутворюючі бактерії. Ізоляцію закладеного бурта варто проводити чорною поліетиленовою плівкою та ґрунтом. Правильно закладені співвідношення складників забезпечать весною високоякісні тверді органічні добрива. Іншим варіантом осіннього виробництва органічних добрив анаеробним методом є змішування вказаних складників та внесення їх у ґрунт смугами. Для цього необхідно відповідна машина.

## 2.2. Обґрунтування конструкції сапропеледобувного модуля

При обґрунтуванні конструкції машини для добування сапропелів з під шару води важливо оцінити технологічні переходи, які має забезпечити майбутній сапропеледобувний модуль. Для отримання сапропелів мінімально можливої низької вологості, варто їх добути з середнього шару. У випадку змішування з водою, часткового відділити її та спрямувати у накопичувальну ємкість. Така ємкість може бути у вигляді причіпної баржі, або встановлюватись на спільні з енергетичною установкою, понтонні засоби. Тому, в залежності від компоновки, сапропеледобувний модуль застосовується на різних за площами водоймах (рис.2.2). Проте раціональне його використання можливе для водойм не більше 20 га та максимальною глибиною до 10 м.

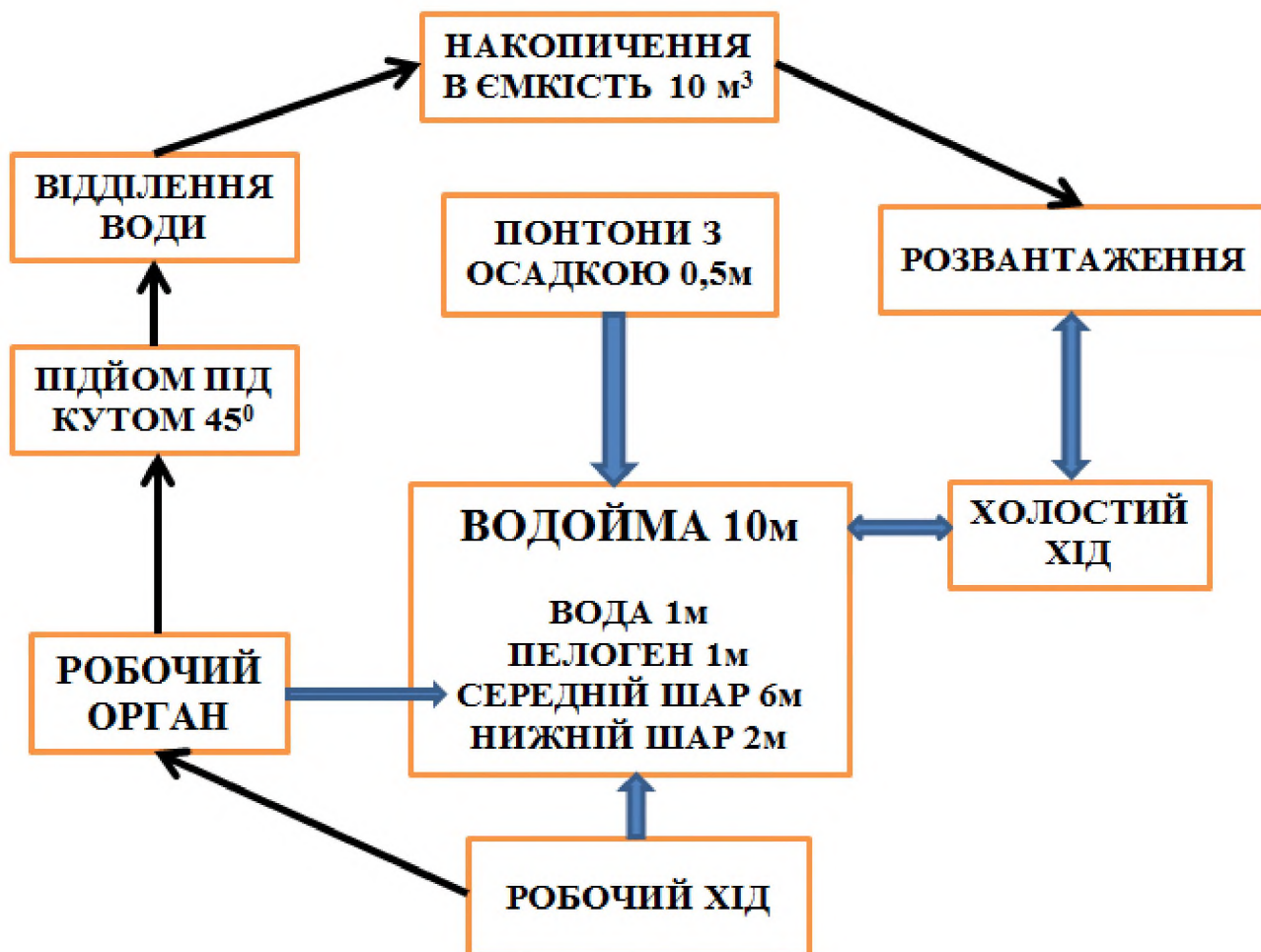


Рисунок 2.2 Структурно - логічна схема сапропеледобувного модуля для заготівлі органічної сировини

Як видно із схеми сапропеледобувний модуль повинен забезпечити ряд якісних показників технологічного процесу:

- рівень опускання понтонного обладнання не повинен перевищувати 0,5м для водойм з глибиною чистої води 1,0м;

- забезпечити відділення пласта від загального масиву середнього шару на глибині 2,0м , яка обумовлена чистою водою і наявністю пелогену;

- забезпечувати відділення вільної води до 10-15 % у випадку її змішування з виділеним пластом;

- забезпечувати можливість комплектування як з причіпною ємкістю у вигляді додаткової баржі, так ємкістю, що встановлюється на загальну понтонну установку;

- мінімізувати екологічні наслідки в процесі розробки водойми та прогнозувати наслідки після завершення очищення озера;

- агрегування сапропеледобувного модуля забезпечує трактор класу тяги 1,4 кН.

Конструктивна компоувальна схема запропонованого сапропеледобувного модуля для добування органічної сировини представлена на рис.2.3 і рис. 2.4.

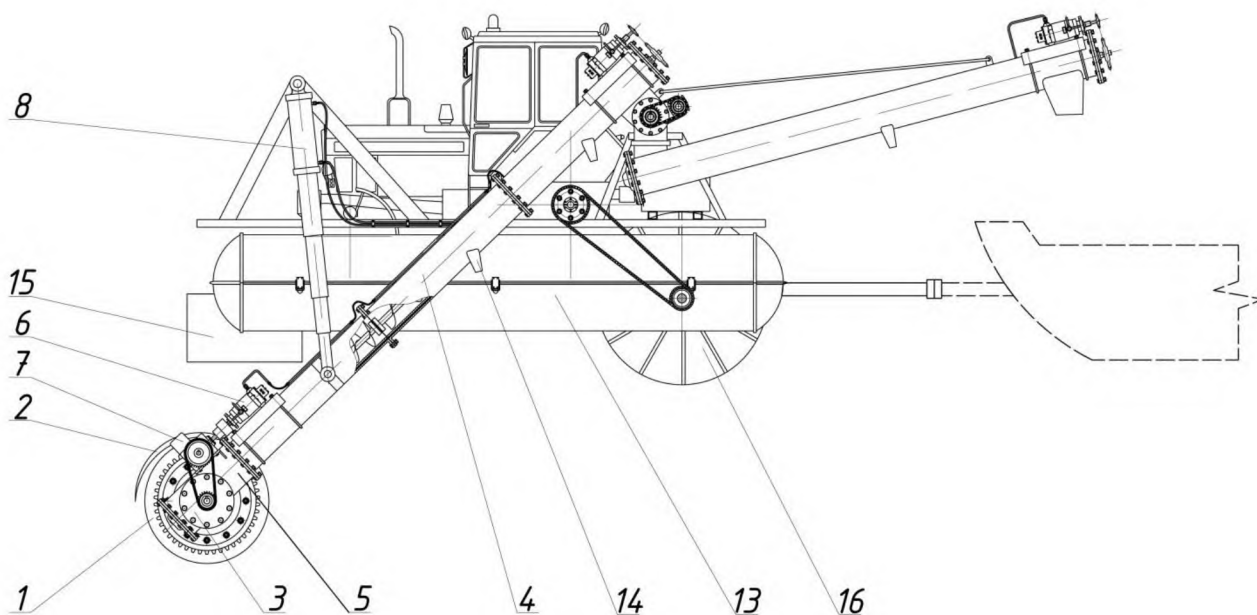


Рисунок 2.3 Конструктивна компоувальна схема сапропеледобувного модуля для добування органічної сировини(вид збоку)

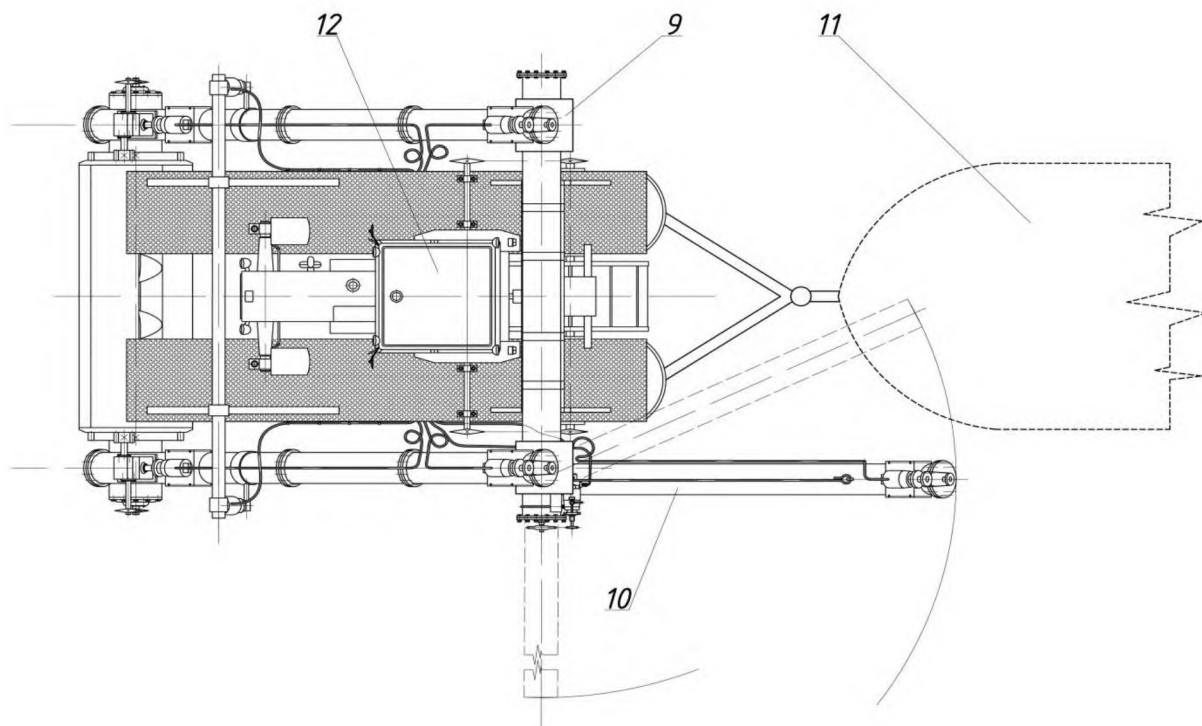


Рисунок 2.4 Конструктивна компоувальна схема сапропеледобувного модуля для добування органічної сировини(вид зверху): 1 – добувна фреза; 2 – нерухомий корпус; 3 – центральний шнек; 4 – гвинтовий прес; 5 – з’єднувальний рукав; 6 – гідродвигун; 7 – редуктор; 8 – гідроциліндр; 9 – приймальний бункер; 10 – вивантажувальний шнек; 11 – ємкість готової сировини(баржа); 12 – трактор класу тяги 1,4; 13 – понтон; 14 – патрубок скидання вільної води; 15 – рульове кермо; 16 – лопатеве колесо;

Сапропеледобувний модуль сапропелів (рис. 2.3, 2.4) включає робочий орган у вигляді добувної фрези 1. Фреза частково закрита жорстким корпусом 2, в якому розташований центральний шнек 3. Гвинтовий прес 4 з’єднувальним рукавом 5 зв’язаний із добувною фрезою 1. Робочими поверхні добувної виконані у вигляді спіралі Архімеда. Від гідродвигунів 6 через редуктор 7 приводиться в обертовий рух забірний пристрій. Глибина ходу робочого органу забезпечується гідроциліндрами 8. Гвинтові преси 4 забезпечують відділення вільної води. Сапропель вологістю 80% попадає у приймальні бункери 9 вивантажувального шнека 10. Даний механізм може включати дві секції. Тоді розширюються можливості роботи сапропеледобувного модуля для завантаження сапропелю у баржу 11. Робочі механізми приводяться в

рух тракторним двигуном 12, який встановлюється на понтон 13. Вільна вода скидається у водойму через патрубки 14. Вибір напрямку руху здійснюється за допомогою рульового керма 15 від кермової системи трактора. При монтажі трактора взамін ведучих коліс встановлюються лопатеві колеса 16.

Ефективність сапропеледобувного модуля залежить від якісного монтажу трактора на понтон, на якому має бути низько оборотний двигун. На початковому етапі для створення умов функціонування фрези запускаємо у роботу лопатеві колеса. Одночасно робочі поверхні захоплюють пласт сапропелю, відокремлюючи його від загального масиву. Зусилля та геометрична форма робочих поверхонь, при встановленому режимі сапропеледобувного модуля, забезпечують його переміщення у напрямку розробки покладів. Від попадання пелогену у центральний шнек передбачено нерухомий корпусом. Горизонтальною площадкою нерухомого корпуса та гідроциліндрами забезпечується відбирання сапропелю з середнього шару. Центральний шнек розподіляє сапропель на дві сторони до гвинтових пресів, які спрямовують сапропель у вивантажувальний шнек для подачі у накопичувальну ємкість.

Кінематична схема сапропеледобувного модуля є простою та пов'язана з гідросистемою трактора. Основним у ній є: два гідромотори та два редуктори. Приводи на гвинтові преси та вивантажувальний шнек здійснюються через ланцюгові передачі.

Принципова схема, яка необхідна для вивчення принципу роботи сапропеледобувного модуля, налагодження його роботи, проведення контролю та ін., являється основою для подальшої розробки конструкторської документації, графічного креслення на збірні вузли і окремі деталі. Основними вузлами сапропеледобувного модуля є: понтон, переобладнаний трактор кл. 1.4, робочий орган у вигляді фрези та транспортуючі гвинтові елементи. Дані вузли, при необхідності, легко демонтуються. Запропонована конструкція сапропеледобувного модуля для заготівлі органічної сировини має ряд переваг перед промисловими аналогами через простоту його конструкції. Складним у виготовленні є лише робочий орган.

### 2.3. Визначення технологічних параметрів сапропеледобувного модуля

Основними технологічними параметрами сапропеледобувного модуля є розрахунок його продуктивності, яка залежить від переборення сумарного опору відокремлення пласта від загального масиву середнього шару сапропелю, який називають ще опором копання. Він включає: опір різання, опір переміщення призми волочіння і опір переміщення пласта по внутрішній криволінійній поверхні. Величини вказаних опорів залежать від міцності об'ємного масиву матеріалу і характеризуються силами опору різанню  $P$ , переміщенню призми волочіння  $P_{пр}$ , заповнення внутрішньої поверхні робочого органу  $P_{зап}$  і сили тертя  $P_{тр}$ . Сумарна дотична сила(сила копання) визначається, як:

$$P_{коп} = P + P_{пр} + P_{зап} + P_{тр}. \quad (2.1)$$

З іншої сторони визначити силу копання  $P_{коп}$  можна за розрахунковою величиною площі перерізу зрізу матеріалу  $F_{ср}$  і середньою питомою (на одиницю ширини зрізу) силою копання  $p_{коп}$  даного матеріалу робочою криволінійною поверхнею:

$$P_{коп} = p_{коп} \times F_{ср}, \quad (2.2)$$

В такому випадку питома сила копання  $p_{коп}$  відповідає сумі питомих опорів матеріалу всіх названих опорів:

$$p_{коп} = \frac{P + P_{пр} + P_{зап} + P_{тр}}{F_{ср}}. \quad (2.3)$$

Для сапропелю, форма відділеного пласта буде наближатись до стружки водонасичених глин і суглинків, тобто буде суцільною. На ефективність процесу відділення пласта впливає також якість підготовленої робочої поверхні та ріжучого леза.

Існують три способи розрахунку середніх максимальних сил різання: за дослідними коефіцієнтами, спрощений і орієнтовний. Перший з них ґрунтується на дослідному визначенні шести коефіцієнтів розрахункового опору за міцністю матеріалу. Його застосовують при розрахунках, коли пропонують принципово нові спеціальні землерийні машини великої потужності. У всіх інших випадках використовуються спрощені методи розрахунку. Вони передбачають використання взамін шести невідомих – один коефіцієнт. Цей коефіцієнт  $m_{св}$  характеризує питому силу різання  $P_{св}$  у лобовій частині робочої поверхні з ріжучим елементом. При цьому, кут різання становить  $\delta = 45^\circ$ . Інші п'ять параметрів заміняють відношенням сил  $P_{бок}$ ,  $P_{бок.ср}$  і  $P_{пл.поч.}$  до сили  $P_{св}$ . Тоді сумарну силу різання простим ножом можна визначити за формулою:

$$P = P_{св}^{\delta=45^\circ} (\phi + \eta_{пр} + \eta_{пл.поч.}), \quad (2.4)$$

де  $\phi$  – кут природного укосу матеріалу;

$\eta_{пл.поч.}$  – коефіцієнт, що характеризує відношення сил  $\frac{P_{пл.поч.}}{P_{св}^{\delta=45^\circ}}$ ;

$\eta_{пр} = \frac{P_{бок} + P_{бок.ср}}{P_{св}^{\delta=45^\circ}}$  – коефіцієнт, що враховує просторовий характер процесу

руйнування матеріалу;

$P_{св}$  і  $P_{бок}$  – площі лобової і бічних частин поперечного перерізу прорізу,  $m^2$  (див. рис. 2.5);

$P_{бок.ср}$  – сили бічного зрізу, які пропорціональні товщині зрізу, що залежить від міцності матеріалу і практично не залежить від ширини зрізу, а також від кута різання;

$P_{св}^{\delta=45^\circ}$  – сила різання в лобовій частині прорізу при куті різання  $\delta = 45^\circ$ .

Таким чином, для обчислення сили різання простою лопаттю необхідно дослідним шляхом визначити лише параметр  $m_{св} = P_{св}^{\delta=45^\circ}$ , який характеризує силу  $P_{св}$ .

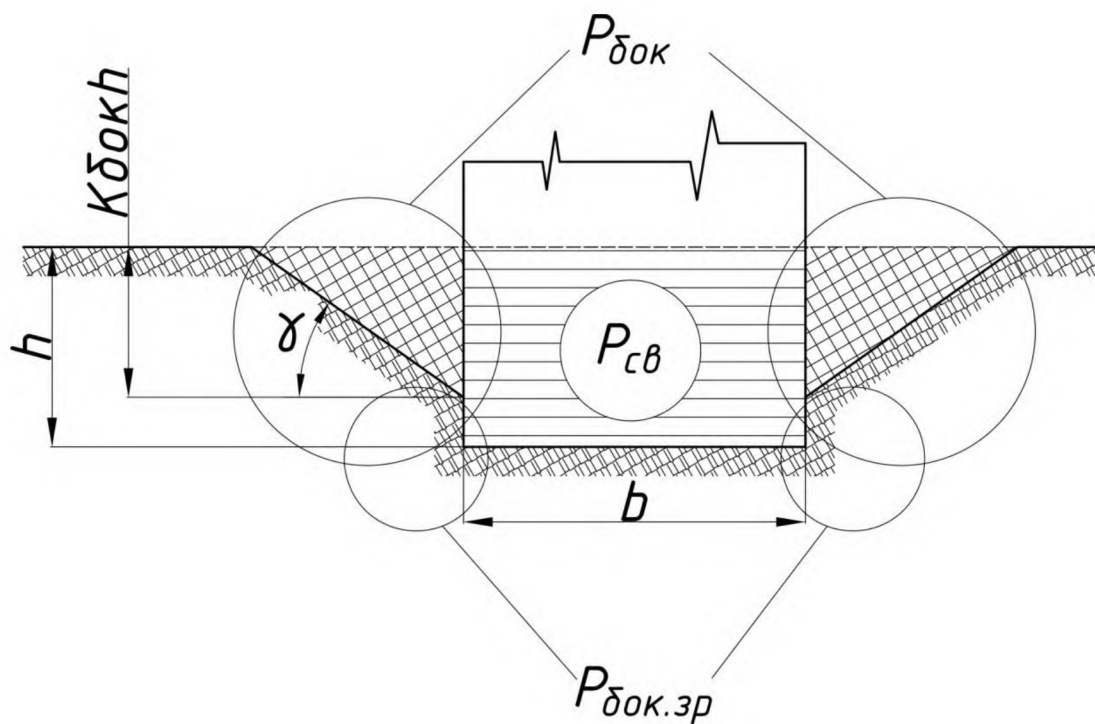


Рисунок 2.5 Зони дії складових сили різання гострою лопаттю.

Таким чином, для визначення лобової сили різання необхідно експериментально встановити сили блокованого різання ґрунту еталонною лопаттю при двох значеннях ширини зрізу, однакої глибині різання і куті вимірювання  $\delta = 45^\circ$ . Значення  $m_{св}$  вихислюється за формулою:

$$m_{св} = P_{св}^{\delta=45^\circ} = \frac{P_2 - P_1}{h_{1,2} \times (b_2 - b_1)};$$

де:  $P_1$  і  $P_2$  – сили блокованого різання матеріалу еталонною лопаттю.

Для простого гострого ножа нормальна сила різання визначається за дотичною силою різання і врахуванням кутів різання й тертя:

$$N = (P_{св} + P_{бок} + P_{бок.сп}) \times \text{ctg}(\delta + \mu); \quad (2.5)$$

де  $P$  показана на рисунку 2.5.

## 2.4. Теоретичні дослідження пристрою вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості

Пристрій вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості – це проста конструкція, яка включає два елементи одного шнека: горизонтальну та похилу, з можливістю зміни кута, похилої вітки. При цьому горизонтальна вітка виконує функцію підведення сапропелю до похилої, тобто основна її задача транспортування матеріалу. Більш складні процеси відбуваються у похилій вітці, так як сапропель вологістю 80-85% необхідно підняти на висоту не менше 3м. Конструкція пристрою вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості зображено на рис. 2.6.

Горизонтальний шнек 1 пристрою вивантаження розміщений у днищі накопичувальної ємкості 3. До накопичувальної ємкості 3 за допомогою тяги 4 встановлено похилий шнек 2. Між собою обидва шнеки з'єднанні за допомогою спеціального шарніра 5. Горизонтальний шнек 1 включає дві частини: циліндричну 6 та конічну 7. Привід 8 шнеків включає ланцюгову передачу 9. Крутний момент на привід шнеків 8 забезпечує гідромотор, що працює від загальної гідравлічної системи трактора.

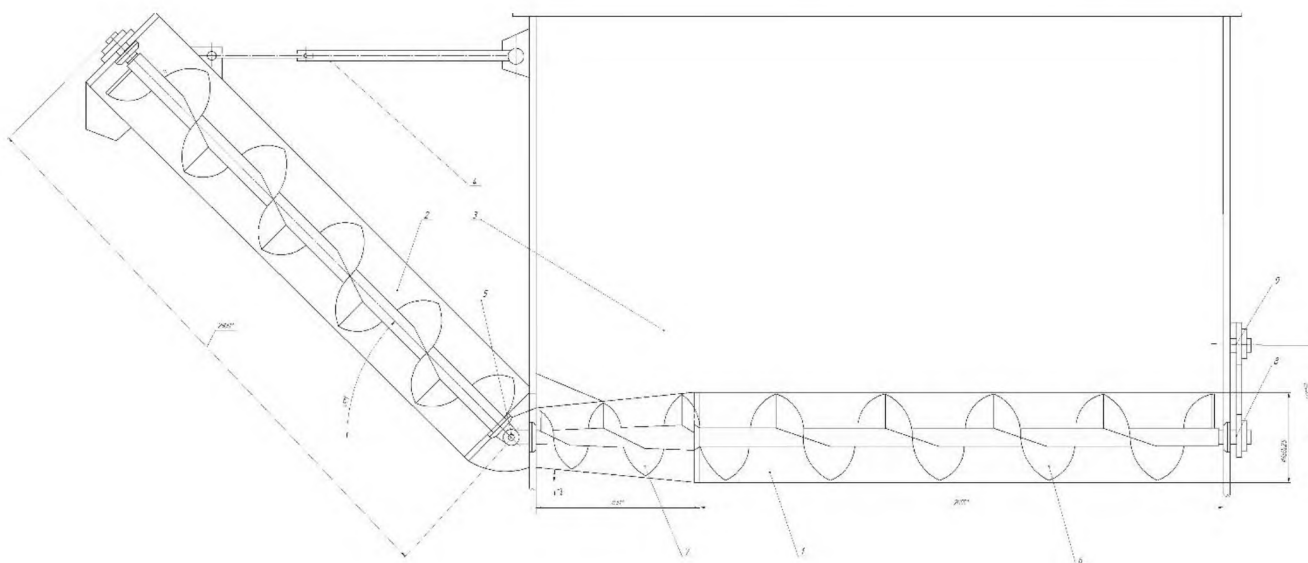


Рисунок 2.6 Пристрій вивантаження сапропелю: 1- горизонтальний шнек; 2- похилий шнек; 3- накопичувальна ємкість; 4- тяга; 5- шарнірне з'єднання; 6- циліндрична частина; 7- конічна частина; 8- привід шнеків; 9- ланцюгова передача

Основні геометричні параметри пристрою вивантаження залежать від об'єму накопичувальної ємкості 3. У даному пункті розглянемо теоретичні особливості похилого шнека 2.

У запропонованому пристрої вивантаження з гвинтовими робочими елементами, необхідно створити незначний тиск як у горизонтальному шнеку, так і похилому. Циліндрична частина 6 шнека 1 виконує роль транспортера, а для зростання тиску при переміщенні сапропелю до похилого шнека 2 передбачено конічну частину 7.

Відповідно, значення продуктивності обох шнеків має бути однаковою. Їх значення можна встановити за відомою формулою [26]:

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot \psi \cdot n \cdot V \cdot k, \quad (2.6)$$

де  $D$  - діаметр шнека, м;

$S$  - крок, м;

$\psi$  - коефіцієнт заповнення жолоба(кожуха);

$n$  - частота обертання шнека, об/хв;

$V$  - об'ємна маса матеріалу, т/м<sup>3</sup>;

$k$  - коефіцієнт, який залежить від нахилу шнека до горизонту.

Забезпечення безперервності технологічного процесу вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості, необхідно визначитись з кутом нахилу осі гвинта до горизонталі  $\alpha$ . Даний кут має безпосередній зв'язок із кутом нахилу осі обертання робочого органу відносно вертикалі  $\gamma$  і впливає на цілий ряд параметрів: продуктивність, осьову швидкість переміщення сапропелю, яка в свою чергу буде впливати на структури матеріалу. Важливими слід вважати і геометричні параметри: в першу чергу, довжина транспортування і довжина робочої зони відділення вільної води. Довжина робочої зони відділення вільної води має важливе значення у даному шнекові.

Тому, розглянемо два можливих положення розміщення гвинта відносно горизонталі: перший – кут нахилу транспортуючої гілки  $\delta = 90^\circ - \gamma$ , другий – кут гілки відділення вільної води має два варіанти  $\delta = 90^\circ - \gamma$  та  $\gamma = 90^\circ$  - горизонтальне положення.

Відомо, згідно [24], що значення раціонального кута підйому матеріалу вертикальним гвинтовим робочим органом можна визначити за формулою:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = f_1 + \frac{2g}{rf_2\omega_0^2} \quad (2.7)$$

А для транспортування матеріалу з горизонтальним розміщенням гвинтового робочого органу, цей кут доцільно визначати за залежністю:

$$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\omega_0^2 rf_2}{g \cos \gamma} - \frac{\varphi}{2}, \quad (2.8)$$

де  $\gamma$  – кут розміщення осі робочого органу до вертикалі, град;

$\varphi$  – кут, на який відхиляється частинка при обертанні робочого органу з постійною кутовою швидкістю, град;

$f_2$  – коефіцієнт зовнішнього тертя матеріалу;

$r$  – радіус гвинта.

Для камери відділення, розміщеної горизонтально, при  $\gamma = 90^\circ$ , із формули (2.8) випливає:

$$\alpha_a = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \quad (2.9)$$

Оскільки при  $\omega_0 \rightarrow \infty$  гвинтові робочі органи вивантаження сапропелю знаходяться у положенні під деяким кутом до горизонталі, то для всіх типів таких робочих органів раціональний кут нахилу робочого органу можна визначати за формулою (2.7).

## 2.5. Висновки до розділу

Складність виробництва органічних добрив з використанням анаеробного процесу, полягає у необхідності суттєвого збільшення об'ємів якісної органічної сировини, що знаходиться на невеликих відстанях до місця виробництва та їх використання. Вирішення посталої проблеми полягає у використанні місцевих сировинних ресурсів, як складників компостування. До таких слід віднести солому злакових культур і сапропелі прісноводних озер, у складі яких знаходяться анаеробні мікроорганізми. Для забезпечення умов компостування з використанням сапропелів прісноводних озер, запропоновано нове технічне рішення, яке полягає у створенні сапропеледобувного модуля з розробкою пристрою вивантаження добутих сапропелів з накопичувальної ємкості. У даному розділі виконані наступні дослідження:

1. На основі проведеного аналізу технологічних процесів виробництва твердих органічних добрив запропоновано проводити пошарове компостування подрібненої соломи злакових культур і сапропелю прісноводних озер природньої вологості із закладанням їх у бурти на краю поля в осінній період.

2. Запропоновано конструктивну компонувальну схему сапропеледобувного модуля з врахуванням його універсальності: використанні як засобу добування сапропелю з під шару води та забезпечення доставки його до місця розвантаження.

3. Визначено технологічні параметри сапропеледобувного модуля. Встановлено, що на забезпечення інтенсивного вивантаження добутого сапропелю необхідний пристрій з гвинтовими робочими органами, який складається з горизонтального та похилого шнека.

4. З врахуванням запропонованої конструкції пристрою вивантаження добутого сапропелю, проведено теоретичні дослідження гвинтових робочих органів, які дозволяють проводити аналіз умов взаємодії сапропелю з робочими поверхнями.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма експериментальних досліджень

Виробництво органічних добрив потребує досліджень з пошуку та реалізації нових технологій. Застосування аеробного процесу вимагає аератора змішувача буртів. При застосуванні анаеробного процесу на перше місце виходять технологічні операції заготівлі та підготовки органічної сировини до компостування. Якщо для заготівлі соломи злакових культур можна використати типові зернозбиральні машини, то заготівля та переміщення сапропелю з прісноводних озер до місць компостування вимагає нового технічного забезпечення.

У зв'язку з глобальним потеплінням і відсутністю низьких від'ємних температур, водойми залишаються відкритими круглий рік. Відповідно, добування сапропелю можна проводити також круглий рік за наявності відповідного технічного засобу.

Найбільш якісний сапропель в озерних котловинах знаходиться у середньому шарі вологістю 80-85%. Задання добувального модуля не змінювати вологість в процесі добування, тобто не змішувати його з озерною водою. Це досягається при пошаровій розробці середнього шару спеціальною фрезою. Весь шлях транспортування від фрези до накопичувальної ємкості забезпечують гвинтові механізми. Визначальним робочим органом на останньому етапі добування є пристрій вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості. Вона може бути стаціонарною на добувальному модулі, або у вигляді причіпної баржі.

Проведені теоретичні дослідження не дозволили визначитись з кінцевими конструктивними і технологічними параметрами даного пристрою, що спонукало до застосування спеціального обладнання для проведення експериментальних досліджень. Запропонована програма експериментальних досліджень включала вирішення наступних завдань:

1. Дослідження властивостей сапропелів з прісноводних озер.

2. Визначення коефіцієнта липкості сапропелів різної вологості.

3. Обґрунтування раціональних геометричних параметрів і режимів роботи гвинтового робочого органу для транспортування сапропелю математичним методом планування експерименту.

4. Моделювання процесу закладання компостів у бурти та отримання органічних добрив у польових умовах з використанням анаеробного процесу.

5. Вироблення рекомендацій щодо вдосконалення технології виробництва органічних добрив на основі місцевих сировинних ресурсів.

Обробку експериментальних даних проводили за стандартними методиками [18]. Результати дослідів оцінювали після підрахунку наступних значень:

- середніх арифметичних:

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

- за середньою квадратичною похибкою:

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

- за середньою квадратичною похибкою середнього арифметичного:

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

- встановленням коефіцієнта варіації:

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

- визначали похибку досліду:

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

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

Для проведення експериментальних досліджень використовувалось як стандартне лабораторне обладнання, так і спеціально розроблене. На стандартних лабораторних установках та обладнанні визначали фізико – механічні властивості компонентів для компостування.

Липкість сапропелю визначали на приладі (рис. 3.1) [11], який складається з штативу 1, на ньому закріплена направляюча втулка 2 з штоком 3, до якого кріпиться круглий диск 4. Сапропель розміщений у резервуарі 5. Зусилля відриву штамп 4 встановлюється динамометром 6.

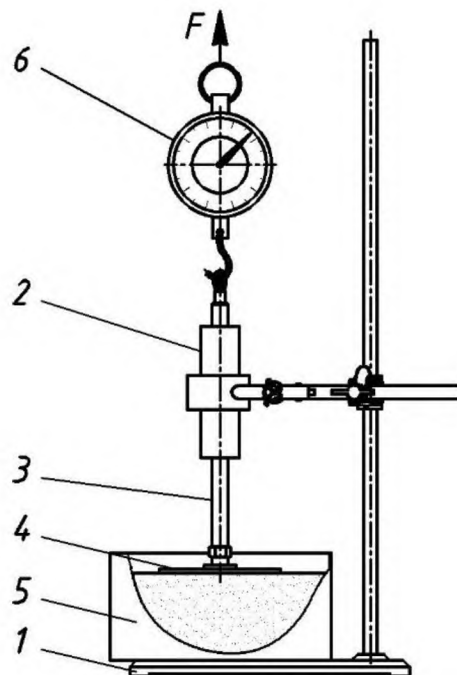


Рисунок 3.1 Прилад для визначення липкості сапропелю: 1- штатив; 2- втулка; 3- шток; 4- диск; 5- резервуар; 6- динамометр

Значення липкості є визначальним параметром для вибору робочих поверхонь механізмів для добування сапропелів. Сапропель заливали у резервуар, поверхню розрівнювали за допомогою лінійки. Після чого круглий диск 4 опускали на поверхню і створювали навантаження для максимального його занурення у сапропель. Після чого проводили відрив. Прикладання зусилля вимірювали через динамометр. Після завершення досліду знімали шар сапропелю товщиною 5...10 мм з контактної поверхні штампа для визначення вологості зразка. Величину липкості визначали за залежністю:

$$E = \frac{F}{S}, \quad (3.6)$$

де  $F$  – сила відриву штампа, Н;

$S$  – площа штампа, м<sup>2</sup>.

Досліди проводили в трьох кратній повторності.

Пристроєм зображеним на рис. 3.2 визначали сили зчеплення сапропелю.

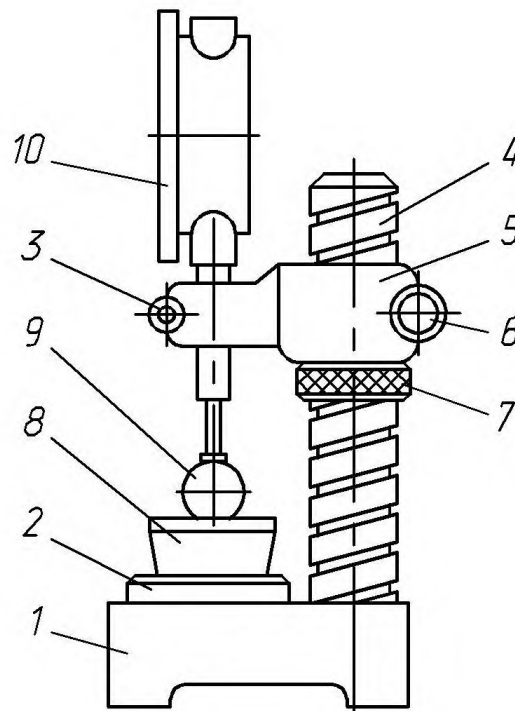


Рисунок 3.2 Прилад для визначення сил зчеплення

В конструкції пристрою використаний штатив для вимірювальних головок, в який входить основа 1, вимірювальний стіл 2, гвинт затискання вимірювальної головки 3, колонка 4, кронштейн 5, гвинт затискання кронштейна 6, регульовальне кільце 7, стаканчик 8, пластмасова кулька 9 і вимірювальна головка 10 з ціною поділки 0,01 мм. Для проведення досліду також використовували вагу ВНЦ-2 з ціною поділки 2 г.

Методика проведення дослідів була наступною. Наповнювали стаканчик 8 сапропелем і зрізали надлишок сапропелю, що виступав над краями стаканчика. По центру стаканчика на поверхню сапропелю клали пластмасову кульку 9 вагою 1,5 г. Піднімали дисковий наконечник вимірювальної головки 10 на висоту 3 мм і кронштейн 5 встановлювали так, щоб дисковий наконечник дотикався поверхні кульки. Після відпускання наконечника кулька під дією сили  $F$ , що створювалась попереднім стисканням пружини індикаторної головки, і власної ваги  $G$  переміщувалась на глибину  $l$ . Покази знімали через 10 с від початку завантаження.

Згідно методики проведення досліду шаровим штампом, відношення осадок штамп  $l$  до його діаметра  $D$  повинно знаходитись в межах 0,005...0,1. Тому, якщо кулька опускалася на глибину більшу за  $0,1D$ , то зменшували попередній підйом наконечника на 3 мм, а при опусканні кульки менше  $0,005D$  – збільшували.

За результатами випробувань за формулою теорії в'язко-пластичного середовища визначали зчеплення зразка сапропелю:

$$c_c = 0,18 \cdot \frac{F + G}{\pi \cdot D \cdot l}, \quad (3.8)$$

де  $F$  – навантаження на кульку, Н;

$G$  – вага кульки, Н;

$D$  – діаметр кульки, м;

$l$  – переміщення кульки, м.

Відповідно до конструкції вивантажувального механізму, основним параметром обох шнеків: горизонтального і похилого є продуктивність з можливістю зменшення вологості в процесі переміщення. Для цього

горизонтальний шнек включає циліндричну і конічну вітки. При цьому конічна вітка створює додатковий тиск для забезпечення ефективної роботи похилого шнека. Дослідження з визначення створення додаткового тиску у зоні передачі матеріалу від горизонтальної до похилої вітки проводили на лабораторній установці(рис. 3.3).



Рисунок 3.3 Загальний вигляд дослідної установки для визначення тиску на виході горизонтального шнека

Конструкція горизонтального шнека, який забезпечує відповідний тиск включає: бункер, пресуючий гвинтовий пристрій з конічними насадками, привід та раму. Гвинтовий пристрій приводиться в дію від індивідуального асинхронного двигуна через пасову передачу.

Основними параметрами, на які звертали увагу:

- геометричні параметри гвинтової частини(відношення довжини шнека до його діаметра);
- кут нахилу конічної частини шнека(змiна конічних насадок);
- частота обертання гвинтового робочого органу.

### 3.3. Результати проведення експериментальних досліджень

Отримані результати липкості органічного сапропелю дозволяють стверджувати про широкі її межі в залежності від початкової вологості зразка (рис. 3.4). Із зміною часу прикладання навантаження липкість сапропелю зростає і з досягненням 40-45 с стабілізується. Отже, при тривалому контакті сапропелю низької природної вологості із гвинтовими робочими органами модулів може спостерігатися його посилене налипання.

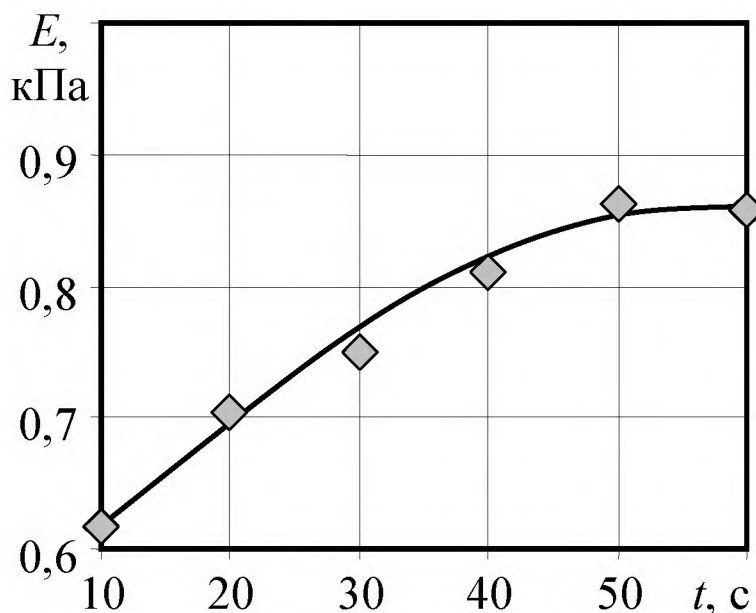


Рисунок 3.4 Залежність липкості органічного сапропелю від часу прикладання навантаження  $t$  (б)

Математична обробка даних по визначенню зчеплення сапропелю  $c_c$  методом шарового штампа дозволила отримати наступні результати (табл. 3.1)

Таблиця 3.1. – Визначення зусилля зчеплення сапропелю

$c_c$ , Па				сер. Знач.	$S_c$	$S_{срез}$	$V$ , $\pm$ %	дов. інтр.	похибка, $\pm\%$
повторності									
1	2	3	4						
447,9	452,8	455,7	445,9	450,5	4,474	2,23	0,99	450,5 $\pm$ 8,95	0,5

Таким чином, відповідно до значень приведених у табл.3.1, у природньому стані зчеплення  $c_c$  не залежить від навантаження і коливається у межах 450 Па з врахуванням похибки досліду.

Підготовка буртів до закладання компостів пошаровим розміщенням соломи злакових культур включає: утворення заглиблення у ґрунті на глибину 20-25 см(рис.3.5, а), розміщення компонентів(рис.3.5, б), ізоляція бурта від навколишнього середовища(рис.3.5, в, г). Ізоляцією може бути лише ґрунт або закриття бурта темною плівкою з подальшим закриттям незначним шаром ґрунту.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.5 Моделювання процесу закладання компостів у польових умовах

Вміст соломистої складової та її вологість прямо пропорційна якості формування майбутніх органічних добрив. Тому, для підвищення ефективності перероблення соломи мікроорганізмами і бактеріями, варто добавляти рідку фракцію відходів ВРХ.

Ефективності польових досліджень визначалась візуально на основі закладених дослідів з використанням сапропелю природної вологості у осінній період 2022 року шляхом відображення ґрунтових зрізів(рис. 3.6). Зрізи робили після збирання врожаю сільськогосподарських культур.



Рисунок 3.6 Зрізи закладених смуг з органічної сировини для оцінки виготовлення органічних добрив в анаеробному середовищі через 10 місяців: а- солома +сапропель; тирса +сапропель

У 2022 році, у якості природнього зволожувача використовували озерний сапропель 90-92% вологості. Кількість органічної сировини у вигляді соломи і тирси вкладалась з розрахунку 16 т/га. Як видно з представлених зрізів, за час перебування у ґрунті на протязі 10 місяців, на глибині до 20см, органічна сировина у вигляді соломи злакових сільськогосподарських культур(рис. 1, а і поз.1) і деревної тирси(рис. 1, б і поз.2) фактично розклалася повністю. Невеликі залишки, які спостерігаються на фото, при дотику рукою руйнуються на найдрібніші частинки.

Як результат проведених дослідів, можна зробити висновок про те, що наявні у сапропелі прісноводних озер анаеробні бактерії, сприяють розщепленню органічної частини. Таким чином анаеробний процес виробництва органічних добрив має перспективу при формуванні буртів у польових умовах.

#### 1.4. Висновки за розділом

1. Запропонована програма і методики експериментальних досліджень для встановлення фізико - механічних властивостей сапропелю прісноводних озер у лабораторних умовах.

2. Розроблено методики з визначення ефективності виробництва твердих органічних добрив шляхом компостування органічної сировини: соломи злакових культур і сапропелів прісноводних озер, в анаеробному режимі.

3. Проведені експерименти з пошаровим закладанням соломи і сапропелю та деревної тирси і сапропелю вологістю у межах 90 - 92 % у ґрунт на глибину до 20см, показали, що через 10 місяців вони перетворюються в однорідне з ґрунтом середовище.

4. У природньому стані зчеплення сапропелю  $c_c$  не залежить від прикладеного навантаження і коливається у межах 450 Па з врахуванням похибки дослідів. В свою чергу максимального значення липкості 0,85 КПа досягає протягом 40 с., яке необхідно враховувати при розробці робочих органів сапропеледобувного модуля.

5. Анаеробний процес виробництва органічних добрив має перспективу при формуванні буртів у польових умовах і використання місцевих сировинних ресурсів у вигляді сапропелів прісноводних озер. Для отримання високоякісних органічних добрив необхідно закладати компости з розрахунку 16 т/га соломи злакових культур.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНО РОБОЧОГО ОРГАНУ

4.1. Методика та результати проведення експерименту методом математичного планування

При визначенні основних конструктивних і режимних параметрів робочого органу для удосконалення сапропеледобувного модуля, необхідно врахувати: - початкову вологість сапропелю; - геометричні параметри гвинтової частини(відношення довжини шнека до його діаметра); - кут нахилу конічної частини шнека(змінною конічних насадок); - частота обертання гвинтового робочого органу.

Досліди проводили на лабораторній установці представлений на рис. 3.3. Серед вказаних вище визначальних параметрів на ефективність роботи вивантажувального механізму, ставили мету також оцінити перспективу відділення вільної води із сапропелю. Для цього змінювали розмір конічних насадок на вихідному отворі гвинтового механізму. У конічних насадках передбачення отвори для виходу води із стисненого сапропелю.

Методика із використанням математичного методу планування експерименту[18] є стандартною.

Ефективність роботи горизонтального шнека оцінювалась кількістю відтисненої води та забезпеченням нерозривності потоку сапропелю через вихідний отвір з врахуванням вище приведених факторів:

- початкової вологості сапропелю, %;
- відношення довжини шнека до діаметра;
- кута нахилу конусної частини гвинта, град;
- частоти обертання гвинтового робочого органу, об/хв.

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). Для реалізації чотирьох факторного експерименту за цим планом необхідно провести 27 дослідів.

Фактори та рівні варіювання представлені у табл.4.1. Матриця планування експерименту представлена у додатку А. Порядок проведення дослідів встановлювали, використовуючи таблицю випадкових чисел.

Таблиця 4.1. - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори			
	Початков а вологість W, %	Відношення довжини шнека до його діаметра, L/D	Кут нахилу конусної частини гвинта, $\alpha^\circ$	Частота обертання гвинтового робочого органу $\omega$ , об/хв
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Верхній (+1)	95	5,5	25	35
Основний (0)	90	4	20	25
Нижній (-1)	85	2,5	15	15
Інтервал варіювання $\varepsilon$	5	1,5	5	10

Функція відгуку (маса виділеної води у грамах на виході з установки) в області факторного простору подана у вигляді нелінійного рівняння регресії:

$$\begin{aligned}
 y = & 30,825 + 19,941x_1 + 0,536x_2 - 0,333x_3 - 1,322x_4 + 0,408x_1x_2 - \\
 & - 0,392x_1x_3 - 0,892x_1x_4 + 0,183x_2x_3 - 1,000x_2x_4 - 0,075x_3x_4 + \\
 & + 0,326x_1^2 + 1,026x_2^2 + 0,63x_3^2 + 0,505x_4^2
 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Аналіз рівняння регресії дає можливість оцінити інтенсивність видалення води(створення тиску в області переміщення сапропелю до похилого шнека) запропонованим вивантажувальним пристроєм з накопичувальної ємкості з врахуванням вище приведених факторів. Обробка даних результатів чотирьохфакторного експерименту за трирівневим планом другого порядку за допомогою програми, створеної у середовищі Mathcad (додаток В), дозволила отримати наступне рівняння у розкодованому вигляді:

$$y = 30,825 + 19,941 \frac{W-90}{5} + 0,536 \frac{\left(\frac{L}{D}\right)-4}{1,5} - 0,333 \frac{\alpha-20}{5} - 1,322 \frac{\omega-25}{10} -$$

$$\begin{aligned}
 & -0,892 \frac{(W-90)(\omega-25)}{50} - 1,000 \frac{\left(\left(\frac{L}{D}\right)-4\right)(\omega-25)}{15} + \\
 & + 1,026 \frac{\left(\left(\frac{L}{D}\right)-4\right)^2}{2,25} + 0,63 \frac{(\alpha-20)^2}{25} + 0,505 \frac{(\omega-25)^2}{100}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

За рівнянням регресії (4.2) було побудовано поверхні відгуку (рис. 4.1) та їх двомірні січення (рис. 4.2).

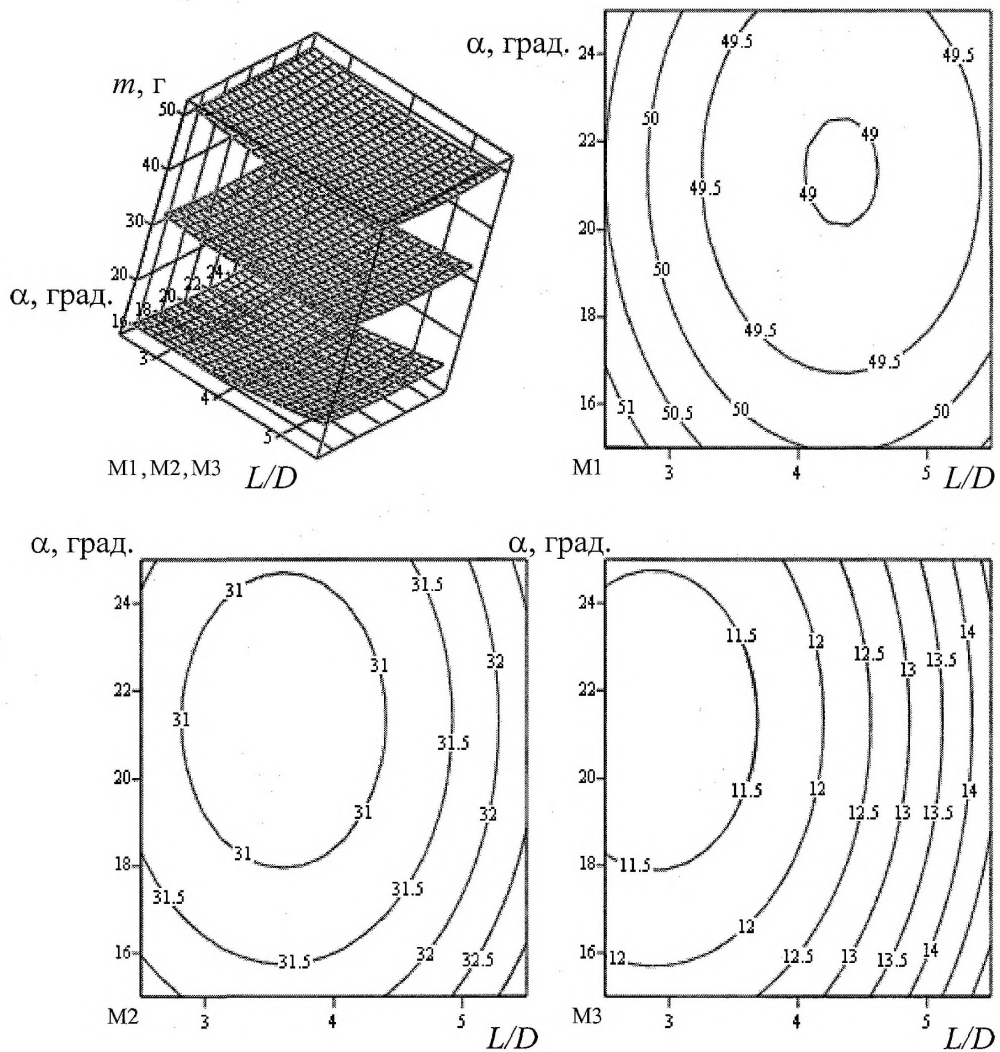


Рисунок 4.1 Поверхні відгуку маси виділеної води  $m$  в залежності від початкової вологості сапропелю  $W$ , кута нахилу гвинтової лінії  $\alpha$ , частоти обертання гвинта  $\omega$  та відношення довжини шнека до діаметра  $(L/D)$  та відповідні їх двомірні січення (M1 –  $W=95\%$ ,  $\omega=35$  об./хв.; M2 –  $W=90\%$ ,  $\omega=25$  об./хв.; M3 –  $W=85\%$ ,  $\omega=15$  об./хв.)

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що всі фактори мають суттєвий вплив на забезпечення інтенсивність вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості. Тому, запропонований механізм має мати конічну частину у горизонтальному шнеку для створення тиску при передачі сапропелю у похилий шнек.

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

Проведенні дослідження з встановлення ефективності технології виробництва твердих органічних добрив з використанням анаеробного процесу, дозволили запропонувати геометричні розміри бурта(рис. 4.2) та скласти перелік необхідного технічного забезпечення для реалізації вказаної технології.

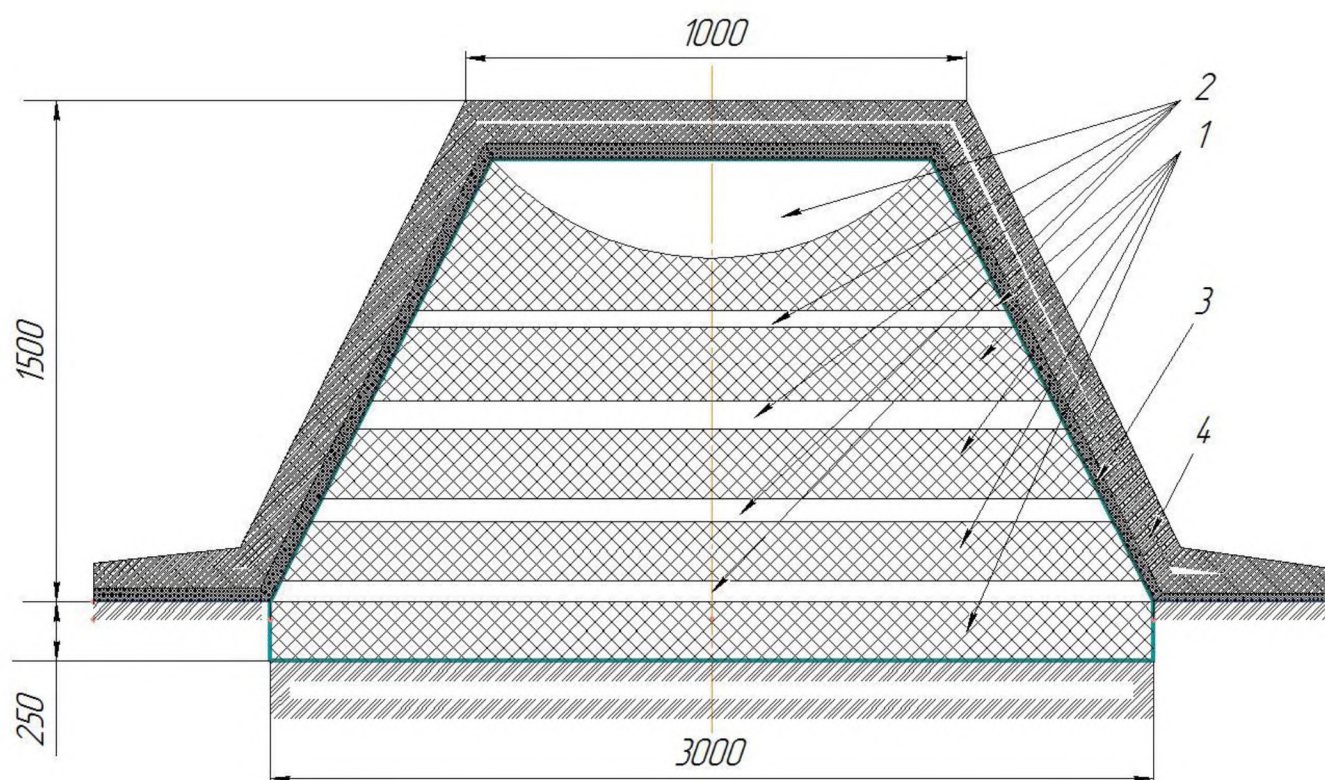


Рисунок 4.2 Геометричні розміри бурта при виробництві твердих органічних добрив із застосуванням анаеробного процесу приготування: 1- подрібнена солома злакових культур; 2- сапропель прісноводних озер вологістю не менше 90%; 3- полі хлор вінільна плівка темного кольору; 4- насипний ґрунт шаром товщиною 10-15 см.

Вказані бурти варто розміщати на краю поля, на якому вирощувались зернові злакові сільськогосподарські культури. Як відомо, сучасні зернозбиральні комбайни обладнанні засобами подрібнення соломистої маси на довжину шматків у межах 100 мм. Така довжина є оптимальною для виробництва твердих органічних добрив, так як це сприяє проникненню волого сапропелю на внутрішні поверхні трубчастих стебел соломи. Розміщення буртів на вказаних полях дозволить знизити собівартість добрив. Адже, у такому випадку відпадає потреба у транспортуванні соломи до місць закладання компостів.

Другим компонентом, який необхідний для виробництва твердих органічних добрив із застосування анаеробного процесу є сапропель прісноводних озер. Необхідність застосування сапропелю природного стану вологістю не менше 90% вказує на те, що виробництво вказаних добрив можливе на територіях розміщення прісноводних озер. Як показує практика економічна доцільність переміщення сапропелю природному стані не повинна перевищувати 20 км.

Таким чином, для забезпечення закладання буртів необхідне наступне технічне забезпечення:

1. Трактор ЮМЗ – ЕО – 2621 для земляних робіт (підготовки заглиблення та накриття бурта ґрунтом) з можливістю переобладнання вилами для закладання соломи у бургт.
2. Засоби для транспортування соломи до краю поля типу тракторні візки 2-ПТС-4-887 А.
3. Удосконалений сапропеледобувний модуль з вивантажувальним пристроєм.
4. Ємкості для перевезення сапропелю до місць компостування типу Причепи цистерни ВНЦ для води і рідких органічних добрив об'єм 12 м<sup>3</sup>.

#### 4.3. Висновки за розділом

1. Проведені дослідження з визначення ефективності роботи вивантажувального механізму з використанням математичного методу планування експерименту в лабораторних умовах вказують на можливість його встановлення на удосконалений сапропеледобувний модуль.

2. Виробництво органічних добрив є актуальним питанням для України, адже сучасні підходи до вирощування сільськогосподарських культур призводять до зниження родючості ґрунтів. Їх відновлення потребує обов'язкового внесення пропонованих твердих органічних добрив з нормою 16 т/га.

3. Запропоноване удосконалення сапропеледобувного модуля встановленням вивантажувального механізму на накопичувальну ємкість дозволить підвищити ефективність добування сапропелю, як органічної сировини для виготовлення твердих органічних добрив.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для забезпечення виробництва твердих органічних добрив з використанням анаеробного процесу достатньо мати подрібненої соломи злакових культур та сапропель прісноводних озер. Недостатня кількість органічних добрив у сільськогосподарському виробництві знижує родючість ґрунтів, особливо дерново-підзолистих. Налагодження виробництва твердих органічних добрив сприятиме їх відродженню.

Проведенні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Анаеробні бактерії та мікроорганізми здатні розчепити солому злакових культур протягом 10 місяців. Такі бактерії та мікроорганізми інтенсивно розмножуються у прісноводних водоймах. При цьому відбувається накопичення органічного сапропелю, середній шар якого утримує у собі вологу до 90%.

2. Добування середнього шару сапропелю без змішування його з водою можливо при застосування самоплаваючого добувального модуля з активною фрезою. Для перевантаження добутого сапропелю у засоби транспортування до місць компостування пропонується вивантажувальний механізм шнекового типу.

3. На основі проведених досліджень, для забезпечення вивантаження сапропелю з накопичувальної ємкості, запропоновано вивантажувальний механізм, що складається з двох робочих частин: горизонтального і похилого шнеків.

4. Конструктивне виконання горизонтального шнека включає циліндричну та конічну частини. Конічна частина призначена для часткового відділення вільної води при переміщенні у сапропель у ємкості та створення тиску у зоні передачі сапропелю на похилий шнек.

5. Для застосування запропонованої технології виробництва твердих органічних добрив із застосуванням анаеробного процесу, запропоновано геометричні параметри бурта для компостування та вказаний перелік технічного забезпечення для реалізації вказаної технології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FiBL IFOAM World of Organic Agricultural 2013 UA final / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pdf-archive.com/2013/12/31/fibl-ifoam-world-oforganic-agriculture-2013-ua-final/preview/page/12/>.(ост. відвідування 1 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. Інформаційний ресурс: <https://new-seeds.com.ua/ua/blog/post>. (ост. відвідування 10.10.2023).
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. відвідування 14.10.2023).
7. Дозорець А.О, Корнута Ю.Ю. Отримання якісних добрив в процесі метанового зброджування органічних відходів. Зб. наук праць. Нац. у-т біоресурсів та природокористування України. №7, 2011. с. 21-23..
8. Дослідження енергоекологічної технології переробки промислово-побутових відходів. Режим доступу: <https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Anaerobne-zbrodzhuvannya.pdf> (ост. відвідування 24.10.2023)
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. Бодак В. І. Розробка і дослідження механізмів для добування сапропелів : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Бодак Володимир Іванович – Луцьк, 1996. – 209 с.

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. Дідух В.Ф. Вибір методу розрахунку процесу різання середнього шару сапропелю / В.Ф. Дідух, Р.В. Хлопецький // Зб. наук. статей. «Сільськогосподарські машини», вип. 21 т. 1, Луцьк 2011 - с. 110...116.
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. Хлопецький Р. А. Удосконалення технології та засобу для добування озерних сапропелів з-під шару води: 05.05.11 / Хлопецький Роман Андрійович – Львів - Дубляни, 2016. – 209с.
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. Кінематичний аналіз фрези для добування сапропелю. / В.Ф. Дідух, Р.В. Хлопецький // «Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин», вип. 41, ч. 1, Кіровоград 2011, – с. 223...227.
18. Налимов В.В. Статистические методы планирования эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1970. – 378 с.
19. Алексеев О., Коцюба О., Нові підходи використання твердих органічних добрив. Тези студ. наук. конф.

## **ДОДАТКИ**

Таблиця Планування експерименту.

Додаток А

Номер дослід	Фактори			
	$W, \%$	L/D	$\alpha, \text{град.}$	$\omega, \text{об/хв}$
1	95	5,5	20	25
2	85	5,5	20	25
3	95	2,5	20	25
4	85	2,5	20	25
5	90	4	25	35
6	90	4	15	35
7	90	4	25	15
8	90	4	15	15
9	95	4	20	35
10	85	4	20	35
11	95	4	20	15
12	85	4	20	15
13	90	5,5	25	25
14	90	2,5	25	25
15	90	5,5	15	25
16	90	2,5	15	25
17	95	4	25	25
18	85	4	25	25
19	95	4	15	25
20	85	4	15	25
21	90	5,5	20	35
22	90	2,5	20	35
23	90	5,5	20	15
24	90	2,5	20	15
25	90	4	20	25
26	90	4	20	25
27	90	4	20	25

## Додаток В

Програма для розрахунку чотирифакторного експерименту з  
планом Бокса-Бенкіна

План-матриця експерименту.

$x_{11} := 1$	$x_{21} := 1$	$x_{31} := 0$	$x_{41} := 0$
$x_{12} := -1$	$x_{22} := 1$	$x_{32} := 0$	$x_{42} := 0$
$x_{13} := 1$	$x_{23} := -1$	$x_{33} := 0$	$x_{43} := 0$
$x_{14} := -1$	$x_{24} := -1$	$x_{34} := 0$	$x_{44} := 0$
$x_{15} := 0$	$x_{25} := 0$	$x_{35} := 1$	$x_{45} := 1$
$x_{16} := 0$	$x_{26} := 0$	$x_{36} := -1$	$x_{46} := 1$
$x_{17} := 0$	$x_{27} := 0$	$x_{37} := 1$	$x_{47} := -1$
$x_{18} := 0$	$x_{28} := 0$	$x_{38} := -1$	$x_{48} := -1$
$x_{19} := 1$	$x_{29} := 0$	$x_{39} := 0$	$x_{49} := 1$
$x_{110} := -1$	$x_{210} := 0$	$x_{310} := 0$	$x_{410} := 1$
$x_{111} := 1$	$x_{211} := 0$	$x_{311} := 0$	$x_{411} := -1$
$x_{112} := -1$	$x_{212} := 0$	$x_{312} := 0$	$x_{412} := -1$
$x_{113} := 0$	$x_{213} := 1$	$x_{313} := 1$	$x_{413} := 0$
$x_{114} := 0$	$x_{214} := -1$	$x_{314} := 1$	$x_{414} := 0$
$x_{115} := 0$	$x_{215} := 1$	$x_{315} := -1$	$x_{415} := 0$
$x_{116} := 0$	$x_{216} := -1$	$x_{316} := -1$	$x_{416} := 0$
$x_{117} := 1$	$x_{217} := 0$	$x_{317} := 1$	$x_{417} := 0$
$x_{118} := -1$	$x_{218} := 0$	$x_{318} := 1$	$x_{418} := 0$
$x_{119} := 1$	$x_{219} := 0$	$x_{319} := -1$	$x_{419} := 0$
$x_{120} := -1$	$x_{220} := 0$	$x_{320} := -1$	$x_{420} := 0$
$x_{121} := 0$	$x_{221} := 1$	$x_{321} := 0$	$x_{421} := 1$
$x_{122} := 0$	$x_{222} := -1$	$x_{322} := 0$	$x_{422} := 1$
$x_{123} := 0$	$x_{223} := 1$	$x_{323} := 0$	$x_{423} := -1$
$x_{124} := 0$	$x_{224} := -1$	$x_{324} := 0$	$x_{424} := -1$
$x_{125} := 0$	$x_{225} := 0$	$x_{325} := 0$	$x_{425} := 0$
$x_{126} := 0$	$x_{226} := 0$	$x_{326} := 0$	$x_{426} := 0$
$x_{127} := 0$	$x_{227} := 0$	$x_{327} := 0$	$x_{427} := 0$

