

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 процесу розроблення родовищ сапропелю і розробка  
забірного пристрою»

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

Хвесик І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Панасюк С.Г.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

## 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

Хвесику Ігорю Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу розроблення родовищ сапропелю і розробка забірною пристрою

керівник роботи Хомич Сергій Миколайович, к.т.н., доцент

(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. Функціональна схема досліджуваної машини	1 лист
6. Складальне креслення розроблюваного вузла	1 лист
7. Схема удосконаленої технології	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

\_\_\_\_\_ **Хвесик І.В.** \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ **Хомич С.М.** \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ **Сацюк В.В.** \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню добування органічного сапропелю для виробництва добрив.

У роботі представлені дослідження покладів сапропелю з родовища озера Зяцьке, окремі теоретичні розрахунки пневмомеханічного забірною пристрою.

Пояснювальна записка містить відомості про призначення та принцип роботи машин-аналогів, на основі яких, запропоновано оновлену конструкцію засобу для добування сапропелю і представлено її опис. Представлені відомості про технологічний процес роботи машини та властивості технологічного матеріалу, що добувається. Наведена функціональна схема машини, та схема лінії по виробництву добрив з сапропелю та обґрунтований технологічний процес її роботи.

Представлені методики досліджень та проведені дослідження по визначенню фізико-механічних властивостей органічного сапропелю. Виконані дослідженні щодо моделювання процесу добування органічного сапропелю, та теоретичні обґрунтування математичного моделювання взаємодії фрези та потоку повітря зсапропелями.

Проведені експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування експерименту та подані обґрунтування доцільності використання розробки і висновки.

Сапропель, озеро, родовище, вологість, , в'язкість, липкість, добування, органічне добриво.

## ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the study of organic sapropel production for fertilizer production.

The study of sapropel deposits from the Zyatske deposit, separate theoretical calculations of the pneumomechanical drilling device are presented in the work.

The explanatory note contains information on the purpose and principle of operation of analog machines, on the basis of which, proposed an updated design of the means for the extraction of sapropel and presents its description. Information on the technological process of the machine and the properties of the extracted technological material is presented. The functional scheme of the machine and the scheme of the line for the production of fertilizers from sapropel and the substantiated technological process of its work are given.

Research methods and research to determine the physical and mechanical properties of organic sapropel are presented. The researches concerning modeling of process of extraction of organic sapropel, and theoretical substantiations of mathematical modeling of interaction of a mill and an air stream with sapropels are executed.

Experimental researches with use of a mathematical method of planning of experiment are carried out and substantiations of expediency of use of working out and conclusions are given. Experimental researches with use of a mathematical method of planning of experiment are carried out and substantiations of expediency of use of working out and conclusions are given.

Sapropel, drum dryer, humidity, drying agent, viscosity, stickiness, extraction, organic fertilizer.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	
ЗМІСТ.....	
ВСТУП.....	
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1 Характеристики оброблюваного матеріалу та технологічного процесу .....	
1.2 Аналіз існуючих конструкцій машин та робочих органів, які приймають участь у технологічному процесі.....	
1.3 Огляд теоретичних досліджень забірних пристроїв.....	
1.4 Висновки до розділу 1 і задачі досліджень.....	
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ	
2.1 Опис запропонованої конструкції.....	
2.2 Теоретичні обґрунтування параметрів та режимів роботи засобу для добування сапропелю .....	
2.3 Висновки до розділу 2.....	
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕН-ТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Програма експериментальних досліджень .....	
3.2 Опис апаратури, обладнання і приладів, що використовуються та експериментальної установки .....	
3.3 Методика відбору зразків сапропелю.....	
3.4 Методика та результати визначення природної вологості сапропелю	
3.5 Методика та результати визначення зольності покладів.....	
3.6 Методика визначення об’ємної маси сапропелю.....	
3.7 Висновки до розділу 3.....	

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1 Методика проведення три факторного експерименту.....

4.2 Результати проведення три факторного експерименту .....

4.3 Висновки до розділу 4 .....

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....

ДОДАТКИ.....

## ВСТУП

Органічний сапропель – це одна із основних сировин з якої можна отримати добрива, він відноситься до стратегічних запасів країни та несе велику перспективу у агроекологічному веденні рільництва. Окрім значення як сировини для виробництва добрив сапропель гідно застосовують у медицині та тваринництві.

Підвищення технічного рівня, вдосконалення компоновочно-технологічних схем, робочих органів, покращення якості машин та обладнання для добування сапропелю – важлива проблема сьогодення у сільськогосподарському виробництві. Розв'язання її можливе завдяки досконалим та ефективним методам розрахунку, які об'єднують навантаженість, міцність і зносостійкість деталей, а також конструктивні, технологічні, експлуатаційні фактори.

Відомо що добувні машини для сапропелів несуть за собою надто великі енерговитрати і тому малоефективні, тим більше вони не можуть добувати якісну сапропелеву сировину для виробництва добрив, тому високий інженерно-технічний рівень конструювання, що включає

зниження енергетичних витрат і забезпечення якості сировини є досить перспективним у сьогоднішній час. Отож розробка засобів функціонування нетрадиційними методами і способами добування органічних сапропелів є досить актуальною.

На даний час аграрії країни потребують якісних екологічних добрив, з великим запасом післядії і зацікавлені в їх швидкому виробництві. Саме таке виробництво потребує розробку ефективної техніки, яка б вирізнялася надійністю, універсальністю, високою продуктивністю і низькою собівартістю.

Одними з важливих робочих органів пневматичних машин для добування сапропелю є змішувачі де відбувається безпосередня розробка покладів сапропелю. В змішувачах відбувається розризування, забір та піднімання сапропелю потоком повітря. Та не завжди ефективність потоку повітря дієва, оскільки корпус змішувача є конічний а рихлення покладів відбувається разом з запливанням останніх у постійно спорожній простір корпусу (оскільки кут природного відкосу сапропелю є досить великий від горизонталі). Проблемним є те що злежані з роками сапропелі у підводних родовищах потребують часткового зрихлення поза межами корпусу.

Тому відомі пневматичні конструкції змішувачів мають такі недоліки пов'язані з руйнуванням шарів покладів.

#### **Актуальність теми дослідження.**

Руйнуванням шарів покладів поза межами корпусу змішувача можливо і досягається шляхом конструктивних рішень, а саме встановлення в змішувач фрези яка б виконувала цю роботу за рахунок обертання від потоку стиснутого повітря та обґрунтування раціональних її параметрів.

А збереження енергії в обхід механічного приводу можна використати більш потужний повітряний потік.

**Мета дослідження** – зниження енергетичних витрат на руйнування злежаних шарів покладів сапропелю під час його добування з підземних родовищ

**Завдання роботи;**

– провести аналіз відомих технологічних процесів добування органічних сапропелів та на цій основі розробити теоретичні передумови удосконалення забірною пристрою;

– обґрунтувати конструктивну схему, параметри та технологічний процес роботи засобу для добування сапропелю з удосконаленим забірним пристроєм;

– розробити забірний пристрій для дослідження роботи здатності та дослідження процесу добування сапропелю;

– дослідити фізико-механічні властивості сапропелю родовища озера Зяцьке Волинської області у природному стані;

– провести експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування та доцільність використання розробки.

**Об'єкт досліджень.** Органічний сапропель. робочий процес рихлення покладів сапропелю, фреза, повітряний потік,

**Предмет дослідження.** Закономірності взаємної роботи фрези та потоку повітря, і ефективні параметри факторів, які впливають на досліджуваний процес.

**Методи досліджень.** Теоретичні обґрунтування та дослідження проводили використовуючи методи класичної фізики та механіки. Лабораторні дослідження проводили за галузевими та спеціально розробленими методиками.

**Науково-технічна новизна.**

- теоретично обґрунтована конструктивна схема та технологічний процес роботи засобу для добування сапропелю з удосконаленим забірним пристроєм;

- розроблено пневмомеханічний забірний пристрій для дослідження

процесу добування сапропелю;

- досліджено фізико-механічні властивості сапропелю родовища озера Зяцьке Волинської області у природному стані;

- проведено експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування та доцільність використання розробки.

- розроблено складальне креслення забірною пристрою з пневмомеханічним змішувачем.

**Практичне значення одержаних результатів.** На базі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструкцію пневмомеханічного змішувача забірною пристрою та визначені його раціональні параметри. Проведено дослідження з пошуку оптимальних параметрів роботи пристрою з застосуванням багатофакторного експерименту.

**Апробація роботи.** Основні положення виконаних досліджень, що містяться в магістерській роботі, доповідались та обговорювались на студентській науково-технічних конференціях.

За темою магістерської роботи автором опубліковано тези доповідей.

## **1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **1.1 Характеристики оброблюваного матеріалу та технологічного процесу**

Основним завданням землеробства є якісне забезпечення росту сільськогосподарських культур для отримання високих показників врожайності. Для забезпечення високого врожаю сільськогосподарських культур необхідно підвищувати родючість ґрунтів та слідкувати за правильною науково-обґрунтованою сівозміною поля. Постійне підвищення рівня родючого шару ґрунту – гумусу, забезпечується в основному системою удобрення.[1, 2, 4].

Найефективнішим джерелом підвищення родючості ґрунтів та збільшення в ньому гумусу є використання добрив зокрема органічних та мінеральних. Останні в свою чергу набули широкого застосування у зв'язку з високою ефективністю дії та використовуються майже всіма господарствами. В свою чергу ціна виробництва їх щорічно зростає, що несе за собою і здороження продуктів харчування.

Органічні добрив тваринного походження використовують менш активніше, у зв'язку із зниженням поголів'я тварин, та ефект від їх

використання значно кращий ніж в конкурента і якість вирощеної сільськогосподарської сировини та продукції значно вища.

Окрім органічних добрив тваринного походження перспективним способом збільшення органічного матеріалу в ґрунті є застосування органічних сапропелів, які можна використати як добрива. Даний матеріал ефективно себе зарекомендував, як у природному стані так і у складі ОМД та компостів (рис. 1.1), а технологія заробки в ґрунт нічим не відрізняється від попередників.

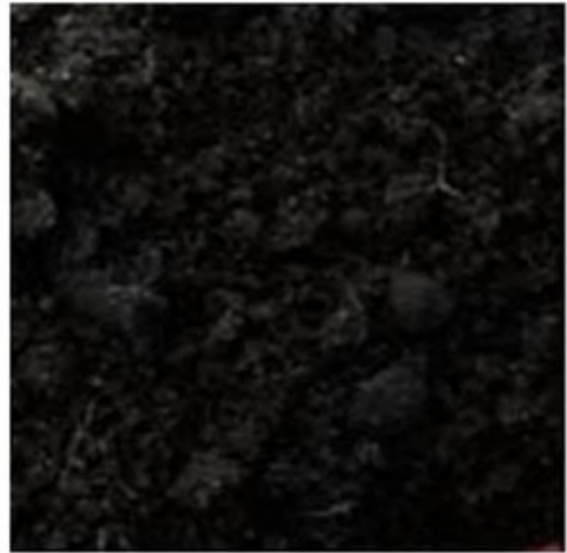
Широка гама добрив на основі сапропелю та збільшення масштабів їх застосування призводить до ведення екологічно чистого землеробства.

Органічний сапропель – (перекл. з грецької мул що гниє) це природні відклади у прісноводних водоймах (озерах), які утворюються в більшості за рахунок відмирання та розкладу залишків водних організмів, водоростей, риб, тварин, комах, тощо. Сапропелеві відклади формуються у підводних родовищах на протязі тривалого періоду (навіть кількох століть) при недостатній кількості кисню, або повністю його відсутності. Особливістю органічних сапропелів є різнозбарвлений колір (чорний, коричневий, рожевий, сірий, світло сірий), який при контакті з киснем змінюється [4, 5, 6, 7, 8, 9].

1, 8, 9]. 7]



а)



б)



в)



г)

Рисунок. 1.1 – Сапропелеві органічні добрива: а – свіжодобуті органічні сапропелі (сировина) вологістю  $W=95\%$ ; б – органічні сапропелі після додаткової обробки придатні для внесення в ґрунт вологістю  $W=60\%$ ; в – компости на основі сапропелю (солома 60%, сапропель 40% вологістю  $W=55\%$ ); г – ОМД на основі сапропелю, сапропель 90% вологістю  $W=55\%$  +  $N_{20} P_{20} K_{20} - 10\%$ .

В природі існує декілька видів сапропелю це – кремнеземний, карбонатний, органічний та змішаний. Сапропель органічний називають тоді коли вміст в ньому органічної речовини перевищує 15%.

Для виробництва органічних добрив на основі сапропелю необхідно використовувати сировину природного походження, а найефективніший процес первинної обробки проходить з покладами у такому стані, в якому він знаходиться в підводних родовищах, тому потрібно підібрати таку технологію для добування покладів, щоб вона найбільш відповідала висунутим показникам. Отже пропонується вести розробку пневматичними засобами, щоб під час добування максимально зберегти поклади такими, якими вони знаходяться у родовищі. Для мінімального збовтування водних об'ємів розробку вести з-під шару, а для мінімального розрихлення та перемішуванні (диспергування) використовувати енергію повітряного потоку у частковому поєднанні з механічною. Оскільки з глибиною залягання поклади більш злежані то пропонується удосконалити змішувач забірною пристрою, шляхом розміщення в йому ножово-лопатевої фрези, яка в свою чергу буде приводитись в рух потоком стиснутого повітря, за принципом потрапляння на лопаті (ножі).

Оскільки для вирощування сільськогосподарських культур необхідно використовувати органічний сапропель то для визначення вмісту органіки в йому необхідно визначити окремі характеристики. Для найпростішого та швидкого визначення вмісту органіки у родовищі сапропелю необхідно взяти проби та визначити вологість, зольність та об'ємну масу. Згідно даних показників апроксимація значень покаже вміст абсолютно сухої органічної речовини в покладах.

З проаналізованих літературних джерел [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] доцільно згрупувати наступні властивості озерного сапропелю природного стану це – фізичні властивості (абсолютна, відносна, природна, гігроскопічна вологості, щільність твердої фази, об'ємна маса, зольність, гранулометричний склад); водні (вода поглинання, водопроникність та набухання) та механічні (липкість, пластичність, опір зсуву, в'язкість, усадка).

Охарактеризуємо найбільш значущі, які важливо знати при дослідженні процесу добування покладів з підводних родовищ.

Головною особливістю властивостей є високе вологонасичення. Це вміст води у порях сапропелю. Його визначають ступними показниками: відносною  $w$  і абсолютною  $W$  вологостями та визначають відповідними залежностями.

$$w = \frac{100W}{100 + w} \% , \quad (1.1)$$

$$W = \frac{100w}{100 - w} \% . \quad (1.2)$$

де  $w$  – кількість води у сапропелі вказаної у відсотках до загальної маси.

$W$  – кількість води вираженої у відсотках до сухої маси.

У натуральному вигляді надмірно зволожений його

Природна вологість сапропелю більша за повну вологоємність вона становить приблизно 95...98% з збільшенням глибини розташування покладів вона зменшується і може досягати 85% [6]. Показники вологості сапропелю, як і інші властивості та характеристики суттєво змінюються один від одного відповідно різних родовищ (озер), це залежить від місця розташування водойми, особливостей формування покладів, природо-кліматичних умов, тощо.

При визначення щільності твердої фази [5, 6] встановлено, що величина щільності залежить від зольності, так за однакової зольності, щільність різних по органічному складу покладів сапропелю може розрізнятися. Дані з досліджень Лопотко М.З., Евдокимова Г.А., вказують, що щільності органічних сапропелів становить 1,5...1,7г/см<sup>3</sup>,

Однією з характеристик фізичних властивостей органічного сапропелю є об'ємна маса. Дослідження [5, 9, 10] засвідчують, що показники об'ємної маси свіжо добутого органічного сапропелю менші ніж показники об'ємної маси сапропелю після тривалого висихання. Так наприклад органічні сапропелі підняті з однакової глибини одного і того ж родовища вологості  $W=95\%$  мають

об'ємну масу  $1,07\text{гр}/\text{см}^3$ , а просушені сапропелі до вологості  $W=60\%$  –  $1,38\text{гр}/\text{см}^3$ .

1.2 Аналіз існуючих конструкцій машин та робочих органів, які приймають участь у технологічному процесі

Для забезпечення першого етапу виробництва добрив на основі органічного сапропелю, в першу чергу потрібно виконати роботи по добуванню його з підводного родовища.

При розробці озерних родовищ з покладами органічного сапропелю необхідно дотримуватись технологічних норм і правил роботи в підводному середовищі а також екологічних норм з врахуванням проведення рекультиваційних робіт. При цьому добувні роботи не повинні забруднювати водойму та призводити до порушення екосистеми, а рекультиваційні роботи унеможливлювати викликати повторну евтрофію [9]. Натомість засоби з пневмомеханізованими забірними пристроями повинні забезпечувати добування покладів природної вологості та максимально природного стану, тому далі наведено аналіз конструкцій інших засобів та забірних пристроїв (аналогів), які використовуються для розробки родовищ сапропелю за подібного технологічного процесу і способу розробки.

Відомі технології добування сапропелів це – механічна та гідравлічна, рідше застосовують пневматичну і комплексне їх поєднання.

При добуванні поверхневих і середніх шарів сапропелю можна застосовувати забірний пристрій механічної технології (рис. 1.2). Особливістю цього пристрою являється присутність двох робочих порожнин. При попереми́нній зміні напрямку руху вправо чи вліво за допомогою відкривання заслінки забезпечується заплив пульпи в ту порожнину пристрою, яка повернена в сторону пересування. Застосування такої конструкції забірною пристрою для верхнього шару сапропелю забезпечує високу консистенцію пульпи та нормальну рівномірність розробки поверхні покладів. Для

середнього і нижнього шару сапропелю застосування даної конструкції можливо лише у складі з гідравлічним розрихлювачем [5, 9].

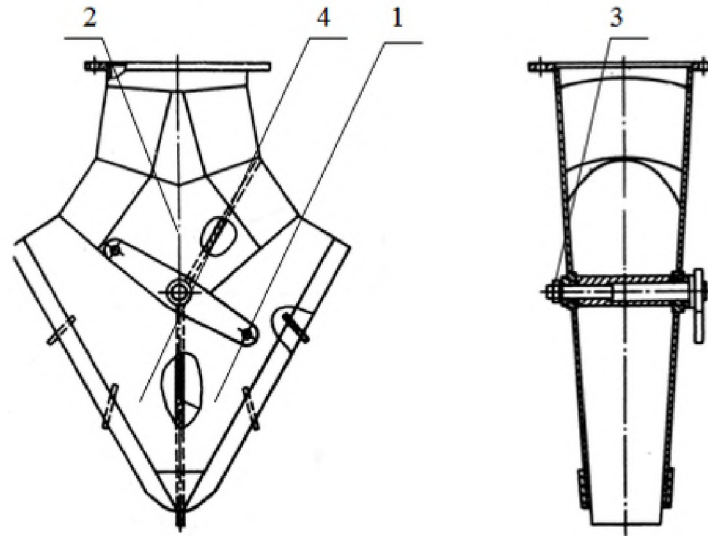


Рисунок 1.2 – Механічний забірний пристрій: 1 – корпус; 2 – поворотна заслінка; 3 – важіль керування заслінкою; 4 – перегородка.

Недоліком є насичення сапропелю водою тому, що при роботі з верхніми шари сапропелю вода постійно запливає у порожнину, а також надмірне збовтування водного дзеркала.

Гідромеханізований спосіб добування сапропелю є найбільш простіший і залежить від характеру залягання покладів. Тому застосують різні конструкції забірних пристроїв. Так для добування верхніх шарів покладів, без рослинності застосовують забірні пристрої з всмоктувальної дії за рахунок насоса, а для рохрихлення ущільнених шарів використовують та гідравлічний розрихлювач. (рис. 1.3). [5, 6].

Основним недоліком забірних пристроїв є надмірне насичення покладів водою.

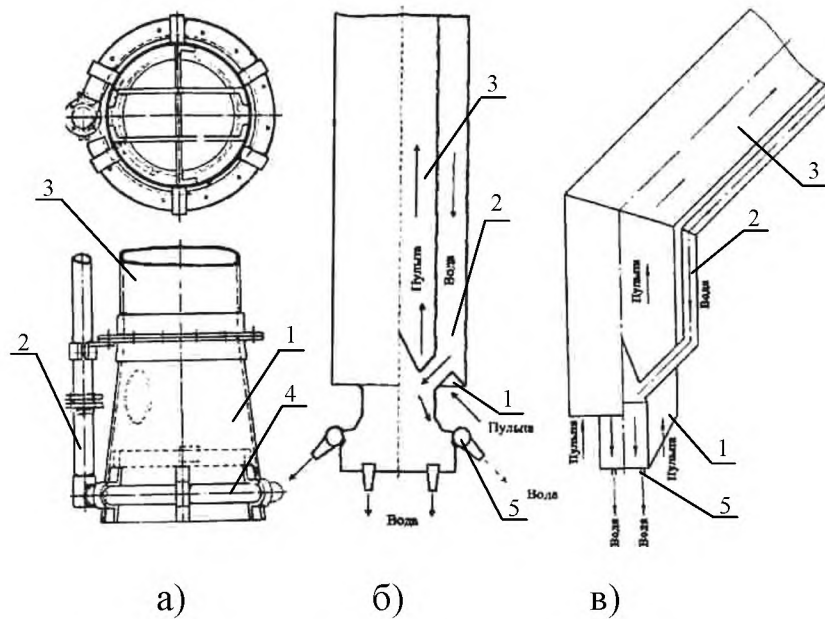


Рисунок 1.3 – Модифікації гідромеханічних забірних пристроїв: а – з кільцево-форсунковим напірним розрихлювачем; б, в – з форсунково-напірним струминним апаратом; 1 – забірна насадка; 2 – магістраль подачі води; 3 – підйомний трубопровід; 4 – кільцевий напірний трубопровід з форсунками; 5 – головка напірної порожнини з форсунками.

Також застосовують забірні пристрої із роторними розрихлювачами. Відмінностями їх є присутність фрези з розрихлююче-подаючих і ріжучих ножів. За допомогою останніх відбувається остаточне подрібнення рослинних решток і забезпечується напір при всмоктуванні земснаряду. Продуктивність такого пристрою при роботі з сильно зарослими покладами становить приблизно  $110\text{м}^3/\text{год}$ . (рис. 1.4). [9, 12].

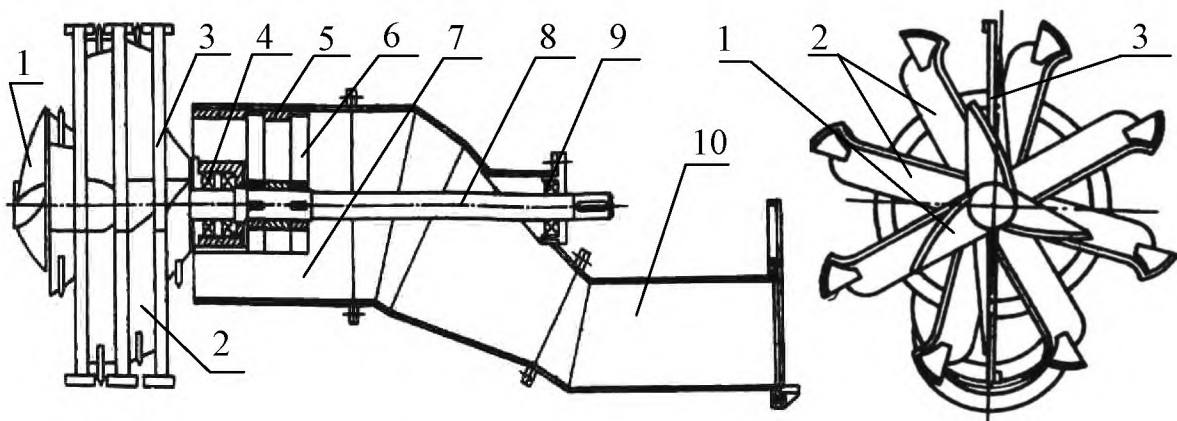


Рисунок 1.4 – Забірний пристрій з роторним розрихлювачем: 1 –

фреза; 2 – ріжучий ніж; 3 – протиріжучий ніж; 4, 9 – опори; 5 – ніж статору подрібнювача; 6 – ніж ротору подрібнювача; 7 – всмоктувальний рукав; 8 – вал; 10 – вивідний трубопровід.

Подібної технології забірні пристрої можуть оснащуватися комбінованими розрихлювачами, (рис. 1.5) для збільшення продуктивності [9, 12].

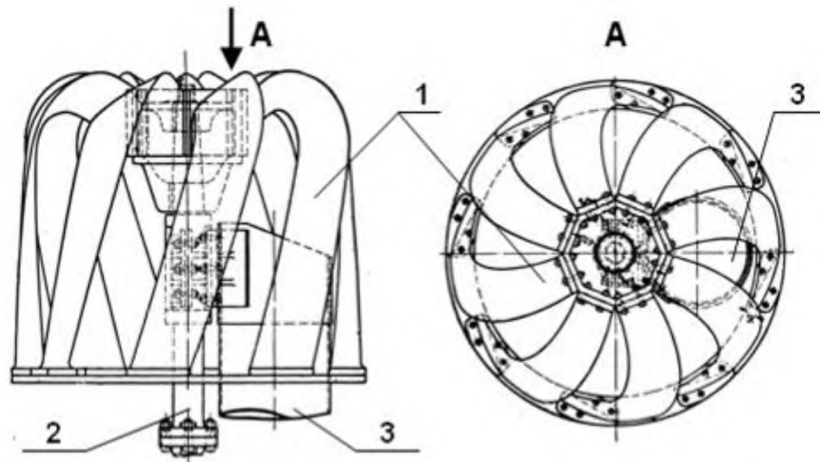
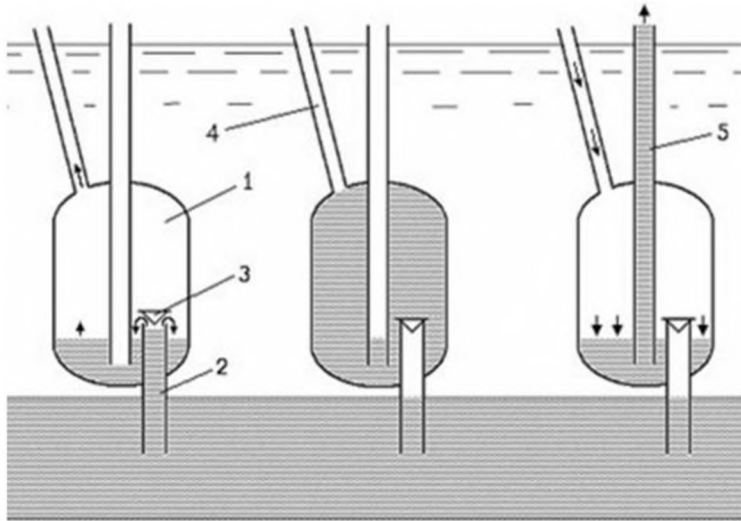


Рисунок 1.5 – Фрезерний забірний пристрій для добування зарослих донних покладів: 1 – торцева фреза; 2 – вал приводу; 3 – всмоктувальний трубопровід.

Недоліком такого пристрою є приводні елементи фрез та роторів, які подають крутний момент від плавзасобу. Вони обмежені у глибині добування та часто виходять з ладу за рахунок намотування рослинності.

Знайшли своє застосування під час добування сапропелів і всмоктувальні забірні пристрої у складі пневматичних камерних насосів. Такий добувний засіб (рис. 1.6) використовує фірми „Pneuma” [13] для очищення акваторії моря. Принцип роботи наступний насос має три камери та два цикли роботи: перший – заповнення камери сапропелями, і другий – випорожнення їх стиснутим повітрям, ці процеси

регулює електроклапан вхідного патрубку.



а



б

Рисунок 1.6 – Схема роботи (а) та фото пневматичного камерного насоса із всмоктуючим забірним пристроєм у формі ковша (б): 1 – робоча камера, 2 – всмоктуючий патрубок, 3 – вхідний клапан; 4 – труба подачі і скидання повітря, 5 – трубопровід подачі пульпи.

Даний трикамерний насос дозволяє змінити свої функціональні можливості і добувати органічний сапропель природної вологості та не допускати збвтування води, хоча добування покладів підвищеної в'язкості та з рослинними покривом може бути проблемним. Але до недоліків слід віднести значну металомісткість, потребу у потужному компресорі із робочим тиском понад 0,8МПа та складного підводного автоматичного блоку керування роботою клапанів.

З аналіз існуючих конструкцій машин та робочих органів, які приймають участь у технологічному процесі можна виділити, що розроблено багато засобів добування сапропелю, та кожен з них дає задовільні результати і середовище їх застосування призначене для кожного індивідуально. Інколи можливе застосування окремих засобів для добування органічного сапропелю з середніх і малих водоймах для виробництва добрив, та з усуненням відомих недоліків використання

засобу буде ефективніша.

### 1.3 Огляд теоретичних досліджень забірних пристроїв

Щоб забезпечити надійність конструкції та якість технологічного процесу роботи забірних пристроїв, необхідно провести досконалі розрахунки, провести дослідження протікання в них процесів та явищ, а також ознайомитись з проведеними дослідженнями у подібних машинах-аналогах.

Для вибору різних підходів у вирішенні поставленої задачі проведемо огляд теоретичних досліджень забірних пристроїв. Такими дослідженнями, займались: Харін А.І., Кислов Н.В., Пышкин В.П., Спиваковський А.О., Вайсон А.А., Зенков Р.Л., Хомич С.М. і інші [9, 14, 15, 16, 17,18, 19].

Так для визначення конструктивних параметрів забірних пристроїв Харін А.І. [14] пропонує наступні залежності.

Периметр вхідного отвору всмоктуючого наконечника.

$$P = Q_p a / q, \text{ м.} \quad (1.3)$$

де:  $Q_p$  – розрахункова продуктивність ґрунтового насоса, м<sup>3</sup>/год;

$a$  – коефіцієнт, що враховує коливання витрати пульпи в виробничих умовах, рівний 0,6-0,8;

$q$  – питома витрата води на одиницю довжини периметра вхідного отвору всмоктуючого наконечника, м<sup>2</sup>/год.

Площа вхідного отвору. [9]

$$F = Q_p / 2W_{max} 36, \text{ м}^2. \quad (1.4)$$

де:  $Q_p$  – максимальна гідравлічна крупність розроблюваних частинок, см/с.

Довжина периметра і площа вхідного отвору визначають форму вхідного отвору всмоктуючого наконечника. Для цього розраховують коефіцієнт форми вхідного отвору

$$k_{\phi} = 4\pi F / \Pi^2. \quad (1.5)$$

Якщо  $k_{\phi} \approx 1$ , то вхідний отвір приймають круглим, якщо  $k_{\phi} < 1$ , то вхідний отвір приймають еліптичним. Довжину  $x$  і ширину  $y$  еліптичного вхідного отвору визначають з системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \Pi &= 2y + \pi x; \\ F &= xy + \pi x^2 / 4. \end{aligned} \right\} \text{ м.} \quad (1.6)$$

По відомих значеннях  $\Pi$  і  $F$  визначають розміри вхідного отвору наконечника.

Довжину смоктуючи наконечників знаходять по формулах:

$$\text{для круглих: } l_h = 2,5(d_{\text{ex}} - d_{\text{mp}}); \text{ м.} \quad (1.7)$$

$$\text{для еліптичних: } l_h = 1,4(\Pi / \pi - d_{\text{mp}}), \text{ м.} \quad (1.8)$$

де:  $d_{\text{ex}}$  – діаметр вхідного отвору наконечника;

$d_{\text{mp}}$  – діаметр всмоктуючого трубопроводу.

Для круглого вхідного отвору наконечника  $d_{\text{ex}}$  становить:

$$d_{\text{ex}} = \sqrt{Q_p / 56W_{\text{max}}}. \text{ м.} \quad (1.9)$$

Отже слід відмітити, що проведені теоретичні дослідження роботи пневматичних забірних пристроїв дозволяють обґрунтувати параметри і процесів, що протікають в них. Але всі рекомендовані залежності необхідно експериментально підтвердити при роботі з органічними сапропелями.

#### 1.4 Висновки до розділу 1 та завдання досліджень

1. Аналіз літературних матеріалів свідчать про те, що сапропель є екологічно чистою сировиною, з якої виготовляють органічні добрива для ведення екологічно чистого землеробства.

2. Першим етапом технологічного процесу виробництва таких добрив являється добування покладів з озерних родовищ. Оскільки сапропеле добувних машин є досить багато та в більшості вони не можуть добувати поклади природної вологості, чим порушують вимоги до добутої сировини, то пропонується удосконалити пневматичний забірний пристрій засобу для добування сапропелю для забезпечення енергоощадності процесу і виконання технологічних вимог.

3. Відсутність достовірних відомостей про властивості органічних сапропелів, у природному стані, для конкретних родовищ України, не дозволяють дослідити процес добування озерного сапропелю та удосконалити змішувач забірною пристрою, що здатний забезпечити виконання висунутих вимог до добутої сировини.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз відомих технологічних процесів добування органічних сапропелів та на цій основі розробити теоретичні передумови удосконалення забірною пристрою;
- обґрунтувати конструктивну схему та технологічний процес засобу для добування сапропелю з удосконаленим забірним пристроєм;
- розробити забірний пристрій для дослідження робото здатності та дослідження процесу добування сапропелю;
- дослідити фізико-механічні властивості сапропелю родовища озера Рогізне Волинської області у природному стані;
- провести експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування та доцільність використання розробки.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА ЗАБІРНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1. Опис запропонованої конструкції

Запропонований забірний пристрій створений з метою забезпечення сільського господарства органічною сапропелевою сировиною, шляхом добування з підводних родовищ для виробництва добрив. Оскільки сапропелі знаходяться у підводних родовищах та щільно злежані з роками, під дією гідростатичного тиску верхнього шару води, запропоновано вдосконалення відомого пневматичного забірною пристрою [20], шляхом комплектування фрезерним робочим органом, з метою розрихлення покладів.

Забірний пристрій для добування сапропелю складається з двох основних частин це конічну корпус – змішувач 1 і підйомного трубопроводу 8 (рис. 2.1). До змішувача біля краю ширшої внутрішньої сторони, прикріплена кільцева напірна порожнина 2 в якій шарнірно вмонтовані, з можливістю повертання і фіксації в будь-якому напрямку відносно осі – форсунки в зборі 3, для виходу стиснутого повітря. Остання кріпиться за рахунок кронштейнів 4, також забірний пристрій містить магістраль подачі повітря 6, закріплений кронштейном 5, вихідний рукав (зумпф) 7, фрезу 9, та механізм кріплення фрези (підшипникова опора) 10.

Забірний пристрій для добування сапропелю працює наступним чином.

У занурений в середовище сапропелю корпус 1 подається стиснуте повітря від компресора через гумовий шланг до магістралі 6 кільцевої напірної порожнини 2 і виходить через форсунки 3. Потік стиснутого повітря діє на лопоті фрези 9 за рахунок чого фреза обертається, де в процесі подальшої роботи виконує основну функцію – роз рихлення та подачі сапропелю. Сукупність процесів обертання фрези потоком стиснутого повітря, яке виходить з форсунок забезпечує змішування двох фаз та утворює бульбашкову структуру руху.

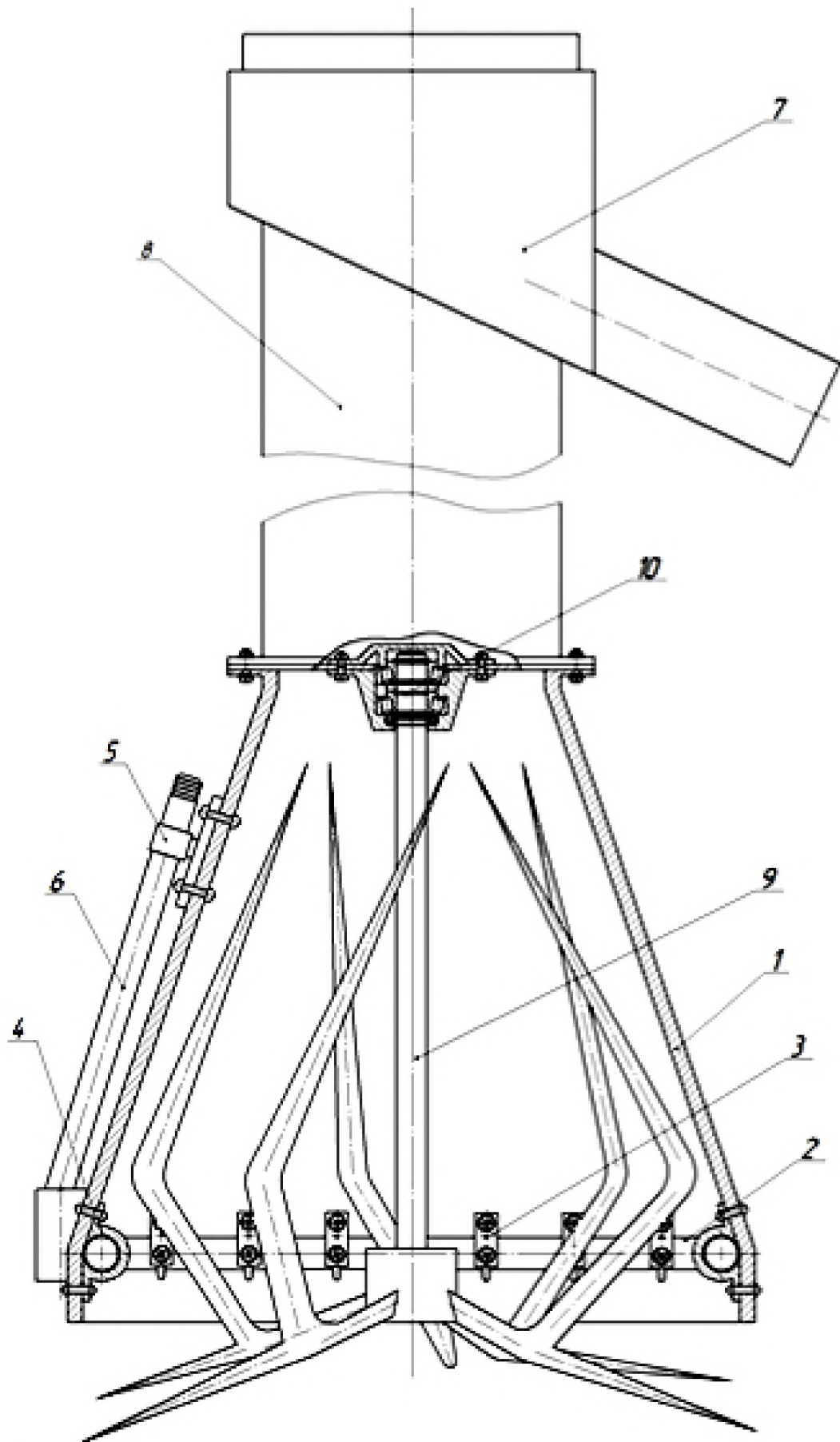


Рисунок 2.1 – Схема пневмомеханічного забірного пристрою: 1 – змішувач; 2 – напірна порожнина; 3 – форсунки зборі; 4, 5 – кронштейни; 6 –

магістраль подачі повітря; 7 – вивідний рукав; 8 – підйомний трубопровід; 9 – фреза; 10 – опора кріплення фрези в зборі.

Зварні елементи фрези сконструйована у вигляді гвинта, таким чином, що кожна з лопатей нижньою частиною розрізає сапрпель (або відділяє від загальної маси), середньою переміщує вгору, а верхньою забезпечує утворення сапепеле-повітряного гвинта та спрямовує потік до піднімального трубопроводу 8. Потрапивши до піднімального трубопроводу суміш сапрпелю і повітря розділюється на окремі фази та утворює поршневу або краплинно-плівкову структуру висхідного потоку і таким чином піднімається до надводної поверхні. Потім через вивідний рукав (зумпф), фаза остаточно розділяються, сапрпель потрапляє у баржу чи бункер а повітря виходить в атмосферу.

Добування сапрпелю пневмомеханічними засобами дає можливість значно зменшити енерговитрати, дозволяє забезпечувати сільське господарство сировиною природної вологості а також в свою чергу має ряд переваг над іншими:

- відсутність потреби в осушуванні водойми;
- екскавацію можна вести при будь-якій глибині водного дзеркала;
- інтенсифікація процесу, оскільки транспортування сапрпелю здійснюється трубопроводом до місця складування або зневоднення, одразу ж після добування, однією операцією;
- невисока складність та висока надійність устаткування;
- процес легко піддається автоматизації;
- низька матеріаломісткість агрегату;
- висока продуктивність при малій затраті робочої сили на обслуговування.

2.2 Теоретичні обґрунтування параметрів та режимів роботи засобу для добування сапрпелю

Оскільки пропонований пристрій призначений для роботи з сапропелями підвищеної в'язкості і фреза застосовується для рихлення, та за рахунок поєднання механічної роботи фрези та пневматичної роботи потоку повітря виконуються перший етап основні дії, то такий пристрій можна назвати – пневмомеханічний. Другий етап основної роботи виконується за рахунок взаємодія повітря з покладами сапропелю де формується двокомпонентне середовище і відбувається піднімання (транспортування) покладів повітрям.

Для приведення лопатей фрези в рух та виконання корисної роботи по розрихленню і частковому підніманні покладів, використовуємо повітряний потік, а саме енергію його руху. Для забезпечення роботи забірною пристрою необхідно щоб лопаті фрези постійно переміщались, тому стабільний, рівномірний і безперебійний вихід, однакової кількості повітря, з форсунок і потрапляння його на лопаті сприятиме ефективній і раціональній його роботі.

Для теоретичного розрахунку розглянемо процес дії сили повітряного потоку, на частину лопаті фрези у середовищі сапропелю. З врахуванням припущень позначимо окремі параметри: швидкість потоку –  $v_0$ , площа частини лопаті з якою взаємодіє потік –  $S$ , вона є перпендикулярна напрямку потоку і переміщається із швидкістю  $U$ , швидкості  $U$  та  $v_0$ , співпадають по напрямку, та на певній встановленій відстані від вихідного отвору форсунки мають ті ж значення що і площа потоку.

Розглянемо простий випадок дії сили потоку повітря, що виходить за певної швидкості з одного циліндричного сопла (форсунки), в середовище сапропелю і контактує з частиною лопаті фрези (рис. 2.2).

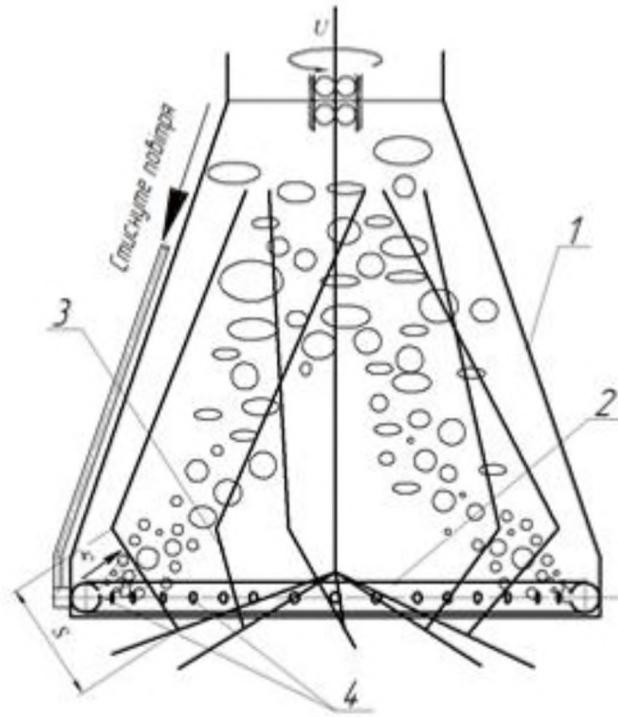


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема дії потоку повітря на лопать фрези:

1 – корпус, 2 – напірний трубопровід, 3 – фреза, 4 – форсунки

Враховуючи спрощення та припущення процесу швидкість повітря, яка потрапляє на лопать фрези буде відносною:

$$W = v_0 - U \quad (1)$$

За початкову швидкість повітряного потоку  $v_0$  будемо рахувати швидкість у найменшому перерізі даного потоку, під час виходу з форсунки.

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot P_n}{(k-1) \cdot \rho} \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_n} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (2)$$

де  $k$  – показник адіабати,  $k=1,4$ ;

$P_n$  – тиск повітря у напірному повітропроводі, Па;

$\rho = 1,3$  при  $20^{\circ}\text{C}$  – густина повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$P_c$  – тиск у середовищі в яке виходить повітряний потік, Па.

Оскільки поклади сапропелю знаходяться у підводному родовищі на певній глибині  $H$ , і там же здійснюється вихід повітря з форсунки, то даний процес буде відбуватись в середовищі під тиском. Припустимо, що сапропель розташований у родовищі де водяного дзеркало відсутнє, звідси:

$$P_c = P_{атм} + \rho_c \cdot g \cdot H \quad (3)$$

де  $\rho_c$  – густина сапропелю, кг/м<sup>3</sup>;

Прирівнявши значення залежність (2) набуде вигляду:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot P_n}{(k-1) \cdot \rho} \left[ 1 - \left( \frac{P_{атм} + \rho \cdot g \cdot H}{P_n} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (4)$$

Із зростанням різниці тисків  $P_c$  і  $P_n$  у процесі заглиблення пристрою, швидкість повітря теж буде зростати. Зростання проходитиме до тих пір поки дана швидкість не досягне межі швидкості звуку для даного середовища.

Для повітря така різниця тисків визначається відношенням:

$$\beta_{кр} = P_c / P_n = 0,528 \quad (5)$$

А оскільки досліджуваний процес відбувається за тиску повітря у напірному повітропроводі  $P_n \approx 500$ кПа та за тиск у середовища в яке виходить повітряний потік  $P_c \approx 120$ кПа. То швидкість у найменшому перерізі потоку слід розраховувати за формулою:

$$v_0 = v_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R \cdot T_n}, \quad (6)$$

де  $T_n = 293^0$  К – температура за якої знаходиться стиснуте повітря, що нагнітається, К;

$R$  – газова стала, Дж/( кг·К );

$k = 1,4$  – показник адіабати.

Оскільки потік постійно і безперервно діє на лопаті, що переміщуються та потрапляють під його дію, то можна визначити кількість руху всієї маси повітря, яка приводить в обертний рух всі лопаті, за певний проміжок часу.

Масу повітря, що набігає на лопаті штовхаючи їх, за одиницю часу, можна виразити через рівну їй величину масової витрати повітря що виходить із сопла  $m = \rho s v_0$ , а кількість руху повітря що поступає на лопать на певній відстані становить:

$$mW = \rho S v_0 (v_0 - U) \quad (7)$$

де  $S$  – площа перерізу тороїда, що описує частина лопаті на яку діє потік повітря при обертанні, приймається як площа лопаті, та площа контакту потоку повітря з лопаттю  $m^2$ :

$$S = \frac{m v_0}{\rho v_0 (v_0 - U)} \quad (8)$$

Площа січення форсунки, з якої входить стиснуте повітря становить:

$$s = \pi R^2 \quad (9)$$

Прирівнявши залежності (6) та (9) отримаємо:

$$m = \rho \pi R^2 v_0 \quad (10)$$

де  $\rho = 1,3$  при  $20^\circ\text{C}$  – густина повітря.

$R^2$  – радіус отвору форсунки, з якого виходить стиснуте повітря  $m$

Оскільки сила динамічного тиску потоку на нерухому перешкоду визначається, як кількість рухомої маси потоку за одиницю часу [21, 22], то у випадку рухомої лопаті фрези необхідно використовувати дійсну швидкість потоку, тобто можна скористатись значенням відносної швидкості  $W$ , тоді кількість руху повітря що поступає на лопать може бути визначена величиною  $mW$ :

$$F_n = mW = \rho S v_0 (v_0 - U) \quad (11)$$

А кількість сапропелю, яку лопать буде розрихлювати та переміщувати становитиме:

$$Q = \rho_c S W \quad (12)$$

Потужність, що створюється потоком повітря, який виходить з одиничного отвору форсунки при набіганні на лопоті, визначається величиною:

$$P = F_n U = \rho s v_0 (U v_0 - U^2) \quad (13)$$

Максимальне значення потужності визначається з отримання похідної  $\frac{dP}{dU}$  і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{dP}{dU} = \frac{d(U v_0 - U^2)}{dU} = v_0 - 2U = 0 \quad (14)$$

Звідси швидкість переміщення фрези становитиме:

$$U = \frac{v_0}{2}, \quad (15)$$

Отже на швидкість переміщення фрези, буде затрачатись лише половина швидкості набігаючого потоку, або половина потужності потоку, максимальна кількість якої виражається формулою:

$$P_{max} = \rho S (v_0^2 U - v_0 U^2) = \rho S \left( \frac{v_0^3}{2} - \frac{v_0^3}{4} \right) = \rho S \frac{v_0^3}{4} \quad (16)$$

Якщо не враховувати конструктивні особливості фрези згідно рис. 2.1 і вважати, що ножі-лопаті фрези є плоскими кругоподібними пластинами – в зоні контакту з потоком повітря, то з даної залежності можна констатувати, що при допомозі такої фрези для розрихлення покладів сапропелю використовується тільки половина кінетичної енергії потоку, що поступає на фрезу з одної форсунки. А оскільки кількість форсунок напірного повітропроводу є  $n$  то максимальна потужність на переміщення фрези буде прямо пропорційною їх кількості.

### 2.3 Висновки до розділу 2

Отримані результати показують, що степінь використання енергії для переміщення фрези, яку створює потік є неповною, але з врахуванням характеристик сапропелю та робочого процесу забірною пристрою для його добування, можна погодитись, що інша половина енергії повітряного потоку буде використовуватись на подолання опору середовища та для утворення повітряного гвинта в середовищі сапропелю, а в подальшому і для піднімання його у циліндричному вертикальному трубопроводі до надводної поверхні.

Використання пневмомеханічного забірною пристрою для добування сапропелю, як альтернативного, та методів розрахунку його параметрів дасть можливість зменшити енергозатрати на добування сапропелю в порівнянні з механічними засобами.

### **3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1 Програма експериментальних досліджень**

Експеримент та його проведення є важливою складовою наукових досліджень при розробці конструкцій сільськогосподарських машин та обґрунтуванні їх робочих процесів.

До проведення експериментальних досліджень складають план-програму послідовності виконання завдання. Прогнозування і достовірність даних експерименту залежить від якісно підібраних послідовно виконуваних дій, правильно вибраних методики та обладнання (інструменту). При проведенні експерименту проводиться пошук показників (параметрів) досліджуваного явища, в залежності від факторів, що на нього впливають.

Експериментальні дослідження в яких вивчається вплив одного фактора на розвиток явища є однофакторним експериментом. Дослідження впливу багатьох факторів – багатофакторний експеримент [23, 24]. У більшості випадків експерименти багатофакторні. Оскільки чим більше факторів враховується при проведенні досліджень, тим достовірніші й адекватніші виявлені закономірності.

У програму досліджень входять перелік (найменування) дослідів або питань, що потребують вивчення. Для цього повинні бути враховані мета дослідження, результати розробки робочої гіпотези, особливості методики дослідження, а також наявні технічні засоби, стенди, установки, пристрої та інше обладнання.

Питання, які необхідно розглянути, виконати та дослідити це:

- дослідити фізичні властивості сапропелю (природна вологість, зольність, об'ємна маса) із глибиною залягання;
- за даними теоретичних досліджень, виготовити експериментальну установку у вигляді конструкції змішувача пневматичного забірною пристрою з механічним розрихлювачем (фрезною);

- в реальних умовах провести лабораторно-виробничі випробування конструкції змішувача пневматичного забірною пристрою з механічним розрихлювачем (фрезою), у складі засобу для добування сапропелю і фрези.

Для підтвердити його робото здатність.

- провести багатофакторний експеримент та дослідити вплив тиску виходу потоку повітря через форсунки і глибини залягання сапропелю на швидкість обертання проведення експериментальних досліджень було організовано комплексне виконання процесу заміру вихідних параметрів матеріалу, режимів роботи обладнання, часу проведення експериментів, тощо.

3.2 Опис апаратури, обладнання і приладів, що використовуються та експериментальної установки

Щоб реалізувати програму досліджень необхідно першим кроком зробити дослідження покладів тобто провести відбір зразків сапропелю із запропонованого озера з певних досліджуваних глибин. Для цього використовували забірник проб фото якого наведено на (рис. 3.1). Відбірник складається із човникоподібного рухомого 1 і нерухомого 2 півциліндричного відрізка, у верхній частині останнього приєднуються подовжувальний тримач 3, який складається з відрізків труби діаметром 2,4мм, що разом утримуються фіксаторами 4, та ручки для провертання 5. Загальна довжина подовжувального тримача вибирається залежно від глибини відбору проби у нашому випадку це 8м.

Далі для визначення природної вологості відібраних покладів сапропелю використовувалось таке лабораторне обладнання (рис. 3.2), як бюкси, сушильна електрошафа, точна до 0,01г електронна вага, ексикатор, термометр, муфельна піч.



Рисунок 3.1. Фото відбірника проб: 1, 2 – відповідно рухомий і нерухомий човникоподібний півциліндр, 3 – подовжувальний тримач, 4 – фіксатори



а



б



в



г



д



е

Рисунок 3.2. Прилади та обладнання для проведення досліджень: а – сушильна електрошафа СНОЛ – 3,5.3,5.3,5/3 ИЗ; б – муфельна електропіч СНОЛ – 1,6.2,5.1/11 ИЗ; в – електронні ваги ТЛВ-0,5; г – ексикатор із бюксами; д – термометр-щуп електронний TFA 301018; е – фарфорові бюкси

Відповідно експериментальна установка виконана згідно рисунка 2.1 та опису пункту 2.1 розділу 2. Для перевірки її роботи здатності та дослідно-випробувальної роботи на озерному родовищі сапропелю, застосовували повітряний компресор EURO 210/24 (рис. 3.3), плавзасіб, та бензиновий електрогенератор, глибиномір (рис. 3.4).



#### Технічні характеристики:

Мережа:	220-230В ~ 50Гц
Продуктивність:	206 л/хв
Об'єм ресивера:	24 л
Робочий тиск:	0... 8 бар
Потужність двигуна:	1,5 кВт.
Вага:	26 кг

Рисунок 3.3. Компресор EURO 210/24



Рисунок 3.4. Фото випробувань забврного пристрою: 1 – плавзасіб, 2 – генератор, 3 – забірний пристрій, 4 – глибиномір (вимірювальна рулетка)

### 3.3. Методика відбору зразків сапропелю

Згідно планування експериментальних досліджень проводили пошук озера, яке перебуває у стані сильного замулення, таким озером виявилось з озеро Зяцьке. Відповідно на незабрудненій частині рослинністю проводили практичні дослідження, а відбір проб проводили згідно методики викладеної нище та інструменту – пробовідбірника.

Проби відбиралися з човна, а фіксовані точки відбору по периметру озера в чотирьох місцях (перпендикулярно до довжини озера від берега до берега). Також фіксували глибину забору покладів, відлік якої починали з моменту входу пробовідбірника у верхній шар (пелоген) та не враховували товщину водного шару.

Точність глибини забору відкладів сапропелю становила до 0,1м, а проби брались через кожні 1м. Оскільки довжина штанг пробовідбірника становить 10м, а товщина води в озері 1,4м, то максимальна глибина відбору проби за глибиною родовища становила 8м.

Проби відбиралися за наступною методикою відбірник занурювали у відклади в відкритому стані вперше на глибину 1 м. Повертаючи ручку за годинниковою стрілкою на 180<sup>0</sup> закривали човник і витягували. Заповнений у відбірнику сапропель поміщали у пронумеровані бюкси з кришками. В одній зодувальній точці з кожної глибини брали тільки одну пробу. Для точності вели відомість записуючи дані кожного метру досліджуваної точки. Останню, разом заповненими бюксами, відправляли в лабораторію. В лабораторії, згідно записів відомості, проби добути з однакової глибини і але з різних точок ретельно перемішувались та ділились на п'ять рівних частин. З кожної частини відбирали приблизно 25г сапропелю для визначення природної вологості та зольності, а залишок лишали для визначення об'ємної маси.

### 3.4 Методика та результати визначення природної вологості сапропелю

З підготовленої проби сапропелю, ми відбирали порції масою 5 г і поміщали в просушені дюралюмінієві бюкси і поміщали у сушильну шафу.

Сушильну шафу нагрівали до  $t=100\pm 5^{\circ}\text{C}$ ; та витримували цю температуру на протязі усього періоду дослідження. Після 120 хвилин сушіння бюкси з матеріалом виймали і охолоджували до кімнатної температури. З охолоджувальними бюксами здійснювали контроль тобто зважували, а потім знову поміщали у сушильну шафу для продовження досліду. Наступний аналогічний процес проводили через 20 хв.

Результати замірів зважування показали, що час сушіння є достатній, і різниця між контрольними замірами в масі після обох охолоджень не перевищує 0,01 г. Після цього дослід припиняли та приймали для розрахунків менше фіксоване значення ваги проб .

Дослідження з визначення природної вологості відібраних проб з оз. Зяцьке проводились одночасно у трьох-кратній послідовності для трьох зразків, які були добуті з однакової глибини залягання.

Вміст води ( $W$ ) у відсотках обчислювали за формулою [9]:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100\%, \quad (3.1)$$

де  $m_1$  – маса бюкса з наважкою до висушування, кг;

$m_2$  – маса бюкса з наважкою після висушування, кг;

$m$  – маса наважки, кг.

Експериментально отримані показники природної вологості сапропелю наведено у таблиці 3.1, на основі останніх побудована графічна залежність їх зміни від глибини залягання покладів (рис. 3.5).

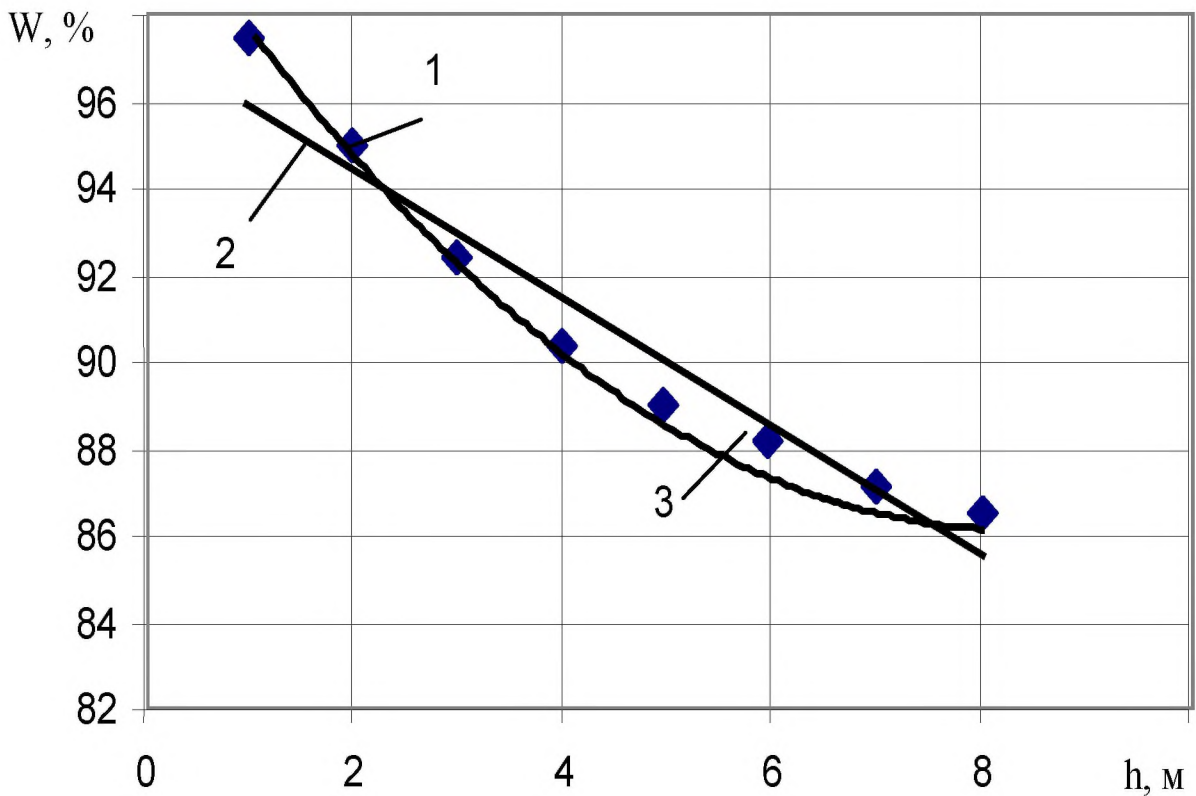
Як видно з графіку, що вологість сапропелю залежить від глибини їх розташування, а лінійна апроксимація експериментальних даних містить таку залежність:

$$W = -1,313 \cdot h + 97,08. \quad (3.2)$$

Таблиця 3.1.

Досліджувані значення природної вологості сапропелю озера Зяцьке

Глибина залягання, $h$ м	1	2	3	4	5	6	7	8
Середні значення вологості, $W$ %	97,3	95,5	92,3	90,3	89,0	88,4	87,3	86,7

Рисунок 3.5 Залежність природної вологості органічного сапропелю  $W$  від глибини розміщення  $h$ : 1 – експериментальні точки; 2 – лінійна

апроксимація; 3 –апроксимація поліномом другого порядку.

Значно точніше досліджувані дані можна отримати з апроксимації показників поліномом другого порядку

$$W = 0,128 \cdot h^2 - 2,721 \cdot h + 99,897. \quad (3.3)$$

З графіку видно що з глибиною вологість зменшується, на повеневій глибині вона зменшується стрімко, та приблизно вд 5 м і глибше показник вологості сповільнюється.

### 3.5 Методика та результати визначення зольності покладів

Після визначення показників природної вологості згідно методики оптспної у попередньому пункті зразок сапропелю з алюмінієвих бюксів поміщали у фарфорові. Та з умовою дотримання послідовності проб з глибиною залягання сапропелю. Далі дані бюкси з сухим сапропелем розміщали в холодній муфелній печі і поступово (протягом 1 години) нагрівали до температури приблизно 800<sup>0</sup>С з метою виявлення точних показників зольності нагріту піч, витримували ще 20хв. Потім після витримки та прожарювання бюкси із залишками сапропелю виймали і охолоджували 5 хвилин на повітрі, а потім в ексікаторі до кімнатної температури та зважували.

Для контролю процес прожарювання повторювали за аналогічною послідовністю протягом 30 хвилин при тій же температурі та повторно зважували. Відповідно різниця в масі не перевищувала 0,05 г і дослід припиняли, та вважали проведеним правильно та якісно.

Зольність сапропелю розраховувалась згідно наступної залежності [9]:

$$A^c = \frac{m_1 \cdot 100\%}{m}, \quad (3.2)$$

де  $m_1$  – маса золи, кг;

$m$  – маса наважки сухого сапропелю, кг.

Експериментально отримані значення показника зольності сапропелю наведено у табл. 3.2, за якими побудована графічна залежність зміни

досліджуваного показника до глибини залягання покладів (рис. 3.6).

Таблиця 3.2.

Середні значення зольності сапропелю о. Зяцьке за глибиною залягання

Глибина залягання, $h$ м	1	2	3	4	5	6	7	8
Середні значення зольності $i$ , $A\%$	20,33	22,68	23,81	26,66	27,66	28,57	30,61	31,75

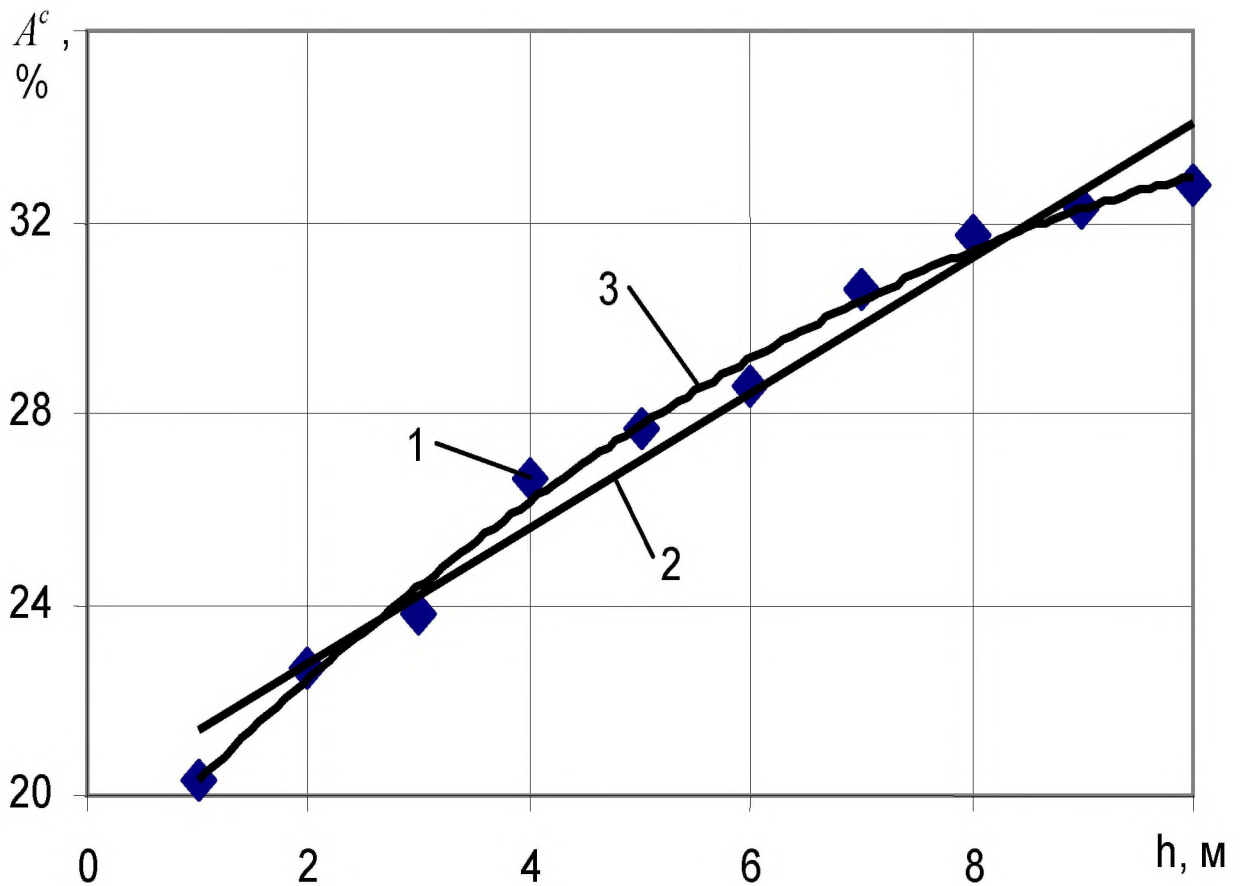


Рисунок 3.6 Залежність зольності органічного сапропелю  $A^c$  о. Зяцьке від глибини залягання  $h$ : 1 – експериментальні точки; 2 – лінійна апроксимація; 3 – апроксимація поліномом другого порядку

З (рис. 3.6) видно, що зольність досліджуваного родовища сапропелю зростає із збільшенням глибини залягання. Лінійна апроксимація експериментальних даних дозволяє отримати наступну залежність

$$A^c = 1,404 \cdot h + 19,991. \quad (3.3)$$

Також слід відмітити, що у даному випадку лінійна апроксимація забезпечує задовільну точність, оскільки значення коефіцієнта що визначає вплив на зольність глибини залягання покладів у другому степені в апроксимаційному поліномі відповідного порядку є не значущим

$$A^c = -0,0898 \cdot h^2 + 2,3915 \cdot h + 18,015. \quad (3.4)$$

Отриманий діапазон зміни зольності покладів  $A^c = 20...33\%$  дозволяє віднести їх саме до органічного типу та вказує на особливу їх цінність для виробництва добрив.

### 3.6 Методика визначення об'ємної маси сапропелю

Об'ємну масу визначали мірною посудиною, якою вимтупали алюмінієві бюкси (рис. 3.1 е). Попередньо визначивши внутрішній об'єм посудини, шляхом визначення об'єму води, кімнатної температури, що вона вміщує.

Процес і методика досліджень була наступною – бюкси встановлювали на горизонтальну поверхню та наповнювали їх сапропелем. Наповнення припиняли, коли порожнина бюксу була заповнена надмірно тобто більше ніж на 100%. Далі за допомогою леза ножа зрізали надлишок досліджуваного матеріалу по веху бюкса. З матеріал, що залишивсь у бюксі проводили зважквання з точністю до 0,01г.

Відповідно за наступною залежністю [9] визначали його об'ємну масу:

$$\gamma_0 = (m - m_0)/V, \quad (3.5)$$

де  $\gamma_0$  – насипна об'ємна маса, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – маса посудини з матеріалом, кг;

$m_0$  – маса порожньої посудини, кг;

$V$  – внутрішній об'єм посудини, м<sup>3</sup>.

Для достовірності показів і зменшення похибки результатів, досліди проводили із чотирьохкратною повторюваністю (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 Фото дослід з визначення об'ємної маси сапропелю

Середні значення об'ємної маси досліджуваного сапропелю представлено у табл. 3.3, і побудована графічна залежність зміни досліджуваного показника від глибини залягання (рис. 3.8).

Таблиця 3.3.

Середні значення об'ємної маси сапропелю о. Зяцьке за глибиною залягання

Глибина залягання, $h$ м	1	2	3	4	5	6	7	8
Середні значення об'ємної маси, $\gamma$ %	1010,52	1045,38	1065,33	1114,89	1150,29	1178,54	1194,22	1228,08

Аналогічно, так як для вологості і зольності покладів присутня залежність об'ємної маси із глибиною залягання покладів. Та на відміну від вологості цей показник більш точно апроксимується лінійною залежністю

$$\gamma = 30,45 \cdot h + 985,37. \quad (3.6)$$

Отже об'ємна маса досліджувального сапропелю  $\gamma = 1010...1285$  кг/м<sup>3</sup>.

Як уже зазначалось раніше, особливу цінність для виробництва добрив складає органічна речовина сапропелю, то встановимо, як вона змінюється:

$$k(h) = \gamma(h) \cdot \left(1 - \frac{W(h)}{100}\right) \left(1 - \frac{A^c(h)}{100}\right). \quad (3.7)$$

А після підстановки значень отримаємо:

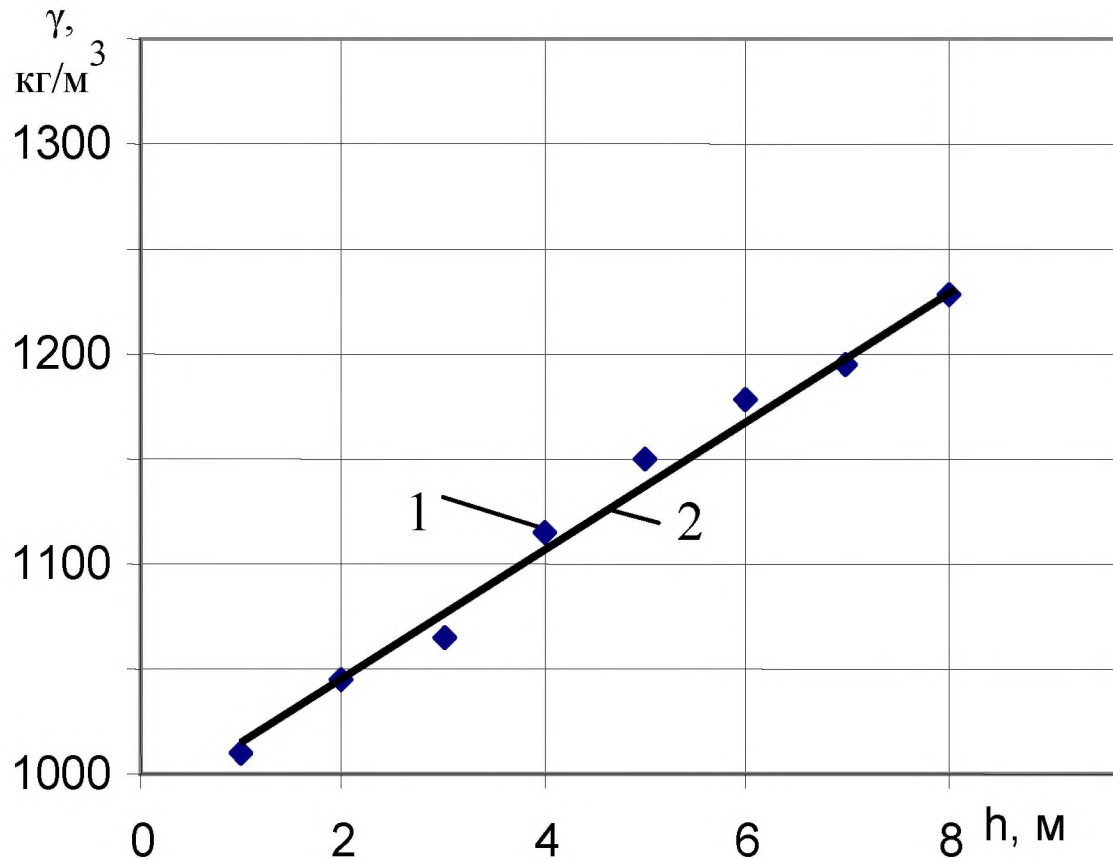


Рисунок 3.8 Залежність зміни об'ємної маси  $\gamma$  сапропелю з глибиною залягання  $h$ : 1 – експериментальні точки; 2 – лінійна апроксимація

$$k(h) = (30,45 \cdot h + 985,37) \cdot \left(1 - \frac{0,128 \cdot h^2 - 2,721 \cdot h + 99,897}{100}\right) \times \left(1 - \frac{1,404 \cdot h + 19,991}{100}\right), \quad (3.8)$$

На основі залежності (3.8) побудований графік зміни вмісту абсолютно сухої органічної речовини за глибини розміщення покладів (рис. 3.9).

Таким чином дослідження фізико-механічних властивостей сапропелю підтвердили їх приналежність до органічного типу. Тому дані поклади можна рекомендувати як сировину для виробництва органічних добрив, а розробку покладів слід починати глибин понад 4 м.

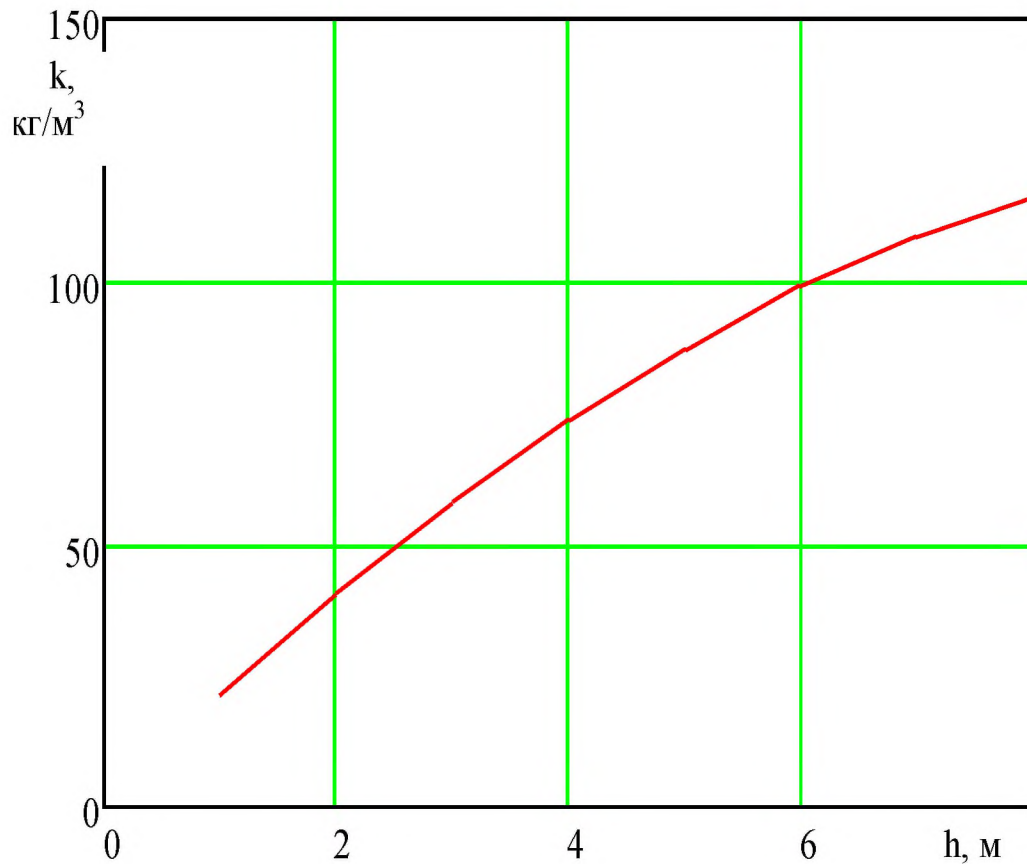


Рисунок 3.9 Залежність вмісту абсолютно сухої органічної речовини  $k$  із глибиною залягання покладів  $h$

### 3.7 Висновки до розділу 3

1. Розроблено програму і методики експериментальних лабораторно-виробничих досліджень; приведено опис та загальні види обладнання, приладів для проведення досліджень; розроблено методику визначення органічно-сухої речовини у досліджуваних покладах, та подані рекомендації для розробки родовища.

2. При проведенні лабораторних досліджень використовувалось стандартне обладнання, інструмент і методики для досліджень вологості, зольності, об'ємної маси сапропелів.

## **4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ.**

### **4.1 Методика проведення три факторного експерименту**

Із аналіз використаних джерел та проведених досліджень можна стверджувати, що особливий вплив на роботу пневмомеханічного забірною пристрою для добування сапропелю, а саме на швидкість обертання фрези, мають природня вологість  $W$  глибина залягання покладів  $h$  з під якої ведеться добування та тиск потоку повітря  $P$ , який виходить з форсунок.

Отож за визначеними основними характеристиками, які впливають на процес роботи засобу, проводили трифактрний експеримент із зміною факторів на рівнях, які наведені у додатку А. Під час даних досліджень використовувалась експериментальна установка описана у п. 2.2 (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 Фото розробленого пневмомеханічного змішувача забірною пристрою засобу для добування сапропелю

У процесі проведення експерименту засіб занурювали у поклади згідно висоти шару сапропелю відповідно до плану експерименту. Потрібну величину тиску подачі повітря, забезпечували регулюванням золотника компресора та контролювали за манометром. А значення природної вологості сапропелю приймали приблизним значенням отриманих у пункті 3.4, що відповідала глибині занурення.

Далі, вмикаючи подачу повітря, приводили в дію забірний пристрій та змінювали вихідні параметри у відповідності плану експерименту (рис. 4.2).

Для скорочення кількості дослідів та отримання закономірності впливу досліджуваних факторів у вигляді рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту та здійснено експеримент за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку [8, 9 24] (додаток Б).

Планування і проведення експерименту включало наступні етапи:

кодування факторів; складання плану-матриці експерименту; рандомізація дослідів; реалізація плану експерименту; перевірка відтворюваності дослідів; розрахунок значень коефіцієнтів регресії; оцінка значущості коефіцієнтів регресії; перевірка адекватності моделі.



Рисунок 4.2. Фото реалізації експерименту

Кодування факторів здійснювали для переведення їх у безрозмірні величини. Зв'язок між кодованими і натуральними величинами факторів встановлювався залежностями:

$$x_1 = \frac{P - P_0}{\varepsilon_1}, \quad x_2 = \frac{h - h_0}{\varepsilon_3}, \quad x_3 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_2} \quad (4.1)$$

де  $P_0$ ,  $h_0$ ,  $W_0$  – значення факторів на основному рівні, відповідно тиск за якого нагнітається повітря, товщина шару сапропелю, природна вологість;

$\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  – інтервали варіювання фактора.

Для трифакторного дослідів повне квадратне рівняння має вид:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + \\ & + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Коефіцієнти регресії визначають за наступними формулами [23, 24]:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (4.3)$$

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i, \quad (4.4)$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ri} y_i, \quad (4.5)$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (4.6)$$

де  $u$  – номер дослідів в центрі плану;

$n_0$  – кількість дослідів в центрі плану;

$r, j$  – номери фактору дослідів, причому у формулі (3.16)  $r \neq j$ ;

$p$  – кількість факторів;

$i$  – номер дослідів;

$n$  – кількість дослідів;

$y_i$  – значення функції відгуку в  $i$ -му досліді;

$x_{ji}, x_{ri}$  – кодовані значення  $j$ -го чи  $r$ -го фактору в  $i$ -му досліді;

$y_{0u}$  – значення функції відгуку в  $u$ -му досліді в центрі плану.

Оскільки експерименти проводились із однаковим числом повторностей, то однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Для цього визначали розрахункову величину даного критерію[9, 24]:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (4.7)$$

де  $S_{y_i \max}^2$  – найбільша із дисперсій.

$S_{y_i}^2$  – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в  $i$ -му досліді.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (4.8)$$

де  $m$  – число повторностей в досліді;

$g$  – номер повторності;

$y_{ig}$  – результат  $g$ -ї повторності  $i$ -го досліджу;

$\bar{y}_i$  – середнє арифметичне значення усіх повторностей  $i$ -го досліджу.

Ряд дисперсій рахували однорідним, якщо:

$$G^{розр.} < G^{табл.}(0,05;n;f), \quad (4.9)$$

де  $G^{табл.}(0,05;n;f)$  – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості,  $n$  – і кількості дослідів та  $f = m - 1$  – числа ступенів вільності.

При визначенні коефіцієнту регресії виявлялись дуже малі за цифровим значенням показники тому довірчі інтервали таких коефіцієнтів вважали статично незначущим..

Гіпотезу адекватності отриманої моделі перевіряли за допомогою  $F$ -критерію (критерію Фішера). Його розрахункове значення визначали за формулою [8, 24]:

$$F^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}. \quad (4.10)$$

Дисперсія неадекватності  $S_{неад.}^2$  становить:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{f_2}, \quad (4.11)$$

де  $y_i, \bar{y}_i$  – значення функції відгуку  $i$ -го досліджу, визначене відповідно експериментально та за рівнянням регресії;

$f_2 = n - k'$  – число ступенів вільності дисперсії неадекватності з врахуванням числа  $k'$  залишених коефіцієнтів регресії (у тому числі і  $b_0$ ).

Гіпотезу про адекватність рівняння приймали у тому випадку, коли розраховане значення  $F$ -критерію не перевищувало табличне [24]:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}(0,05;f_2f_1), \quad (4.12)$$

де  $F^{табл.}(0,05;f_2f_1)$  – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості і ступенів вільності дисперсії неадекватності  $f_2$  та дисперсії

відтворюваності  $f_1$ .

Отже дана методика дослідження продуктивності засобу із пневмомезанячним забірним пристроєм, заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, дозволяє отримати математичну модель у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку отриманого рівняння буде швидкість обертання фрези для кращого руйнування злежаних покладів сапропелю.

У всіх випадках проведення експериментальних досліджень повторність дослідів становила 3...6 разів. Обробку результатів проводили за схемою наведеною у джерелах [8, 9, 23, 24].

#### 4.2 Результати проведення три факторного експерименту

Щоб отримати математичну залежність визначення швидкості обертання фрези засобу для добування сапропелю від досліджуваних факторів у вигляді рівняння регресії, як результат, то було реалізовано трифакторний експеримент.

Обробка даних трифакторного експерименту, проведеного за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку, здійснювалась у програмному середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена.

Оскільки  $G^{розр.} = 0,313 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$  [9, 24] то процес відтворюється.

Під час визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого за 5-% рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів  $f_1=2$  становило  $t=4,3$  [9, 24].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та коваріаціями.

У результаті, рівняння регресії набуло вигляду:

$$\bar{y} = 165 + 33,333x_1 + 0,333x_2 + 0,333x_3 - 0,167x_1^2 - 0,167x_2^2 - 0,167x_3^2 \quad (4.13)$$

Перевірку гіпотези адекватності отриманого рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності  $S_{неад.}^2=3,102$  і дисперсії відтворюваності дослідів  $S_y^2=0,028$  становило  $F^{дiсд.}=2,189$ . Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5% значущості, згідно [51], склало:

$$F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,38,$$

де  $f_2 = 7$  – число ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$  – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки,  $F^{розрах.}=2,189 < F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,38$ , то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточне рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

$$\omega = 165 + 33,333P + 0,333h + 0,333W - 0,167P^2 - 0,167h^2 - 0,167W^2 \quad (4.14)$$

де  $P$  – тиск нагнітання подачі повітря, кПа;

$h$  – товщина шару сапропелю з під якого ведеться добування, м;

$W$  – природна вологість сапропелю, %.

Для відслідкування динаміки зміни швидкості обертання фрези отриманим рівнянням регресії були побудовані поверхні відгуку (рис. 4.3).

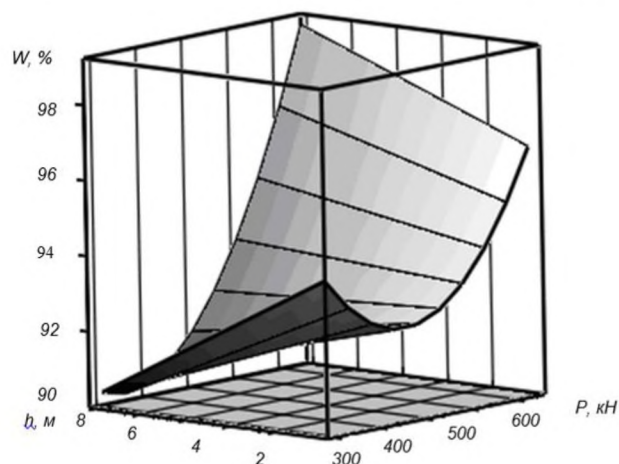


Рисунок 4.3. Залежність зміни швидкості обертання фрези  $\omega$  засобу для добування сапропелю від глибини залягання сапропелю  $h$  та природної вологості  $W$

#### 4.3. Висновки до розділу 4

Аналіз отриманих результатів показує, що всі досліджувані фактори мають суттєвий вплив на швидкість обертання фрези. У всіх варіантах дослідження за збільшення тиску повітря швидкість збільшується незалежно від глибини залягання сапропелю. За збільшення глибини залягання сапропелю і вологості, у досліджуваних межах, швидкість обертання дещо зменшується, оскільки на поклади діє сила ваги верхніх шарів і вони більш злежані.

Для розпушення покладів пониженої вологості доцільно використовувати розрихлювач у вигляді фрези та завихрений повітря сапропелевий потік. Завихрення досягається за рахунок обертання фрези.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У даній роботі представлено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-прикладної задачі, яка полягає у підвищенні функціональних можливостей засобу для добування сапропелю, природної вологості шляхом формування повітряно-сапропелевої суміші повітряним потоком і механічною фрезою, у конічному змішувачі із подальшим транспортуванням на надводну поверхню.

2. Аналіз відомих способів добування сапропелів вказує на необхідність використання енергії стисненого повітря для розпушення та добування покладів природної вологості.

3. Використання запропонованого забірної пристрою у засобі для добування сапропелю, методів розрахунку його параметрів і режимів роботи дасть можливість зменшити енергозатрати на добування сапропелю та зневоднення.

4. Отримані теоретичні розрахунки показують, що степінь використання енергії для переміщення фрези, яку створює потік є неповною, але з врахуванням характеристик сапропелю та робочого процесу забірної пристрою для його добування, можна погодитись, що інша половина енергії повітряного потоку буде використовуватись на подолання опору середовища та для утворення повітряного гвинта в середовищі сапропелю, а в подальшому і для піднімання його у циліндричному вертикальному трубопроводі до надводної поверхні.

Використання пневмомеханічного забірної пристрою для добування сапропелю, як альтернативного, та методів розрахунку його параметрів дасть можливість зменшити енергозатрати на добування сапропелю в порівнянні з механічними засобами.

5. Встановлено, що зольністю сапропелю о. Зяцьке знаходиться у межах належить  $A^c = 20...33\%$  і він належить до органічного типу. Виявлений чіткий вплив глибини залягання на вологість, зольність та об'ємну масу сапропелю

вказує на те, що найбільш цінні поклади за вмістом органічної речовини знаходяться на глибині понад 4 м. Тому для досягнення максимального ефекту від добутих покладів слід починати їх розробку із шарів, які знаходяться на глибині понад 4м.

6. За збільшення тиску виходу з форсунок і взаємодії його з фрезою понад  $P = 400$  кПа, глибини залягання сапропелю з якої ведеться добування  $l = 4$  м спостерігається оптимальний режим роботи пропонованого забірною пристрою.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Мольчак Я.О., Мельнійчук М.М., Андрощук І.В., Заремба В.М. Деградація ґрунтів та шляхи підвищення їх родючості. – Луцьк.: Настир'я, 1998 – 230 ст.
2. Назаренко І.І., Польчина С.М., Дмитрук Ю.М., Смага І.С., Нікорич В.А. Ґрунтознавство з основами геології. – Чернівці: Книги ХХІ, 2006. – 504с.
3. Назаренко І.І., Польчина С.М., Нікорич В.А. Ґрунтознавство. – Чернівці: Книги ХХІ, 2003. – 400с
4. Зенков Р.Л., Івашков І.І., Колобов Л.Н., Машини неперервного транспорту. Для вузів К: Маш. 1987 – 432с.
5. Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси якість та перспективи використання. – Луцьк: Надстир'я, 1996 – 383с.
6. Булік Ю.В. Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Булік Юрій Володимирович. – Луцьк, 2005. – 135 с.
7. Хомич С.М. Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Хомич Сергій Миколайович. – Тернопіль, 2014. – 200 с.
8. Дідух В.Ф. Дослідження фізико-механічних властивостей сапропелів / В.Ф. Дідух, Ю.В. Булік, В.В. Грабовець // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 13. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2005. – С. 90-98
9. Технічна характеристика і принцип роботи ПНК [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.pneuma.lv/tehn\\_har.html](http://www.pneuma.lv/tehn_har.html). – Назва з титул. екрана.
10. . Пат. 39044 Україна, МПК E02F 3/08. Забірний пристрій / Цизь І.Є., Хомич С.М.; заявник та патентовласник Луцький НТУ. – №u200810917; заявл. 05.09.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. №2.
11. Кутателадзе С.С. Гідродинаміка газорідинних систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стрикович. - Р.: Енергія, 1976. – 296 с.

12. Нігматулін Р.И. Динаміка багатофазних середовищ. Ч. II / Р.И. Нігматулін. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.–мат. Литва., 1987. – С. 360.
13. Новік Ф.С. Оптимізація процесів технології металів методами планування експерименту / Ф.С. Новік, Я.Б. Арсов. – Маш; Софія: 1980. – С. 304.
14. Гейер В.Г. Эрліфтні установки: навч. Пос. / [В.Г. Гейер, Л.Н. Козиряцький, В.С. Пашенко ]. – Донецьк: ДПІ, 1982. – С. 64.
15. Лева М. Псевдозрвдження / Макс Лева; пер. с англ. В.Г. Айштейна. – К.: топ. тех. , 1961. – С. 400.
16. Пат. 15225 Україна, МПК E02F3/88. Пристрій для добування сапропелю / Цизь І.Є., Дідух В.Ф., Шимчук О.П.; заявник і патентовласник Луцький нац. техн. ун-т. - № u200512720; Заявл. 28.12.2005; Опубл. 15.06.2006. Бюл. №6. – С. 3.
17. Пат. 39044 Україна, МПК E02F 3/08. Забірний пристрій / Цизь І.Є., Хомич С.М.; заявник та патентовласник Луцький нац. тех. ун-т. – №u200810917; заявл. 05.09.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. №2.
18. Константинов Ю.М. Технічна механіка рідини і газу: П
19. Пат. 41406 Україна, МПК F04F 1/20.
20. Газліфт / Триллер Є.А., Надєєв Є.І., Калиниченко В.В., Ганза А.І., Немцев Е.М.; заявник та патентовласник Держ. вищ. навч. заклад Донецький нац. тех. ун-т. - № u200813274; Заявл. 17.11.2008; Опубл. 25.05.2009 Бюл. №10. – С. 3.ідручник / Ю.М. Константинов, О.О. Гіжа. - К.: Вища школа, 2002. – С. 277
21. Сукач М.К. Основні шляхи удосконалення ерліфтної установки для розробки підводних ґрунтів / М.К. Сукач, В.М. Чередник // Гірн., буд., дор. та меліорат. машини. – 2007. – Вип. 69. – С. 26-33.
22. Хомич С.М. Порівняльна ефективність пневматичних пристроїв для добування озерних сапропелів / С.М. Хомич, І.Є. Цизь // Матеріали ІХ-ї Міжнародної н-п конф, вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 50-52.

## ДОДАТКИ



