

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: «Удосконалення технології зневоднення сапропелів із обґрунтуванням параметрів пресу»

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

Новосад Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пуць В.С.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

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

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

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Новосаду Юрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології зневоднення сапропелів із обґрунтуванням параметрів пресу

керівник роботи Сацюк Василь Васильович, доцент, к.т.н.

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

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

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

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

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

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

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

_____ (підпис)

Новосад Ю.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Новосад Ю - Удосконалення технології зневоднення сапропелів із обґрунтуванням параметрів пресу. Рукопис

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 59 сторінок, включає 23 рисунки, 2 таблиці, список використаних джерел з 14 назв та 2 додатки.

В кваліфікаційній роботі досліджено процес зневоднення сапропелю природньої вологості методом віджиму, розроблене складальне креслення прес-камери для зневоднення сапропелю та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри пресу. Проведено багатofакторний, із використанням плану Бокса-Бенкена другого порядку. Отримано поверхні відгуку залежності кількості витиснутої води із сапропелю природньої вологості від величини прикладеного тиску на матеріал, часу прикладання тиску і площі перфорації стінок.

САПРОПЕЛЬ, ВОЛОГОМІСТ, ВОЛОГІСТЬ, КАМЕРА ПРЕСУВАННЯ, ТИСК, МАСА, СИЛА.

ABSTRACT

Novosad Yu - Improved technology for the extraction of sapropels from the adjustment of press parameters.

Qualification work of the master of educational program "Agroengineering" specialty 208 Agroengineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023

Qualification work of the master consists of an introduction, four sections, conclusions, list of sources used, appendices. The total volume of the work is 59 pages, includes 23 figures, 2 tables, a list of sources used with 14 titles and 2 appendices.

In a qualified robot, the process of extracting sapropel from natural moisture using the viscous method was investigated, the folding chair of the press chamber for extracting sapropel was dismantled, and the design and technological parameters of the press were lined. A multifactorial study was carried out according to the Box-Behnken plan of a different order. A quantity of pressed water from sapropel of natural moisture was removed from the surface using a duct, depending on the amount of pressure applied to the material, the hour of application of the pressure and the area of perforation of the walls.

SAPROPEL, VOLOGOMIST, VOLOGIST, PRESSING CHAMBER, VICE, MASA, FORCE.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Перспективи використання сапропелів	9
1.2 Властивості та класифікація озерних сапропелів.....	12
1.3 Аналіз технологій та конструкцій пристроїв для зневоднення матеріалів та сапропелів.....	14
1.4 Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень технічних засобів для зневоднення сапропелю.....	18
1.5 Постановка питання, мета та завдання дослідження	20
2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ САПРОПЕЛЮ ПРИРОДНОЇ ВОЛОГОСТІ.....	22
2.1 Аналіз процесу зневоднення сапропелю	22
2.2 Обґрунтування конструкції преса	23
2.3 Теоретичні дослідження процесу зневоднення сапропелю	26
2.4 Визначення оптимальних параметрів корзинного пресу.....	30
2.5. Висновки.....	37
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1 Прилади обладнання та апаратура для проведення досліджень.....	38
3.2 Методика визначення вологості, вологовмісту та концентрації сухої речовини сапропелю.....	42
3.3 Методика проведення зневоднення сапропелю природної вологості відтисканням.....	43
3.4 Методика випрьювання преса	44
3.5 Методика випробувань процесу відтискання води з сапропелю із	

застосуванням багатофакторного експерименту.....	45
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	51
4.1 Результати досліджень процесу віджиму сапропелю природньої вологості	51
4.2 Результати лабораторно-виробничих випробувань процесу зневоднення сапропелю, шляхом віджиму.....	52
4.3. Висновки	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Під час добування сапропелевих покладів, природна вологість сапропелю становить 96...98%. Для використання сапропелю його необхідно зневоднити до вологості 55...60% тому дослідження процесу зневоднення сапропелю природньої вологості являється актуальним завданням сьогодення. Лише на Волинській і Рівненській областях запаси сапропелю перевищують 150 років безперервної розробки.

Мета роботи – підвищити ефективність процесу зневоднення сапропелю методом віджиму сапропелю та розробити конструкцію прес-камери.

Об'єкт досліджень - - технологічний процес зневоднення сапропелів природньої вологості.

Предмет дослідження - залежність показників якості зневоднення сапропелів природньої вологості від конструктивно-технологічних параметрів прес-камери.

Завдання роботи: здійснити аналіз технологій зневоднення сапропелів природньої вологості; теоретично дослідити технологічний процес зневоднення сапропелів природньої вологості методом віджиму; розробити складальне креслення прес-камери для зневоднення сапропелів природньої вологості; розробити лабораторну установку для дослідження процесу зневоднення сапропелів природньої вологості; експериментально дослідити процес зневоднення сапропелю природньої вологості методом віджиму; обґрунтувати раціональні конструктивно-технологічні параметри пресу для зневоднення сапропелів природньої вологості.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів механіки суцільного середовища числового розв'язку задач з використанням програми Mathcad 14. При проведенні багатофакторного експерименту використовувався симетричний не композиційний план Бокса-Бенкена.

Науково-технічна новизна. Теоретично та експериментально обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри прескамери для зневоднення сапропелю природної вологості.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено конструкцію прескамери для зневоднення сапропелю природної вологості та визначені раціональні її параметри. За результатами багатофакторного експерименту отримано регресійні залежності, які дають змогу оцінити вплив сили і часу прикладеного тиску та площі перфорації стінок на кількість витискнутої води.

Апробація роботи. Основні положення досліджень доповідались на III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк, ЛНТУ, 2023.

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк, ЛНТУ, 2023.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, список використаних джерел із 12 найменувань

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Перспективи використання сапропелів

Антропогенні фактори активізують продуктивно-біологічні процеси, що веде до втрати здатності озера до самоочищення та його замулення. Сапропелі, як природні ресурси органічної речовини, є цінними. Дослідники встановили, що під впливом антропогенного фактору осадконагромадження в озерах прискорюється, збільшуючи вміст органічних речовин в сапропелі та сприяючи обмілінню озера.

Більшість озер в Україні заповнені донними відкладами на 80-90%, що призводить до евтрофікації, міліювання та заболочування. Екскавація цих відкладів є раціональним заходом для збереження гідрологічної ролі озер. Добування сапропелю потребує уважного відношення до екологічного стану водоймищ, оскільки не завжди виконується з дотриманням вимог водних ресурсів та раціонального використання сировини.

Процес добування сапропелю призводить до змулення води та нерівномірного змінення рельєфу на дні водоймищ, створюючи застійні зони. Використання засобів, що працюють на нафтопродуктах, негативно впливає на екологію озера. Добування сапропелю з під шару торфу призводить до зменшення об'єму торфу і збільшення його об'ємної ваги, що впливає на рівень ґрунтових вод та швидкість розкладу органічних речовин.

Власов Б.П. та Шевчук М.Й. стверджують, що збільшення об'єму та глибини водойми сприяє стабілізації газового та температурного режимів. Яскраво виражена стратифікація відбувається на глибині 5-8 метрів. Зменшення об'єму води внаслідок видобування значної кількості водонасиченого сапропелю сприяє поліпшенню водного обміну озер і впливає на склад та розвиток водних організмів. Існує багато технологій добування

сапропелю, але найпоширеніші, зокрема у Волинській області, це гідромеханізований, грейферний та шнековий способи. За Лопотко М.З. вибір технології добування сапропелю суттєво залежить від фізичного стану осадів, умов залягання сапропелю, ступеня мінералізації, розміру та глибини водоймищ. Основним критерієм вибору методу добування є збереження екосистеми озера та якість продукції.

Вислідження багатьох вчених свідчать, що гідромеханізований спосіб добування сапропелю не відповідає екологічним вимогам. В зоні видобутку рівень завислих речовин значно перевищує норми для нересту риби, прозорість води зменшується більше, ніж удвічі, і значно зменшується вміст розчиненого кисню. Застосування земснарядів при видобуванні сапропелю веде до значного зниження рівня води в озері, оскільки частина води відкачується разом із сапропелем. Ця вода насичена розчинними органічними і мінеральними речовинами і не може повертатися назад у водойму. Лиштван І.І. та Лопотко М.З. вважають, що таку воду потрібно відводити в спеціальні канали та використовувати тільки для поливу сільськогосподарських культур і пасовищ. Ці заходи призводять до зменшення площі водного дзеркала, погіршення прозорості води, втрати місць для нересту риби, та зростання заростання берегових зон водоймищ.

Експериментальні дані багатьох учених підтверджують неефективність використання грейферних екскаваторів з екологічної точки зору.

Грейферний спосіб добування сапропелю змінює рельєф дна озера, що призводить до збільшення вмісту завислих речовин і, відповідно, зменшення прозорості води та вмісту розчиненого кисню. Це особливо помітно при видобуванні сапропелю з високим вмістом золі.

Так, застосування грейферного способу добування органічного сапропелю (оз. Синово) показує, що рівень завислих речовин збільшується в 50 разів, а прозорість води зменшується в 6-7 разів.

Проблемою при очищенні озера за допомогою грейферного методу є забруднення його паливно-мастильними матеріалами, що негативно впливає на флору та фауну, особливо на рибу.

Пристрої для добування сапропелю з шнековими робочими органами дозволяють значно зменшити негативний вплив на екологію.

Ця технологія забезпечує високу екологічну безпеку порівняно з іншими методами. Вона дозволяє добувати сапропель природної вологості, не пошкоджуючи верхній шар (пелоген). Використання цього методу також дозволяє зменшити вилив великої кількості води з озера, що призводить до значного зниження мутності води, в порівнянні з гідромеханізованим і грейферними методами.

Проте, використання самохідних барж для транспортування сприяє забрудненню верхніх шарів водоймища нафтопродуктами.

Отже, усі ці способи добування сапропелю мають негативний екологічний вплив. Тому сьогодні важливо розробити конструкції для добування сапропелю, які б забезпечували високу ефективність, якість та екологічну безпеку.

Під час висушування сапропелю за умов доступу кисню, високої температури та зниження вологості кількість маслянокислих бактерій значно зростає. Ці бактерії взаємодіють з органічними речовинами, сприяючи кращому їх засвоєнню рослинами.

С точки зору екології, важливим етапом при підготовці сапропелевих добрив є їхнє компостування разом з гноєм, пташиним послідом тощо. Це сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур за рахунок збільшення доступних форм азоту, фосфору та калію, а також за рахунок збільшення кількості маслянокислих бактерій та гумінових сполук.

1.2 Властивості та класифікація озерних сапропелів

Застосування сапропелю в сільському господарстві завжди привертало увагу дослідників. Перші відклади мулу було виявлено геологами на початку ХХ століття. Дослідження ґрунтувалися на наукових працях, які висвітлюють основні характеристики озерного сапропелю.

Сапропель формується при відмиранні будь-якого рівня харчового циклу, але його кількість визначається лише процесом розкладу. Цей матеріал осідає на дно, де піддається розкладанню. Частина його розкладається в товщі води до моменту, поки матеріал не досягне дна. Швидкість розкладу органічних речовин залежить від вмісту кисню у воді: при його недостатньому рівні розклад відбувається частково, а при його відсутності — процес розкладу не відбувається.

Донні відклади формуються на дні водойм у верхньому шарі, відомому як пелоген. Тут за допомогою бактерій відбуваються складні біохімічні процеси. У зв'язку з недостатністю кисню відбуваються хімічні реакції, які призводять до утворення органічних речовин, багатих воднем. Нижні шари мулистих відкладів піддаються консервації, практично не зазнаючи змін зі зміною глибини.

За В. Б. Шостаковичем середній щорічний приріст сапропелю складає: для малих озер з притоками — 3,65 мм, без притоків — 1,05 мм; для великих з притоками — 6,64 мм. Ф. А. Форель виділяє п'ять стадій розвитку озер. Перша стадія характеризується практично не зміненим рельєфом дна. Друга стадія включає утворення підводних берегових схилів і згладження дна завдяки осадам. Третя стадія полягає в розвитку рослинності та покритті всього дна озера сапропелями. У четвертій стадії дно водойми повністю вирівнюється. П'ята стадія характеризується перетворенням озера в болото.

Місця утворення сапропелів за генетичними ознаками поділяються на відкриті і закриті.

Відкриті місця – це ті, де є шар води, а закриті – ті, що покриті шаром торфу. У зв'язку з ростом рослинності та заболочуванням озер, відкриті місця утворення сапропелю поступово перетворюються на закриті.

Пізніше інші вчені пропонували свої варіанти класифікації сапропелю, такі як І.В. Молчанов, Г. Лундквіст, М.М. Соловйов, Л.А. Белоголов, Є.М. Титов, Н.М. Страхов та інші . Однак, найбільш розгалуженою та найчастіше використовуваною на сьогодні є система класифікації, розроблена інститутом торфу АН Білорусі і відома як "промислово-генетична". Ця система дозволяє обґрунтувати основні напрямки використання сапропелю, враховуючи його склад і властивості, і розподіляє його на чотири типи: органічний, кремнеземистий, карбонатний і змішаний .

Органічні сапропелі з вмістом органічних речовин 70-94% і зольністю $A_s < 30\%$ утворюються в слабопроточних водоймах з високим рівнем біологічної продуктивності. Тут виділяють 4 класи залежно від складу та співвідношення гумінових кислот та легкогідролізованих речовин.

Система визначення органічної речовини Q була використана для побудови класифікації О.Н. Успенської – А.Я. Рубінштейна, яка розподіляє сапропелі на п'ять типів: "сапропелі органічні (Q більше 70 %); органогенні (Q від 50 до 70 %); органо-мінеральні (Q від 30 до 50 %); мінералізовані (Q від 10 до 30 %) і мінеральні озерні мули (Q менше 10 %)".

Водні властивості: сапропелі в природному стані вологі. Природна вологість донних відкладів залежить від вмісту органічної речовини і різко зменшується під час відділення гравітаційної (вільної) води. Найвологіший верхній шар сапропелю (пелоген) – містить 87-98% вологи, тоді як нижні шари, піддавшись тиску верхніх шарів, мають 70-85% вологи. З високим вмістом органічних речовин вологість сапропелю взагалі зростає.

Ці властивості сапропелю роблять його універсальним матеріалом, який може знайти застосування у різних сферах економіки.

1.3 Аналіз технологій та конструкцій пристроїв для зневоднення матеріалів та сапропелів

Процес віджимання рідини з твердих решток використовується у двох випадках: коли рідина має більшу цінність, ніж залишок (наприклад, сік, рослинна олія, жир), або коли наявність рідини у твердій фазі погіршує якість продукту (наприклад, вода у жомі, рідка фракція у м'ясі). В процесі такого віджимання відбувається виділення рідини або плинної фази, а також зменшення маси, форми і об'єму продукту під впливом тиску. Головною метою цього процесу є видалення рідини, яка зазвичай має зв'язок з твердим залишком матеріалу. Наприклад, м'ясо має складну структуру, що важливо враховувати під час використання тиску у процесі його обробки.

Фізико-механічні властивості компонентів продукту також впливають на процес відтискання. Наприклад, м'язова тканина має здатність виділятися з м'язів при стисканні м'яса, що корисно для виділення сполучної тканини (жил) та сортування продукту. Також різна адсорбційна здатність води та інших компонентів до білкових сполук використовується у процесах виділення жиру з шквари та отримання олії з олійних культур.

Під час процесу відтискання, коли зовнішній тиск перевищує сили опору структури матеріалу, починається виділення рідини. Найбільша кількість рідини видаляється на початковій стадії процесу, а подальше виділення зменшується. Мінімальна кількість відпресованої рідини у залишку після відтискання є ключовим показником ефективності процесу і називається рівноважною вологістю або жирністю.



Рисунок 1.1 Класифікація відтискаючих машин

Для пресів гідравлічного типу відкритого виконання, які є найбільш простими за конструкцією, робочий цикл включає наступні етапи: завантаження пакетами та їх підняття до верхньої плити машини, відведення основної частини рідини при порівняно невисокому тиску (для рослинної олії до 5 МПа), підвищення тиску до певного рівня та утримання продукції під цим тиском (для олії до 80 МПа), опускання рухомої плити та вивантаження пакетів. Повний цикл процесу відтискання рослинної олії зазвичай триває 20–25 хвилин.

Горизонтальні корзинні гвинтові преси, що, як вже зазначено, є більш вдосконаленими, мають свої переваги. Ці пристрої мають кілька переваг: горизонтальна форма дозволяє створити пристрій з довгою циліндричною корзиною меншого діаметру, що сприяє швидкому стіканню води; можливість передбаченої попередньої відсівки води шляхом обертання корзини преса; завдяки системі ланцюгів рішення віджим відбувається без необхідності відкривати прес; іншим плюсом є велика ємність цих пресів, що перевищує вертикальні преси значно. Корзина пресу вміщує до 5000 кг сировини.

Горизонтальний прес від компанії Colin (Франція) (зображений на рисунку 1.2) популярний у Франції, Швейцарії та інших західноєвропейських країнах. У нього два диски: один з гідравлічним, інший – з механічним приводом. Вісь 2 корзини зафіксована нерухомо в корпусі і на $\frac{3}{4}$ своєї довжини (з одного боку) має різьблення для переміщення пресуючого диска 4. Екстремальне положення диска фіксується вимикачем та обмежено гайкою. Гідравлічний механізм 5 складається з гідравлічного циліндра і поршня. Циліндр закріплений нерухомо на осі корзини, а поршень виконує зворотно-поступальний рух. Вільний кінець поршня пов'язаний з гідравлічним пресуючим диском.

Корзина 3 пресу складається з барабана, що складений з дубових планок, розташованих на сталевих обручах 7. Пресуючі диски зафіксовані з обох боків корзини. Для завантаження та вивантаження сировини передбачені два люки зі знімними кришками 9. Механізм перемішування (спушення) сировини складається з трьох великих 10 та двох малих 11 сталевих обручів, які з'єднані ланцюгами 12. Натяг цих ланцюгів (за допомогою зміни напрямку руху двигуна) регулюється для спушення сировини. У нижній частині станини, під корзиною, розташований жолобчастий приймальний лоток 6 для води та жмиху. В самому приймачі встановлений шнек 13 для видалення жмиху.

Сировину завантажують через люки преса, коли диски знаходяться у крайньому положенні. У цей час вода відводиться до збірника. Щоб забезпечити кращі умови для стоку води з верхніх шарів сировини, люки закриваються перед початком пресування, а корзина повертається на 180° . Пресування розпочинається після цього, одночасно обертаючи корзину. Варіатор швидкостей дозволяє регулювати кутову швидкість корзини від 0,4 до 0,9 рад/с (4-9 об/хв).

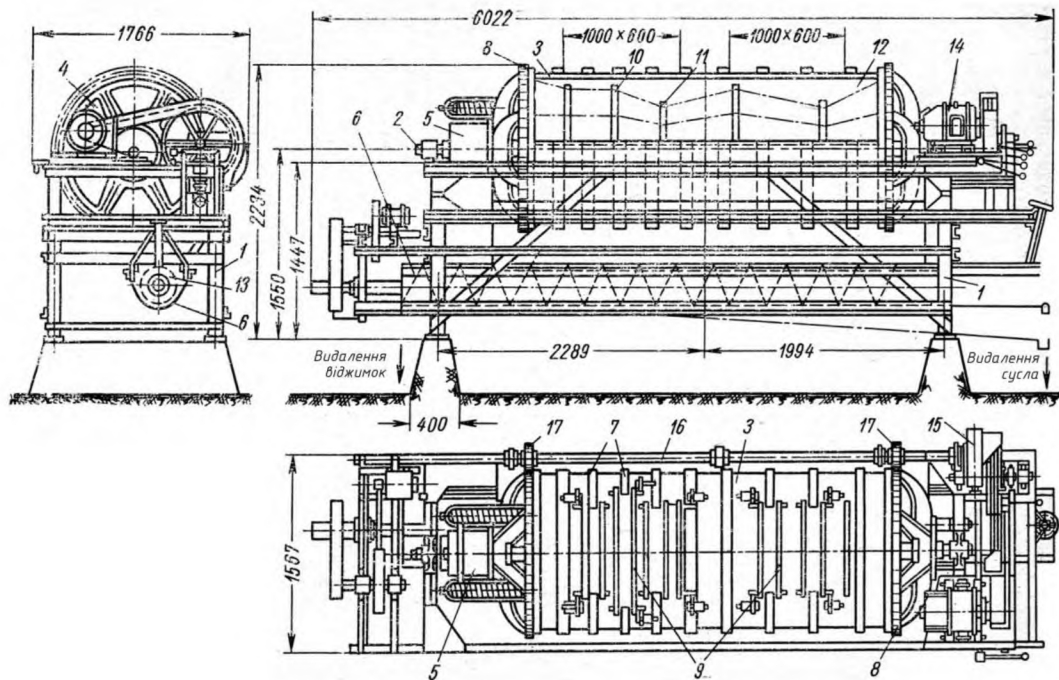


Рисунок 1.2 Гвинто-гідравлічний прес Colin: 1 – станина; 2 – вісь;
 3 – корзина; 4 – пресуючий диск; 5 – гідравлічний пресуючий механізм;
 6 – лоток; 7 – обруч; 8 – зубчате колесо (ведене); 9 – кришки; 10,11 – обручі;
 12 – ланцюги; 13 – шнек; 14 – електродвигун; 15 – редуктор; 16 – приводний вал;
 17 – зубчате колесо (ведуче)

Преси можуть бути однокорзинними, двокорзинними або трьохкорзинними, в залежності від кількості корзин. Під час віджимання однієї корзини інші завантажуються та розвантажуються. На рисунку 1.5 показана схема управління вертикальним пресом нижнього тиску. Перед запуском насоса клапан 14 розподільника 15 щільно закривається. Робоча рідина поступає в циліндри низького та високого тиску, а потім через труби подається в циліндр і розподільник. За допомогою підвищення тиску в системі плунжер піднімається вгору з корзиною.

Відбувається пресування. Коли тиск в системі досягає 6 Мн/м^2 (60 кг/см^2), циліндр низького тиску 11 вимикається. Рідина поступає тільки через циліндр високого тиску. Після досягнення в системі тиску 18 Мн/м^2 (180 кг/см^2) циліндр високого тиску також вимикається. Для опускання корзини

достатньо відкрити штурвалом 13 клапан 14, тоді робоча рідина зіллється через зливну трубу 12, а плунжер під дією власної сили тяжіння (під власною вагою) опуститься. Робоча рідина з циліндра 1 витісняється плунжером по трубі 3 й, пройшовши через розподільник 15, по зливній трубі 12 поступає в бак 5. Робоча рідина, просочується через манжету, зливається в бак самопливом по трубі 4 .

1.4 Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень технічних засобів для зневоднення сапропелю

Аналіз літературних джерел показав, що технічні засоби для зневоднення вивчені та становлять певний інтерес при дослідженні машин, що будуть використовуватись для зневоднення сапропелю. Розглянемо більш детально.

Продуктивність гідравлічного перса можна визначити за такою формулою:

$$\Pi = \frac{m_0 z_{\Pi} z_p}{t_{\Pi}}, \quad (1.1)$$

де m_0 – маса продукції, що завантажується, кг;

z_{Π} – кількість пакетів у ряду;

z_p – кількість рядів пакетів, на одну каретку;

t_{Π} – тривалість робочого циклу, год.

У напівзакритих пресах рідина виходить через отвори у спеціальних плитах. У закритих гідравлічних машинах є циліндр з зеєрним або щілинним розташуванням, куди вкладають пакети з продукцією. Під час роботи рідина виходить через отвори у стінках циліндра. Для цих машин можна обчислити продуктивність як :

$$\Pi = \frac{m}{t_{\Pi}}, \text{ г/год,}$$

де m – маса продукції, котра одночасно завантажується до робочої ємності:

$$m = \frac{\pi D^2}{4} \rho (H - zh), \text{ кг}, \quad (1.2)$$

де D, H – відповідно діаметр та висота робочого циліндра, м; ρ – густина продукції, кг/м³;

z – кількість металевих прокладок, які одночасно закладаються у циліндр;

h – товщина металевої прокладки, м.

Продуктивність кошикового преса періодичної дії можна визначити за наступною формулою [8]:

$$\Pi = \frac{0,25 z_k \pi D_k^2 H \rho \psi T_{зм}}{k t_{ц}}, \quad (1.3)$$

де z_k – кількість кошиків преса;

D_k – внутрішній діаметр кошика, м;

ψ – коефіцієнт заповнення кошика: для винограду $\psi = 0,75$, для мезги $\psi = 0,85$;

k – коефіцієнт, що враховує простой за час зміни T : при $z_k = 1$, $k = 1$, за $z_k = 2$, $k = 1,2$; при $z_k = 3$, $k = 1,3$.

Витрати енергії на роботу становлять [8]:

$$N = \frac{Q_p P k_3}{1020 \eta}, \text{ кВт} \quad (1.4)$$

де P – питомий тиск робочої рідини на плунжер преса, Па;

η – ККД насоса з приводом;

k_s – коефіцієнт запасу потужності;

$$Q_p = \frac{\pi D^2}{4} v_n + q \text{ – витрати робочої рідини, м}^3/\text{с}$$

v_n – швидкість руху плунжера при пресуванні, м/с;

D – діаметр плунжера, м;

q – втрати рідини через нещільності, м³/с.

Зусилля пресування вираховують за формулою:

$$F_n = 0,9 p S, \quad (1.5)$$

де p – тиск пресування, Н/м²;

S – площа поперечного перерізу плунжера, м²;

0,9 – коефіцієнт, що враховує втрати на тертя.

Для рівномірної роботи гідравлічного преса застосовують вантажні акумулятори, необхідна вага якого становить [8]:

$$G = S_a p, \text{ Н}, \quad (1.6)$$

де S_a – площа перерізу плунжера акумулятора, м²;

p – тиск рідини в трубопроводі, сполученому з пресом, Н/м²

Розрахунок гідравлічного вираховується таким чином.

Корисна сила пресування:

$$P_n = q \frac{\pi D_k^2}{4}, \quad (1.7)$$

де D_k – діаметр корзини;

q – питомий тиск на пресований продукт.

1.5 Постановка питання, мета та завдання дослідження

Ми розробляємо прес-камеру для механічного віджиму сапропелю. У процесі роботи цієї камери передбачені такі кроки: завантаження вологого сапропелю, його ущільнення, відведення вільної води та подальше

вивантаження для подальшої обробки. При дозуванні та додаванні верхового торфу мають бути виконані такі вимоги: Прес-камера має бути придатна для використання в будь-яких природнокліматичних зонах країни та може бути встановлена в місцях видобутку або на етапах переробки матеріалу. Ущільнення здійснюється за допомогою тиску в самій камері за допомогою домкрата. Прес-камера повинна відповідати передовим технологіям та конструкціям, які використовуються, забезпечувати комфорт у використанні та відповідати вимогам робочого середовища. Матеріали, використані у виготовленні, повинні відповідати стандартам міністерства транспорту і с/г машинобудування та легко очищатись після зупинки робочих органів. Для цієї прес-камери необхідно провести наступні види технічного обслуговування: щоденне, ТО-1, ТО-2, після сезонне ТО. Час готовності обладнання до використання після транспортування не повинен перевищувати 5 люд.-днів. Метою є дослідження процесу віджиму сапропелю та створення прес-камери на основі теоретичних та експериментальних даних. Для досягнення цієї мети сформульовані наступні завдання:

1. Аналіз технологій зневоднення та конструкцій для цього.
2. Дослідження процесу зневоднення сапропелю шляхом віджиму.
3. Розробка складного креслення гідравлічного преса.
4. Створення лабораторної установки гідравлічного преса.
5. Проведення досліджень процесу віджиму сапропелю на дослідній установці, визначення параметрів оптимізації відтиску вологи, таких як навантаження та час під певним навантаженням.

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ЗНЕВОДНЕННЯ САПРОПЕЛЮ ПРИРОДНЬОЇ ВОЛОГОСТІ

2.1 Аналіз процесу зневоднення сапропелю

Сапропель у природньому стані має високу вологість яка сягає 98 %. Для практично використання сапропелів, їх необхідно зневоднити.

Відповідно до теоретичних положень ряду робіт (Луцик Р.В., Грабовець В.В.) рідина у матеріалі може утримуватись різними видами зв'язків [17]. Проблема полягає у тому, що волога, яка виділяється механічно, становить лише незначну частину від загальної маси колоїду. Це вільна волога, при цьому відносна вологість сапропелю становить 80-85%, а максимальна – 96-98% .

Принцип пресування матеріалів з метою їх зневоднення за рахунок зовнішнього тиску використовується таких випадках:

- а – коли рідина являє собою більшу цінність, ніж сам матеріал;
- б – коли наявність рідини у твердій фазі зменшує цінність останньої.

Процес зневоднення супроводжується виділенням рідкої фракції та зменшенням як маси, так і об'єму сапропелю, що знаходиться під тиском. При цьому видаляється вільна вода, яка має механічний зв'язок з твердим залишком. На процес зневоднення сапропелю, залежно від родовища, впливають певні фізико-механічні властивості.

Під час реалізації процесу зневоднення рідина почне виділятися у випадку коли величина дії зовнішніх сил подолає сили опору структури матеріалу. На початковій стадії процесу виділяється максимальна кількість рідини. В подальшому швидкість виділення зменшується та виділення рідкої фракції

припиняється. Мінімальна кількість рідини, яка міститься у залишку за цих технологічних умов, є критерієм оцінки процесу відтискування і називається рівноважною вологістю.

Рівноважну вологість для сапропелів визначимо із графічної залежності (рисунок 2.1), що являє собою степеневу функцію.

2.2 Обґрунтування конструкції преса

Для зневоднення сапропелів природньої вологості пропонується використати в якості пристрою для зневоднення сапропелів корзинний прес із періодичною дією.

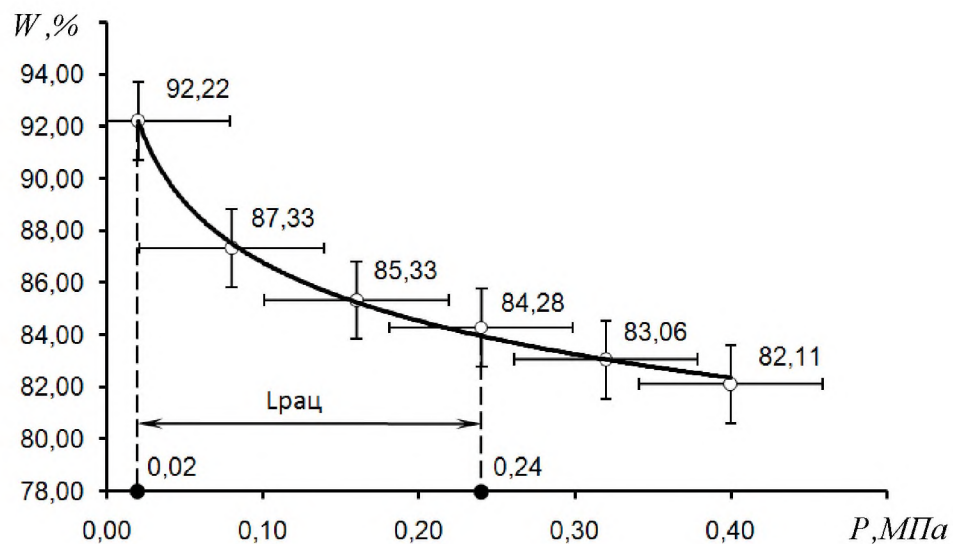


Рисунок 2.1 Залежність зміни вологості сапропелю W від тиску на його поверхні P

Основні переваги конструкції пресу корзинного пресу:

- збереження початкової консистенції сапропелю;
- надання довільної вихідної форми сапропелю ;
- простота конструкції.

Корзинний прес (рисунок 2.2) використовується для зневоднення сапропелю безпосередньо для переробки матеріалу із вологістю 96...98%. Сапрпель подається у камеру пресування, заповнюючи міждисковий її простір. Для збільшення продуктивності пресу відтискання завантаженої порції сапропелю, який розміщений між перегородками в камері проводиться однократно. Під час поверненні поршня у початкове положення здійснюється розвантаження камери та завантаження нової порції сапропелю. Вологість зневодненого сапропелю становить 80...85%. Необхідні параметри технологічного процесу пресування забезпечуються гідроапаратурою і виконавчими механізмами [8].

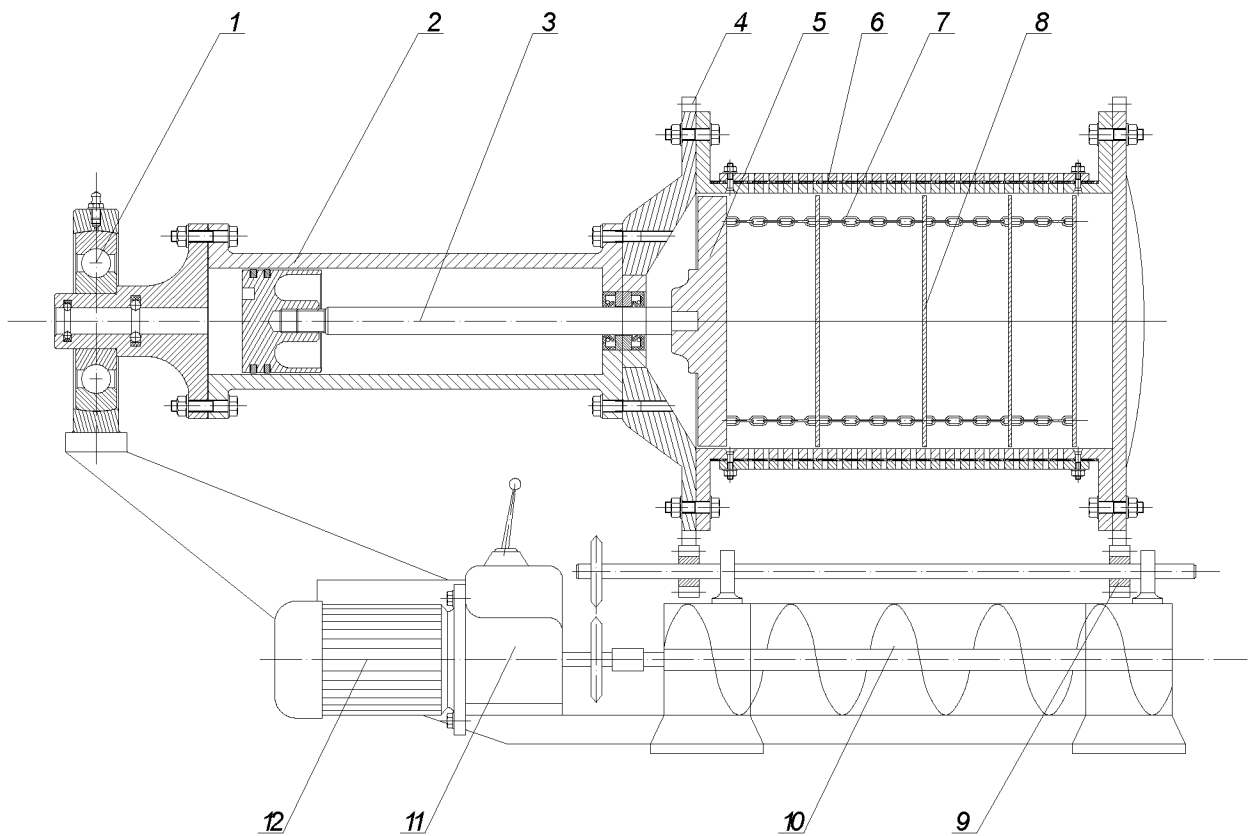


Рисунок 2.2 Схема корзинного преса: 1 – підшипниковий вузол;
 2 – гідроциліндр; 3 – шток гідроциліндра; 4 – зубчастий вінець; 5 – поршень;
 6 – накладка; 7 – ланцюги; 8 – циліндричні перегородки; 9 – привідні зубчасті
 ролики; 10 – вивантажувальний шнек. 11 – привідний редуктор;
 12 – електродвигун

Конструкція преса передбачає наступні основні складові елементи: корзина, пресуючий диск, робочий гідроциліндр, шнековий транспортер для вивантаження відтиснутого сапропелю і привід. Корзина камери пресування складається із перфорованого циліндра із зовнішньою накладкою, яка охоплює циліндр камери та складається із двох половин. Між циліндром накладкою затиснуто фільтрувальний матеріал. У корзині камери пресування передбачено люк для завантаження та вивантаження озерного сапропелю. Під час процесу пресування корзина здійснює обертовий рух. Крутний момент передається камері пресування від привідних роликів, які приводяться рух від привідного редуктора.

Орган пресування має трієрний циліндр. Торцева частина пресу виготовлена у вигляді глухої кришки. Під камерою пресування розміщено шнековий транспортер. Після закінчення процесу пресування люк корзини відкривають та повертають люком в низ на шнековий транспортер.

У конструкції пресу передбачено два збірника вільної води: один розташований під бункером, інший під циліндром преса.

Технічна характеристика пресів аналогів наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика пресів

Показники	П-11	ПНД-59	ПМ-412	ВПД-7
Продуктивність, т/год.	3,5	4,2	4,2	7 -9
Максимальний питомий тиск на матеріал, Мн/м ² (кгс/см ²)	1,2 (12)	1,4 (14)	1,2 (12)	1,8 (18)
Потужність привода, кВт	6,62	7,00	7,00	7,00
Габаритні розміри, мм:				
довжина	2575	2600	2350	4230
ширина	990	870	1115	1120
висота	1050	1260	1035	1770
Маса в кг.	1290	1480	1250	1564

2.3 Теоретичні дослідження процесу зневоднення сапропелю

Л.Л. Гельгаром досліджено вплив параметрів пресування на швидкість віджиму виноградної мезги. Відвід вільної води через філь'ери запропонованої конструкції наведено на рисунку 2.3 [8].

Експериментальними дослідженнями встановлено, що зміна форми отворів перфорованої поверхні робочих органів пресів не впливає на швидкість процесу зневоднення. Найменший розмір отворів некруглої форми для перфорації робочого органу не повинен перевищувати 3 мм за оптимального значення 1,5-2 мм.

Відповідно приймаємо отвори круглої форми із діаметром 2мм. Зміна величини живого січення отворів перфорованої поверхні у межах 5-17% не приводить до збільшення швидкості зневоднення сапропелю. При зменшенні живого перетину із 5 до 3% середня швидкість зневоднення сапропелю знижується на 3%, і відповідно тривалість процесу пресування збільшується на 12-15%.

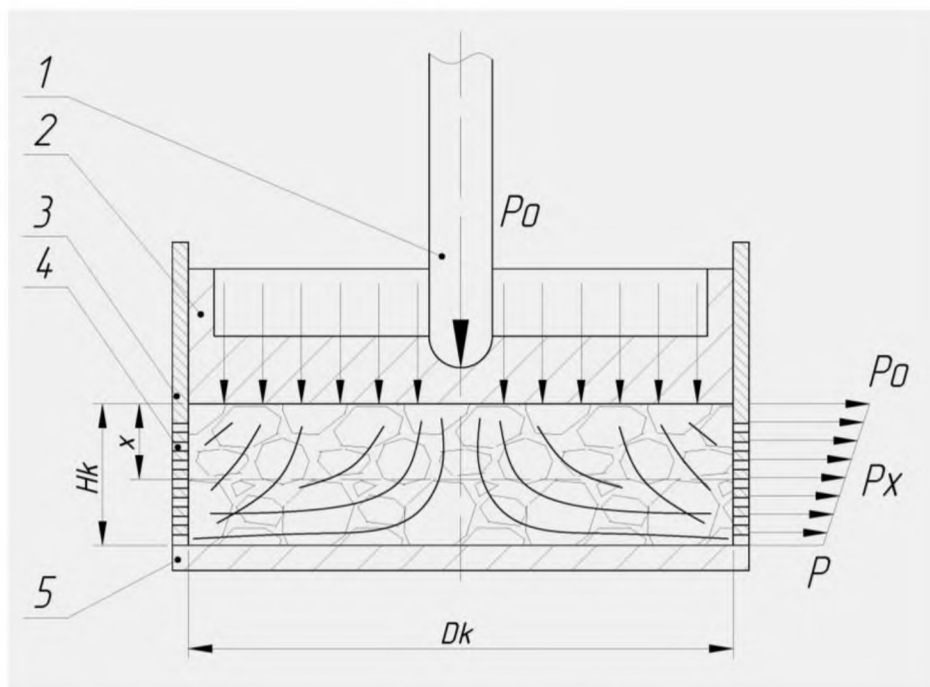


Рисунок 2.3 Схема протікання процесу пресування матеріалу та розподіл тисків по товщині шару: 1 – шток; 2 – поршень; 3 – прес-камера; 4 – фільєри; 5 – днище

Зменшення середньої швидкості зневоднення при перерізу дренажного контуру, рівному 3%, можна пояснити збільшенням довжини шляху виходу вільної води в шарі, безпосередньо прилеглому до контуру, який чинить значний опір проходженню рідини. Рекомендована загальна величина живого перетину 5–8%.

Аналіз експериментальних даних показує, що ефективний відвід води починається за проходження поршня віддалі «х» (рисунок 2.3). При такому положенні еквівалентна товщина шару матеріалу $h_{\text{екв}} = Hk$ зменшується на таку ж саму величину. Відповідно тиск, що сприяє ефективному відводу води не є максимальний, однак розподіл тисків по ширині шару матеріалу залежить від максимально ефективного P_0 .

Однак розглянувши процес зневоднення сапропелю (рисунок 2.4) на компресійно-фільтраційній – установці, було встановлено, що при початковій товщині шару $h_{\text{екв}} = Hk = 40\text{ мм}$, поршень зупинився на відмітці 30 мм, що відповідало максимальному тиску у 0,4 МПа та становило 75% еквівалентної товщини.

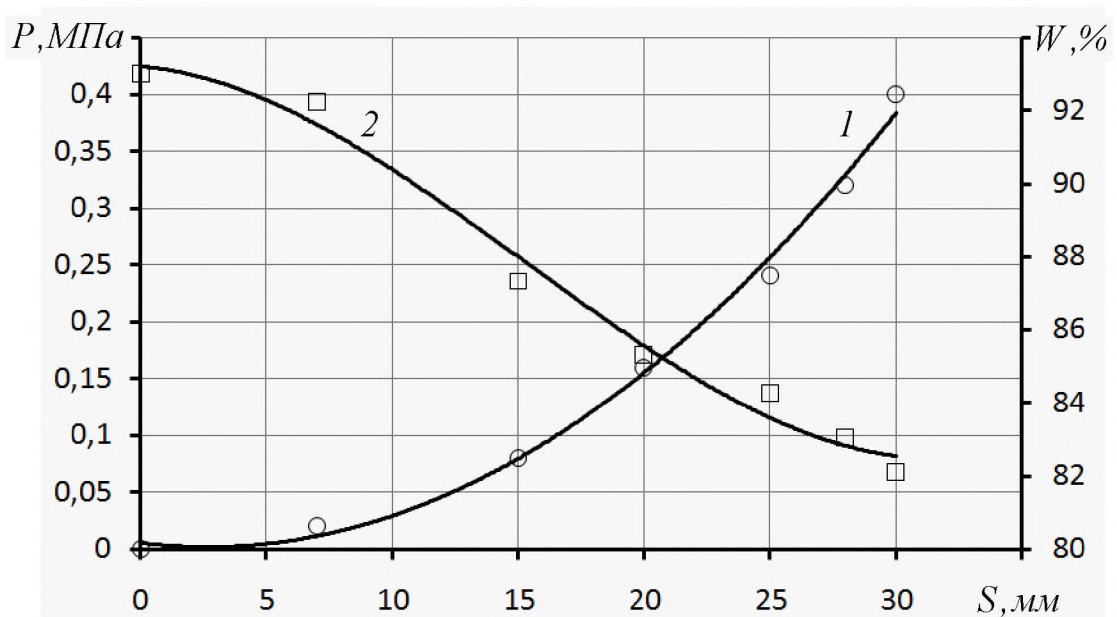


Рисунок 2.4 Залежності зміни питомого тиску P на поверхню пресування 1 та вологості W , 2 від переміщення S поршня компресійно-фільтраційної установки.

Можна зробити висновок, що переміщення поршня корзинного преса повинно становити 0,75% висоти камери тиснення корзини. Використавши метод графічного диференціювання, одержимо графічне відображення швидкості зневоднення сапрорелю природньої вологості dW / dS .

Використовуємо метод графічного диференціювання, отримаємо графічне зображення швидкості зневоднення сапрорелю природньої вологості dW / dS від переміщення поршня, що являє тангенс кута нахилу кривої 2 на рисунку 2.5.

Під час аналізу виявлено, що ефективне переміщення поршня знаходиться в межах 10...20 мм, відповідно діапазон вологості сапрорелю рівний 90...84% за питомого тиску на поверхню 0,04...0,2 МПа.

При різкому зменшенні товщини шару матеріалу збільшення швидкості зневоднення не компенсується швидким зниженням навантаження преса, відповідно тонкошарове пресування раціонально використовувати лише у пак пресах (Л.Л. Гельгар).

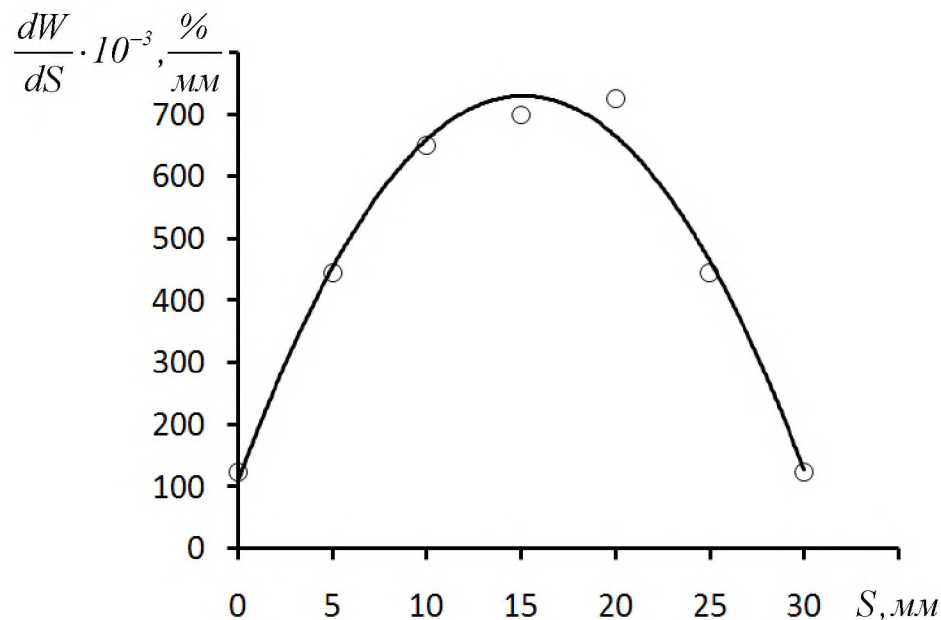


Рисунок 2.5 Крива швидкості зневоднення сапрорелю природньої вологості

Відповідно область критичного тиску пресування лежить в межах 0,2–0,4 МПа (2–4 кгс/см²).

Тривалість відтискиння сапропелю у момент, коли поршень пресу досягає граничного нижнього положення, можна встановити на основі експериментальних даних.

Рідина, що відтискується, повинна пройти, складний шлях в масі матеріалу по системі капілярів, величина перерізу яких змінюється під час пресування. Відповідно мають місце явища, які властиві процесу фільтрації та описуються рівнянням Пуазейля для руху рідини у капілярах [8]:

$$V = \frac{\pi p r^4 S t}{8 \mu l}, \quad (2.1)$$

де V – об'єм рідини, що протікає за час t , м³;

p – втрати тиску у капілярах, Па;

r – радіус капіляра, м;

n – кількість капілярів на одиницю площі шару матеріалу;

μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с;

l – довжина капіляра, м.

Із рівняння (2.1) слідує, що прискорення зневоднення сапропелю можливо шляхом збільшення тиску пресування та зменшення товщини шару матеріалу. Збільшення проценту виходу вільної води із сапропелю при нагріванні відмічено у роботі Грабовця В.В. Явище відтискування більш складне, ніж явище руху рідини в капілярі.

Тиск, який сприймає маса продукції, становить [8]:

$$P = P_p + P_t, \quad (2.2)$$

де P_p – тиск, що сприймається рідиною;

P_t – тиск, що сприймається твердою фазою .

В початковий момент відведення рідини її рух буде ламінарним та зі сталим коефіцієнтом швидкості [8]:

$$P_p = \frac{AC}{t^b}, \quad (2.3)$$

де A, b – сталі, що залежать від виду матеріалу;

$C = \frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості руху рідини, с^{-1}

Тиск, який сприймається твердою фазою, залежить від ступеня її стискання [8]:

$$P_t = E_t \cdot P = \frac{P^2}{E}, \quad (2.4)$$

де E_t – відносне стискання матеріалу ;

E – модуль пружності фази при стисканні.

2.4 Визначення оптимальних параметрів корзинного пресу

Від силових та геометричних параметрів камери пресування суттєво залежать і якісні показники роботи преса. Розглянемо розрахункову схему корзинного преса (рисунок 2.7.)

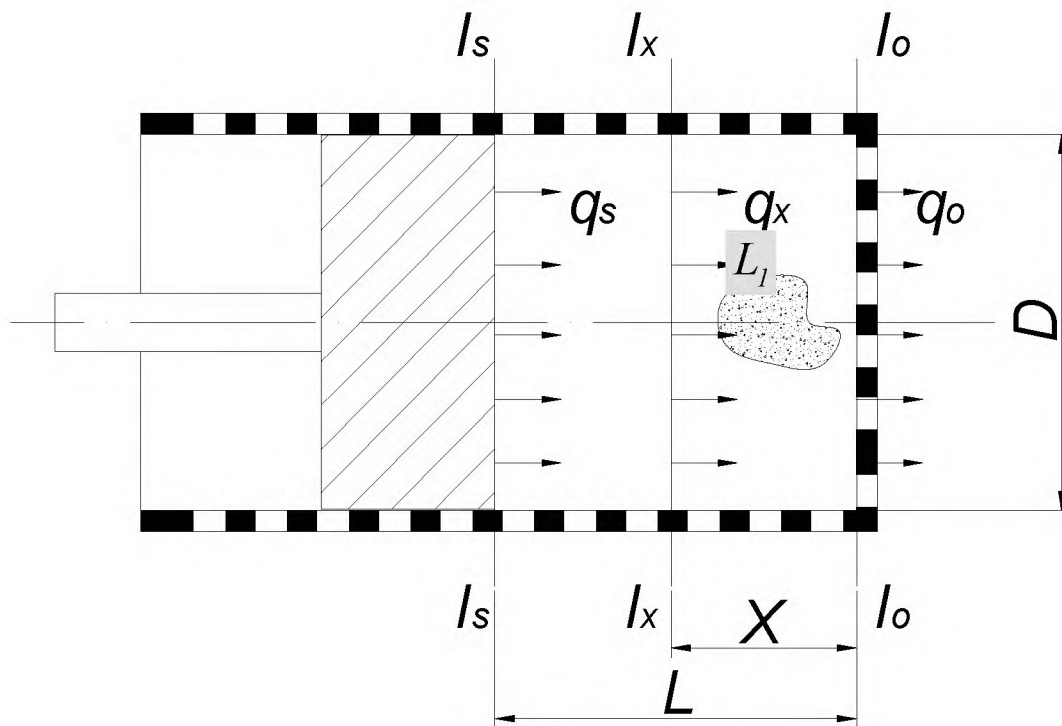


Рисунок 2.7 Розрахункова схема до визначення параметрів камери тиску

Позначимо геометричні параметри камери тиску через D та L , а силові параметри позначимо через q_0, q_x і q_s :

де D – внутрішній діаметр циліндра камери тиснення, м;

L – довжина камери тиснення, м;

q_0 – осьовий питомий тиск сапропелю (у площині $I_0 - I_0$), МПа;

q_x - осьовий питомий тиск сапропелю в довільному перетині ($I_x - I_x$) камери, яка віддалена від вихідного отвору на відстані x , в МПа;

q_s – осьовий питомий тиск сапропелю, МПа.

Так як величина тиску на днищі камери менша від величини на поверхні, то залежності матимуть такий вигляд :

$$q_0 = P / F, \text{ МПа}, \quad (2.18)$$

де P – осьове зусилля на матеріал в перерізі 0-0;

F – площа поперечного перерізу камери тиску, м²;

Значення q_x становить:

$$q_x = q_0 e^{Bx}, \quad (2.19)$$

де B – коефіцієнт, що характеризує конструкцію камери тиснення, м⁻¹.

e – основа натуральних логарифмів;

Коефіцієнт B визначається із залежності [9]:

$$B = E \left(\frac{S}{F} f + \frac{S_l}{F} f_l \right), \quad (2.20)$$

де $E = 0,85$ – коефіцієнт бічного розпору мапропелю;

S – периметр циліндра камери тиснення, м;

S_l – периметр стакану, м;

$f = f_l = 0,54$ – коефіцієнти тертя матеріалу.

Питомий тиск q_s , що визначається параметрами камери та властивостями сапропелю становить:

$$q_s = q_0 e^{BL}. \quad (2.21)$$

Вище наведена залежність характеризує роль q_0 в процесі пресування.

Обґрунтований вибір тисків q_0, q_x та геометричних розмірів камери тиснення істотно впливають на основні показники роботи преса.

Для розрахунку оптимальних параметрів камери тиснення використаємо вище наведені залежності.

$$f_l = \alpha f, \quad (2.22)$$

$$d = \beta D, \quad (2.23)$$

де α і β – коефіцієнти пропорційності.

Тоді одержимо:

$$B = \frac{E}{F}(Sf + S_1f_1) = \frac{4Ef(1 + \beta\alpha)}{D(1 - \beta^2)}. \quad (2.24)$$

Після підстановки значення $x = L$ отримаємо:

$$q_s = q_0 e^{\frac{4Ef(1 + \beta\alpha)L}{D(1 - \beta^2)}}. \quad (2.25)$$

Після логарифмування, одержимо:

$$\ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right) = \frac{4Ef(1 + \beta\alpha)}{(1 - \beta^2)} \cdot \frac{L}{D}, \quad (2.26)$$

або:

$$\frac{L}{D} = \frac{(1 - \beta^2) \cdot \ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right)}{4Ef(1 + \beta\alpha)}. \quad (2.27)$$

Для камери тиснення, всередині якої немає стакана, отримаємо:

$$\frac{L}{D} = \frac{\ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right)}{4Ef}. \quad (2.28)$$

Тоді для камери тиску із стаканом відповідно до виразу:

$$\frac{L}{D} = \frac{(1-0.25)\ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right)}{4 \cdot 0.46(1+0.5)} = 0.27 \ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right), \quad (2.29)$$

а за відсутності стакану в камері ($\beta = 0$) отримаємо:

$$\frac{L}{D} = 0.54 \ln\left(\frac{q_s}{q_0}\right). \quad (2.30)$$

Із залежностей (2.29) і (2.30) випливає, що відношення головних геометричних параметрів камери L/B визначається натуральним логарифмом відношення q_s/q_0 . Рациональну величину відношення q_s/q_0 знаходимо виходячи із таких умов: сапрпель являється колоїдом, тверда фаза якої сильно стискається із зростанням питомого тиску пресування. За рахунок сильного стиснення твердої фази сапрпелю різко зростає опір виходу вільної води, і при деякому тиску, (критичний), подальше зростання швидкості зневоднення із зростанням тиску припиняється, а відповідно і зневоднення. Критичний тиск пресування $q_{кр}$ залежить від виду сапрпелю і лежить в межах питомого тиску, приймаємо його 0,5... 1 МПа.

Відповідно, при пресуванні сапрпелевої маси, значення q_s слід приймати з такої умови:

$$q_s \leq q_{кр} \quad (2.31)$$

Приймаючи до уваги, що зменшення q_s відносно критичного тиску пресування сприяє поліпшенню показників роботи корзинного преса, На основі викладеного приймаємо, що оптимальний тиск q_s рівний 0,2... 0,4 МПа.

В середньому для камери тиску із внутрішнім стаканом:

$$L = 0.75D, \quad (2.32)$$

і камери тиску без стакану:

$$L = 1.5D. \quad (2.33)$$

При розрахунку камери тиску корзинного преса та забезпеченні оптимальних умов роботи преса головні силові і геометричні розміри слід вибирати із наступних меж: $q_s = 0,2 \dots 0,4$ МПа, $q_0 = 0,02 \dots 0,04$ МПа, $L = (0,7 \div 0,8)D$.

Раціональні значення q_0 , приведені вище, відносяться до сталого режиму роботи корзинного преса.

Так як експериментальна установка виготовлена із внутрішнім діаметром камери тиску 0,25м, то її довжину, як камери тиску без внутрішнього стакану:

$$L = 1,5D = 1,6 \cdot 0,25 = 0,4 \text{ м.}$$

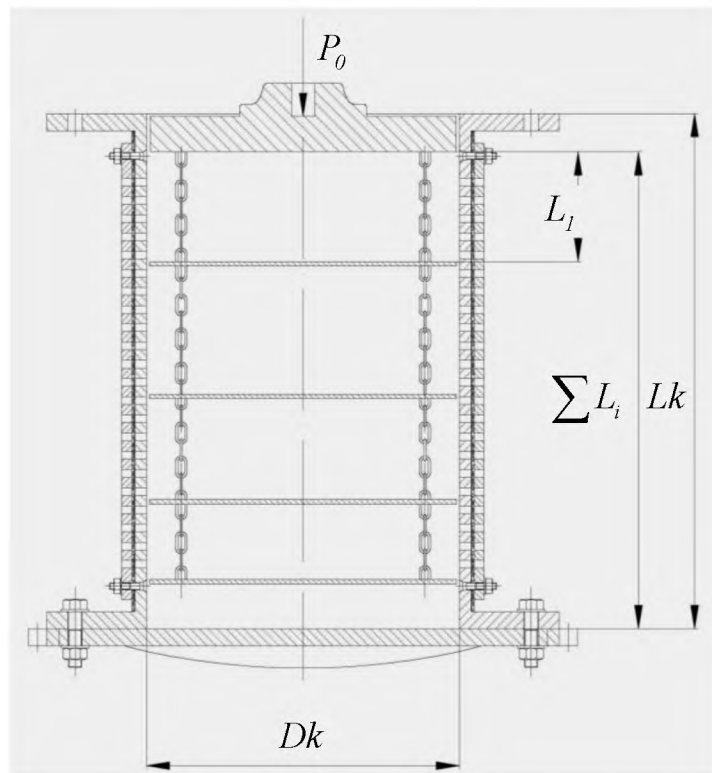


Рисунок 2.8 Схема до визначення параметрів камери тиску корзинного преса

Тиск на поверхні зразка матеріалу вибираємо в діапазоні $q_s = 0,2 \dots 0,4$ МПа, раціональний тиск виходу води:

$$q_0 = q_s / 10 = 0,2 / 10 = 0,02 \text{ МПа.}$$

На основі наведених формул будемо графічні залежності, на основі яких встановлюємо раціональні параметри камери тиску корзинного пресу.

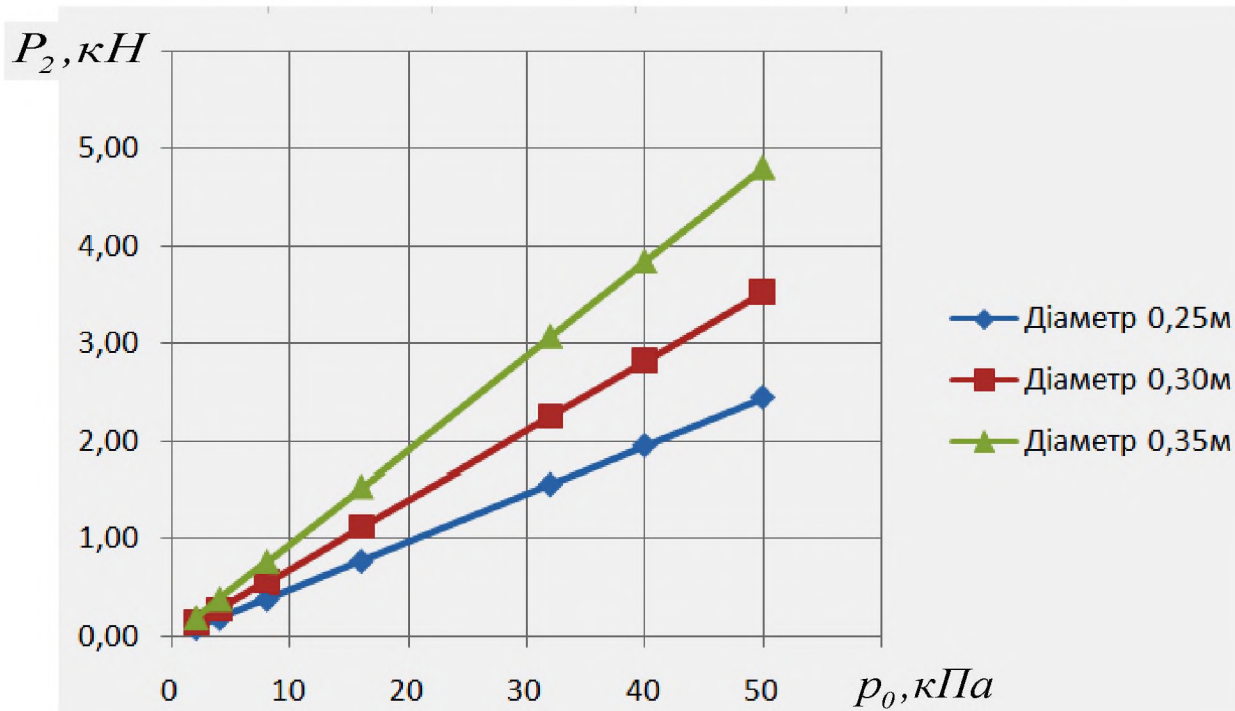


Рисунок 2.9 Залежність зусилля пресування від питомого тиску на поверхні зразка матеріалу

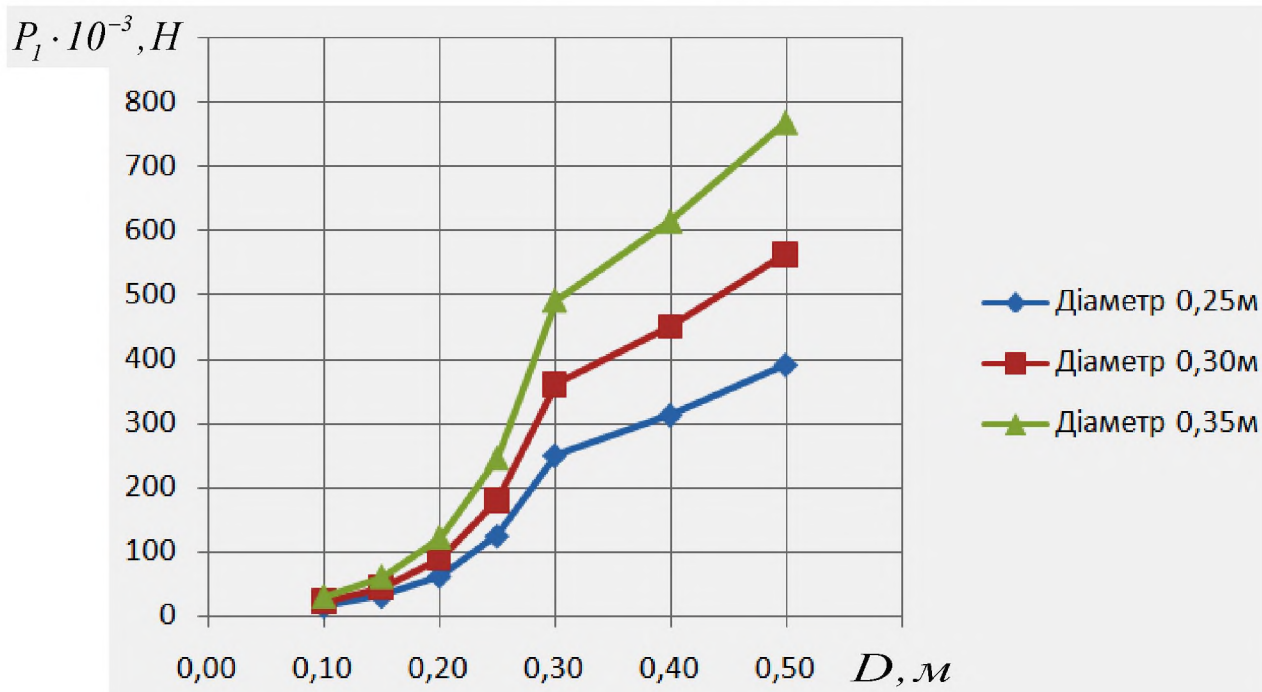


Рисунок 2.10 Залежність зміни зусилля на плунжері преса від діаметра поршня

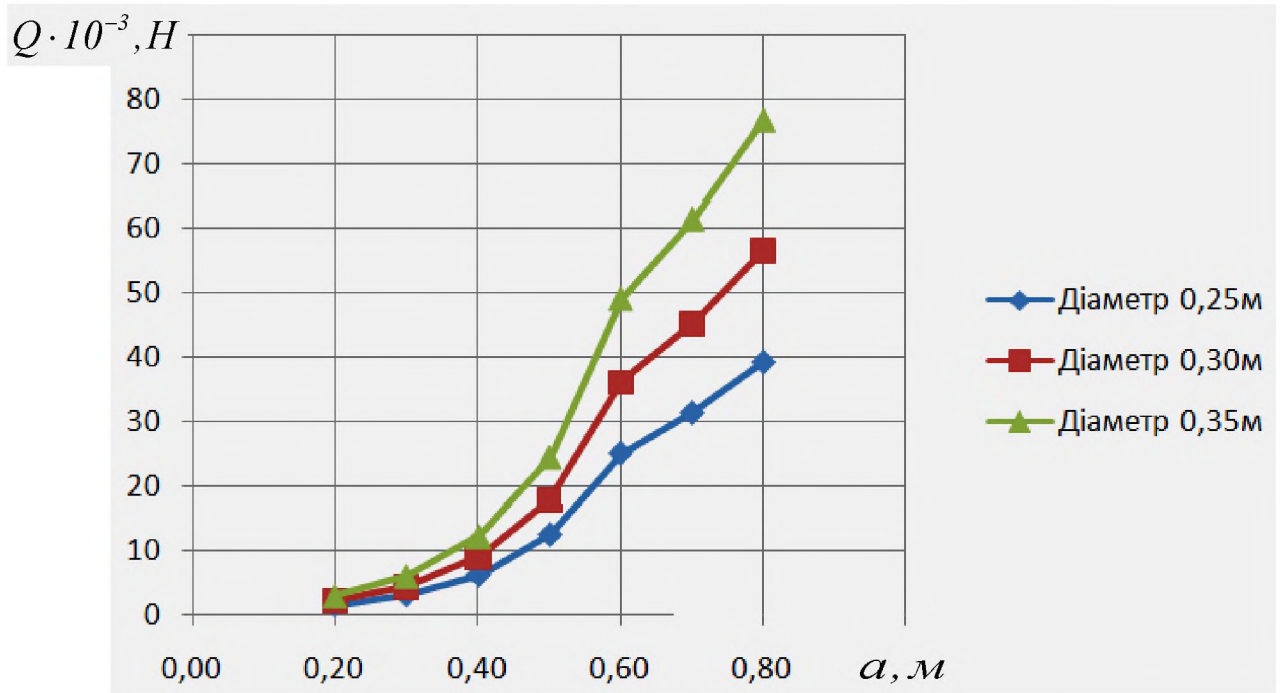


Рисунок 2.11 Залежність зміни зусилля на важіль преса від параметрів його складових довжин

2.5 Висновки

Збільшення діаметру отвору у циліндрах пресів у межах 1...6мм не супроводжується збільшенням швидкості виходу води із сапропелю, який пресується. Рациональні значення діаметру отворів для перфорованих робочих органів становить 2...3мм.

Зміна форми отворів перфорованої поверхні не впливає на швидкість зневоднення. Але із технологічної точки зору виконання отворів є найбільш прийнятним.

Для підвищення ефективності процесу зневоднення сапропелю природньої вологості та зниження енергетичних затрат, переміщення поршня повинно становити не більше від 75% висоти пресувальної камери.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Прилади обладнання та апаратура для проведення досліджень

Визначення вологості сапропелю проводили із використанням сушильної шафи СНОЛ 3,5. 3,5. 3,5/, лабораторних ваг ВЛКТ -500-М; а ивкож використовували і інше обладнання: алюмінієві бюкси, ексікатор, різні за об'ємом ємкості, совочок (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 Прилади та обладнання для визначення вологовмісту та вологості сапропелю

Дослідження процесу зневоднення сапропелю проводили за допомогою дослідної установки (рисунок 3.2 та рисунок 3.3). Дана дослідна установка складається із зварної рами 1, у якій розміщена пресувальна камера. Пресувальна камера складається із подвійної подвійної циліндричної посудини, внутрішня вставка 4 якої з'єднана із зовнішньою посудиною 3 різьбовими з'єднаннями, є перфорованою та може замінюватись. Зовнішня посудина пресувальної камери складається із зливного патрубку 5 для відводу витиснутої води із зразка сапропелю. В середині камери пресування розташований плунжер 6. Поверх плунжера встановлюється вертикально гідравлічний домкрат 2 із виведеним манометром 7. Для полегшення завантаження і вивантаження сапропелю у камеру пресування конструкція дослідної установки виконана розбірною.

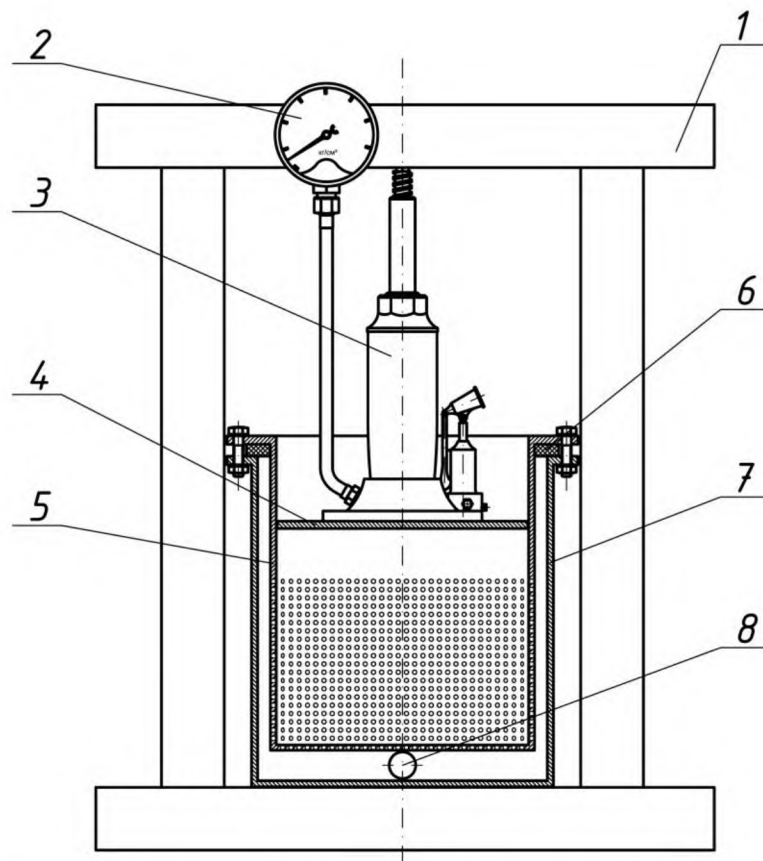


Рисунок 3.2 Схема дослідної установки для дослідження зневоднення сапропелю: 1 – рама; 2 – гідравлічний домкрат; 3 – зовнішня посудина пресувальної камери; 4 – внутрішня посудина пресувальної камери; 5 – зливний патрубок; 6 – плунжер; 7 – манометр; 8 – ущільнення



Рисунок 3.3 Фото дослідної установки для дослідження зневоднення сапропелю природньої вологості

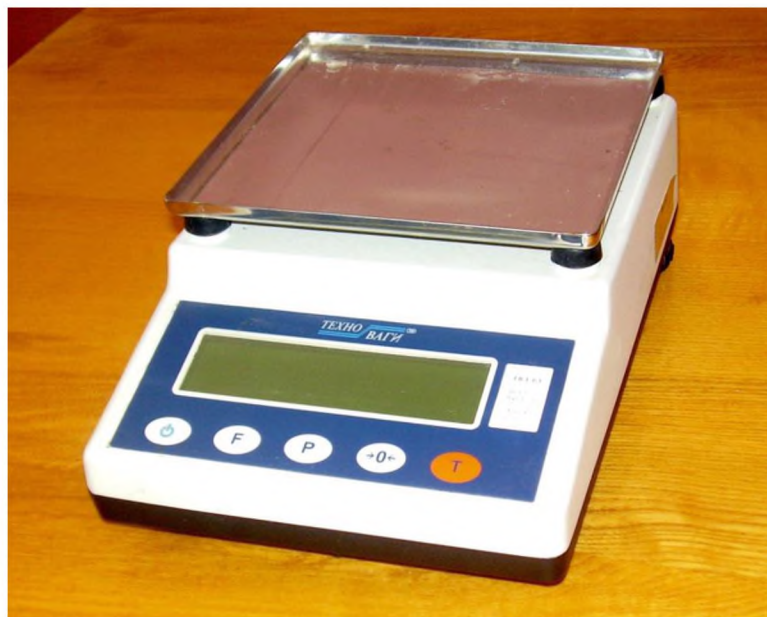


Рисунок 3.4 Фото техноваг ТВЛ-0,5

Для дослідження відтискання вологи з сапропелю використовували прилад КПр1.РЭ (рисунок 3.5), та лабораторні ваги ВЛКТ-500-М, секундомір, фільтрувальний матеріал і ніж-планувальник. Основним вузлом приладу КПр1.РЭ є одометр 8. Корпус одометра роз'ємний, він складається із днища 1 (рисунок 3.7), верхньої частини 3 і перфорованого дна 2. Днище і верхня частина об'єднуються різьбовим з'єднанням. Робоче кільце 10 приладу розміщується на перфорованому дні і прижимається стяжним кільцем 9. На зразок матеріалу, який поміщається у робоче кільце 10, вкладають штамп 6 із стійками 5 до яких гвинтами 8 кріпляться консолі 4 з індикаторами 7.

Навантаження зразка відбувається гирями, що вкладають на платформу навантажувальної підвіски 2 (рисунок 3.6), через сектор 3, тяговий трос 5 та рамку. Зрівноваження сектора 3 здійснюється переміщенням противаги 12 по різьбі важеля 11.

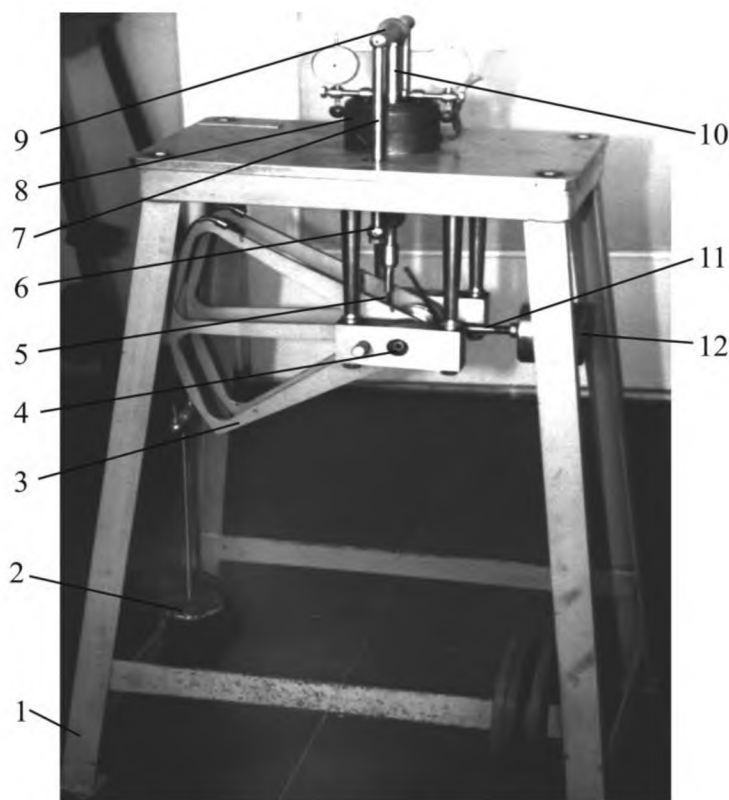


Рисунок 3.6 Загальний вигляд приладу компресійний КПр 1.РЭ: 1-стіл; 2-навантажувальна підвіска; 3-сектор; 4-палець; 5-трос тяговий; 6-нижнє коромисло; 7-стяжка; 8-одометр; 9-верхнє коромисло; 10-упор; 11-важіль; 12-противага

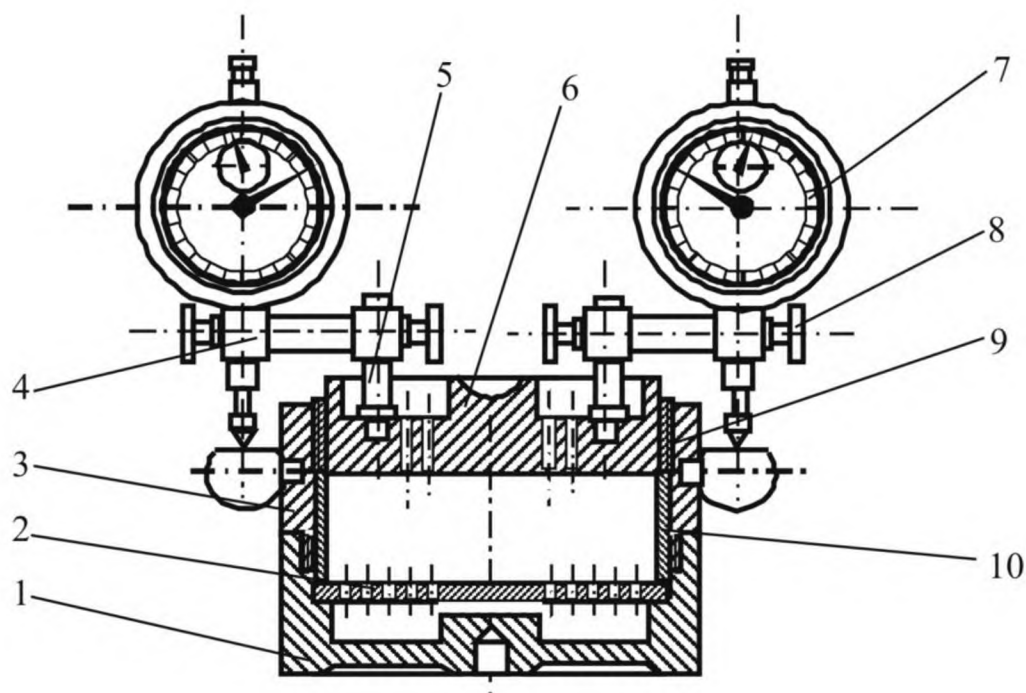


Рисунок 3.7 Схема одометра: 1-днище корпусу одометра; 2-дно перфороване; 3-верхня частина корпусу; 4-консоль індикатора; 5-стійка індикатора; 6-штамп; 7-індикатор; 8-гвинт; 9-стяжне кільце; 10-робоче кільце

3.2 Методика визначення вологості, вологовмісту та концентрації сухої речовини сапропелю

Визначення вологості, вологовмісту, та концентрації сухої речовини сапропелю проводили із використовували прилади та обладнання, що описані в п.3.1.

Відбирали зразок сапропелю природньої вологості масою 5 – 6 г в алюмінієві бюкси, попередньо просушені та протаровані, закривали їх кришкою і важили на технічних вагах. Після цього бюкси поміщали у нагріту до 100 ± 5 °C сушильну шафу. Сушіння сапропелю здійснювали до постійної ваги, яку встановлювали періодичним зважуванням: перше зважування здійснювали через 2 години, друге і та наступні зважування проводили через 1 годину. Перед кожним зважуванням бюкси, вийняті із сушильної шафи,

помішали у ексікатор для охолодження до кімнатної температури. У випадку, якщо різниця в масі не перевищувала 1 % від маси початкової наважки – дослідження припиняли.

Вологість сапропелю W визначали за наступною формулою:

$$W = \frac{m_e - m_c}{m_e} \cdot 100, \% , \quad (3.1)$$

де W – вологість сапропелю, %;

m_e – маса наважки вологого сапропелю, г;

m_c – маса тієї ж наважки сапропелю після висушування, г.

Концентрація сухої речовини визначалась згідно формули:

$$S = 100 - W, \% , \quad (3.2)$$

де W – вологість матеріалу, %.

Вологовміст сапропелю визначали згідно залежності:

$$w = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

3.3 Методика проведення зневоднення сапропелю природньої вологості відтисканням

Слабо зв'язана волога відділяється механічною дією на матеріал, зокрема прикладенням навантаження. Від величини прикладеного навантаження та тривалості дії навантаження залежить кількість вологи котра відділяється у процесі зневоднення.

Дослідження процесу зневоднення сапропелю природньої вологості механічним способом здійснювали за допомогою компресійно-фільтраційний прилад КПП 1 РЭ (рисунок 3.2) . Дослідження проводили для органічного типу сапропелю із початковою відносною вологістю 94%.

Перед початком проведенням експерименту прилад регулювальними гвинтами встановлювали у горизонтальне положення. Наважку сапропелю масою 100 ± 2 г поміщали у фільтрувальний матеріал і завантажували у робоче кільце одометра компресійно-фільтраційного приладу. Прикладене навантаження на сапропель змінювалось в порядку зростання та становило, відповідно: 5,7; 71; 136; та 201,8 кПа. Навантаження регулювали шляхом накладання гир на платформу навантажувальної підвіски. Тривалість прикладення навантаження при дослідженнях становила 10, 60, 120, 180, та 240 с. Після перебування сапропелю під навантаженням протягом зазначеного періоду проводили зважування зразка.

Вологість, вологовміст та концентрацію сухої речовини визначали згідно методики яка описана в п. 3.2. За отриманими результатами будували графічні залежності тиску $P = f(t)$ залежно від часу прикладання навантаження.

3.4 Методика випробування преса

Наважка сапропелю природньої вологості масою 8 кг \pm 50г, завантажувалася у фільтрувальний матеріал. Далі капроновий мішок зі зразком сапропелю природньої вологості завантажувався у пресувальну камеру.

Пресувальну камеру із завантаженим зразком сапропелю встановлюють у стійке положення в раму і встановлюють плунжер у камеру пресування . Поверх плунжера вертикально встановлювали домкрат із виведеним манометром так, щоб вершина штока домкрата була напрямлена в центр верхньої балки рами. Домкрат приводили в дію. В момент дотикання верхівки штока в верхню балку рами починають відлік часу, при цьому продовжують

навантажувати домкрат, у пресувальній камері відбувається процес відтискання. Максимальний тиск у пресувальній становив 3кг/см^2 . Після завершення часу від прикладання навантаження на плунжер камери пресування, гідравлічний домкрат розвантажували та демонтували. мішок з сапропелем. Камеру пресування вивільняють із рами та зливають із неї витиснуту воду, яку зважували на електронних вагах. Сапропель після відтискання видаляється із фільтрувального мішка.

3.5 Методика випробувань процесу відтискання води з сапропелю із застосуванням багатofакторного експерименту

Складність технологічного процесу відтискання води із матеріалів не дозволяє повністю визначити оптимальні режими роботи установки аналітичним методом. Тому, для встановлення впливу прикладеного тиску на процес зневоднення озерного сапропелю природньої вологості, площі перфорації та часу відтискання із сапропелю було проведено експериментальні випробування із застосуванням математичного методу планування експерименту.

Проведення повного трьохфакторного експерименту на трьох рівнях потребує проведення 15 дослідів. Для зменшення кількості використали некомпозиційний план реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку. Планування експериментального дослідження включало такі етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;
- реалізація плану експерименту згідно з матрицею планування;
- складання рівняння регресії для визначення коефіцієнтів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Фактори та рівні їх варіювання наведені в таблиці таблиці 3.1. План Бокса-Бенкіна розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: верхнього (+1), нульового (0) та нижнього (-1).

Дослідження проводили, згідно матриці планування експерименту (додаток В.)

Зв'язок між кодованими та натуральними значеннями факторів встановлювали згідно залежностей:

$$x_1 = \frac{\tau - \tau_0}{\varepsilon_1}; x_2 = \frac{P - P_0}{\varepsilon_2}; x_3 = \frac{S - S_0}{\varepsilon_3} \quad (3.4)$$

де x_1, x_2, x_3 , – кодові значення факторів, часу віджиму; тиску на матеріалу та площі перфорації стінок, із якими безпосередньо взаємодіє сапрпель під час віджиму;

τ, P, S – натуральні значення факторів, час віджиму, тиск на матеріал та площа перфорації стінок;

τ_0, P_0, S_0 – натуральні значення факторів на нульовому рівні;

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

Таблиця 3.1 – Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори		
	Час віджиму τ , с	Тиск на матеріал P , МПа	Площа перфорації S , м ²
	x_1 ,	x_2	x_3
Верхній (+1)	90	3,0	0,1473
Нульовий (0)	60	2,5	0,0982
Нижній (-1)	30	2,0	0,0491
Інтервал варіювання, ε	30	0,5	0,0491

Рівняння регресії мають такий вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3.5)$$

Коефіцієнти регресії визначено за такими формулами [13]:

$$b_0 = 0,33333 \sum_{j=1}^n y_j - 0,16667 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j; \quad (3.6)$$

$$b_i = 0,08333 \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j; \quad (3.7)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j + 0,0625 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j - 0,16667 \sum_{j=1}^n y_j; \quad (3.8)$$

$$b_{ir} = 0,25 \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{rj} y_j, \quad (3.9)$$

де j – номер дослідів в матриці планування;

n – кількість дослідів в матриці планування;

y_j – значення функції відгуку в j -му досліді;

k – кількість факторів;

x_{ij}, x_{rj} – кодовані значення i -го чи r -го фактору в j -му досліді;

i, r – номери факторів.

Визначення дисперсії коефіцієнтів регресії і їх коваріації здійснювали згідно формул [13]:

$$S_{b_0}^2 = 0,33333 S_y^2; \quad (3.10)$$

$$S_{b_i}^2 = 0,08333 S_y^2; \quad (3.11)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = 0,1875 S_y^2; \quad (3.12)$$

$$S_{b_{ir}}^2 = 0,25S_y^2; \quad (3.13)$$

$$cov_{b_0b_{ii}} = -0,16667S_y^2; \quad (3.14)$$

$$cov_{b_{ii}b_{rr}} = 0,0625S_y^2. \quad (3.15)$$

Перевірку значимості коефіцієнтів регресії здійснювали шляхом порівнювання абсолютної величини цих коефіцієнтів із їх довірчими інтервалами.

$$\Delta b_0 = t_{0,05;f_1} S_{b_0}; \quad (3.16)$$

$$\Delta b_i = t_{0,05;f_1} S_{b_i}; \quad (3.17)$$

$$\Delta b_{ir} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ir}}; \quad (3.18)$$

$$\Delta b_{ii} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ii}}, \quad (3.19)$$

де $t_{0,05;f_1}$ – табличне значення критерію Ст'юдента .

Коефіцієнт регресії вважали статистично значущим, у випадку коли його абсолютна величина більша довірчого інтервалу . Незначущі коефіцієнти видаляли із моделі (рівняння регресії).

Перевірка адекватності рівняння регресії здійснювалась за допомогою F_Φ – критерію Фішера:

$$F_{f_2;f_1}^{розр.} \leq F_{0,05;f_2;f_1}^{табл.}, \quad (3.20)$$

де $F_{0,05;f_2;f_1}^{табл.}$ – табличне значення критерію Фішера.

$f_2 = n - k'$ – число ступенів вільності дисперсії неадекватності. .

Розрахункове значення критерію Фішера рівне:

$$F_{f_2;f_1}^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}, \quad (3.21)$$

де $S_{неад.}^2$ – дисперсія неадекватності, яка визначена з f_2 - числом ступенів вільності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності експерименту, яка визначена з f_1 - числом ступенів вільності.

За матрицею планування експерименту, кількість дослідів на нульовому рівні трьом. Дисперсія відтворюваності експерименту рівна [13]:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0_u} - \bar{y}_0)^2}{f_1}, \quad (3.22)$$

де u – номер дослідів у центрі плану;

y_{0_u} – значення функції відгуку в u -му досліді в центрі плану;

\bar{y}_0 – середнє арифметичне значення функції відгуку отримане за результатами n_0 дослідів у центрі плану;

Дисперсію неадекватності визначали, користуючись наступною формулою:

$$S_{неад.}^2 = \frac{SS_{неад.}}{f_2}. \quad (3.23)$$

При розрахунку дисперсії $S_{неад.}^2$ враховували те, що при проведенні експериментів із усіх дослідів плану повторювався тільки один дослід. Відповідно, сума квадратів $SS_{неад.}$ рівна [13]:

$$SS_{неад.} = n_0 (y'_0 - \bar{y}_0)^2 + \sum_{j=1}^{n-n_0} (y'_j - y_j)^2, \quad (3.24)$$

де y'_0 – значення функції відгуку в досліді із центру плану.

y'_j – значення функції відгуку в j -му досліді;

y_j – значення функції відгуку в j -му досліді.

Вище наведена методика проведення експериментів згідно із планом Бокса-Бенкіна дозволяє отримати рівняння регресії процесу зневоднення сапропелю природньої вологості, шляхом відтискання у вигляді рівнянь регресії, функціями відгуку яких являється кількість витиснутої води із сапропелю.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати досліджень процесу віджиму сапропелю природної вологості

За результатами проведених експериментальних досліджень побудовано залежності зміни вологовмісту сапропелю (рисунок 4.1) і концентрації сухої речовини (рисунок 4.2) від величини прикладеного навантаження та часу його дії.

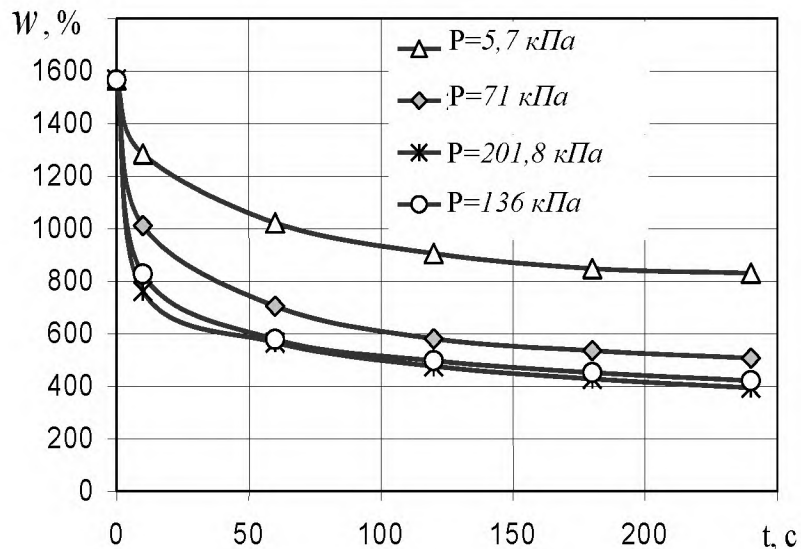


Рисунок 4.1 Графічна залежність зміни вологовмісту сапропелю w з часом

Аналіз отриманих кривих зміни вологовмісту (рисунок 4.1) та концентрації сухої речовини (рисунок 4.2) сапропелю дозволяє робити висновок, що кількість води яка видаляється із сапропелю прямо пропорційна величині прикладеного навантаження і тривалості дії навантаження. Процес зневоднення сапропелю проходить найбільш інтенсивно в перші 60с. прикладання навантаження. Далше відбувається затухання процесу зневоднення. Затухання процесу вказує на наявність у сапропелю

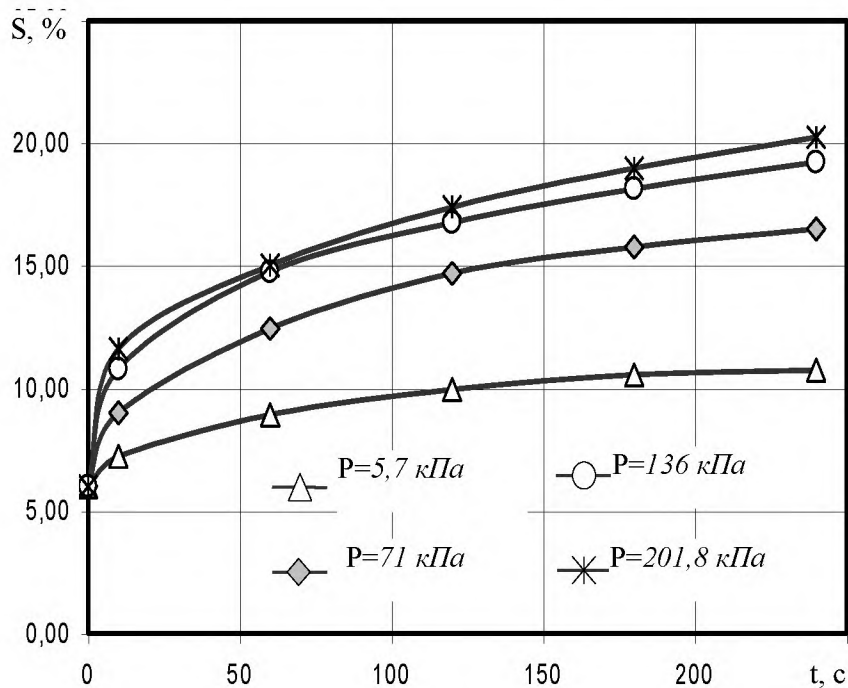


Рисунок 4.2 Графічні залежності зміни концентрації сухої сапропелю S з часом залежно від величини навантаження P

форм вологи із більшою енергією зв'язку, яка потребує збільшення затрат енергії на її видалення.

4.2 Результати лабораторно-виробничих випробувань процесу зневоднення сапропелю, шляхом віджиму

Мета проведення багатфакторного експерименту полягала у визначенні кількості води яка витиснута із сапропелю при змінні таких факторів, час відтискання сапропелю, тиск відтискання віджиму та площа перфорованих стінок камери пресування.

Обробка на результатів досліджень з допомогою програми Mathcad 14 (див. додаток В), дозволила отримати рівняння регресії кількості води яка витиснута із сапропелю:

$$y = 90,089 + 2,715 \cdot x_2 + 3,396 \cdot x_1 + 4,537 \cdot x_3 + 0,258 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,547 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,217 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,233 \cdot x_2^2 + 1,075 x_1^2 - 0,958 \cdot x_3^2 \quad (4.1)$$

де x_1 – кодоване значення часу відтискання;

x_2 – кодоване значення тиску на матеріал під час відтискання ;

x_3 – кодоване значення площі перфорованої поверхні;

Перевірка на адекватність рівняння регресії (4.1) проводилась за допомогою критерію Фішера F_ϕ .

Розрахункове значення F_ϕ – критерію Фішера рівне: $F_\phi = 3,023$ за дисперсії неадекватності $S_{неад2} = 0,931$ та дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 0,308$.

Табличне значення критерію Фішера, згідно з [13]:

$$F_\phi(0,05; f_2; f_1) = 3,023 \quad (4.2)$$

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

f_1 – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності ($f_1 = 2$).

Оскільки $F_\phi = 5,929 \geq F_\phi(0,05; f_2; f_1) = 3,023$, то отримана математична модель є адекватна.

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії проводили з використанням критерію Стюдента.

Критерій Стюдента склав $t(0,05; 2) = 4,3$ [10].

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії при дослідженнях становили:

$$\Delta b_0 = 1.377 \quad \Delta b_j = 0.843 \quad \Delta b_{jr} = 1.193 \quad \Delta b_{jj} = 1.241 \quad (4.3)$$

Рівняння регресії із факторами в натуральному:

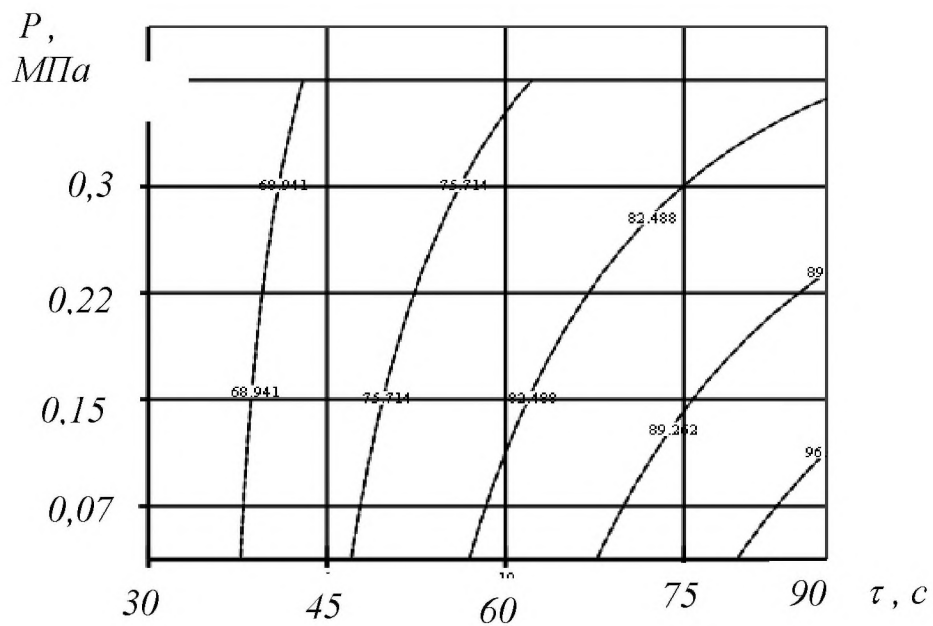
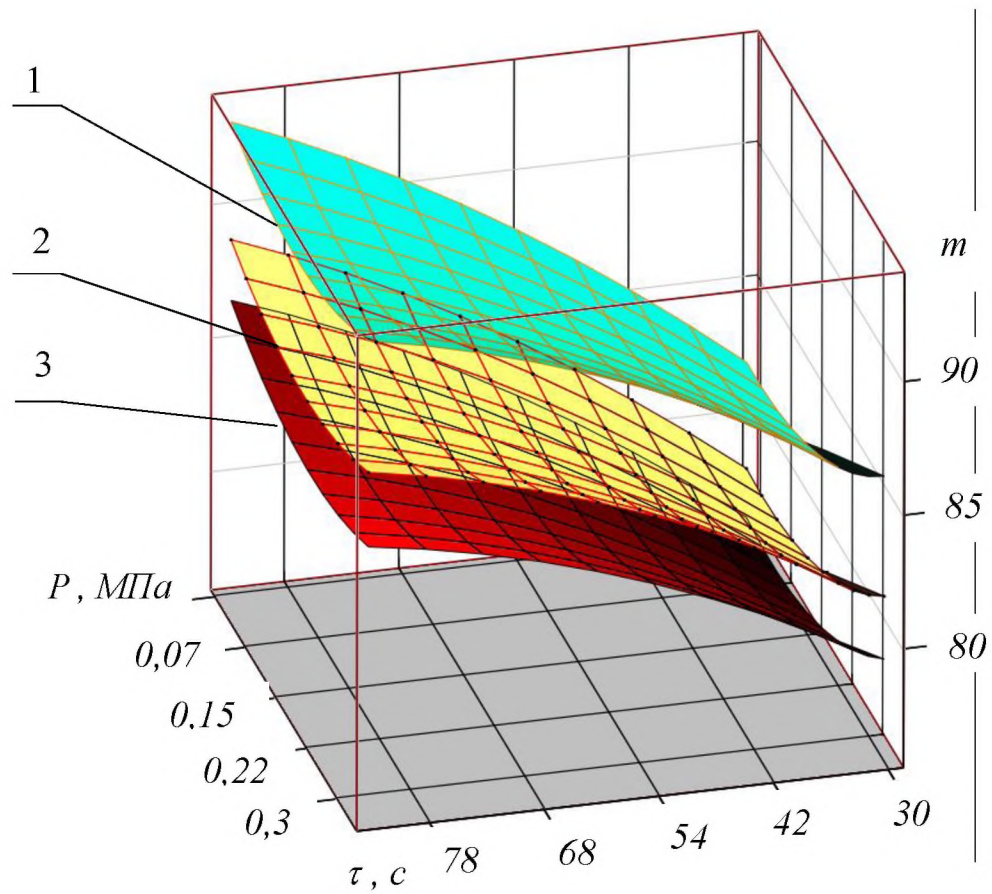


Рисунок 4.3 Залежність кількості води яка витиснена із сапропелю від величини прикладеного тиску P та часу τ прикладання тиску при площі перфорації стінок S камери пресування: 1 – $S=0,1473\text{ м}^2$; 2 – $S=0,0982\text{ м}^2$; 3 – $S=0,049\text{ м}^2$

$$y(s, p) = 4,932 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 - 0,004 \cdot p \cdot s + 1,72 \cdot p \cdot t - 0,0002 \cdot p - 397,377 \cdot s^2 + 0,14732 \cdot s \cdot t + 259,165 \cdot s + 0,00119 \cdot t^2 - 0,0876 \cdot t + 88,953 \quad (4.4)$$

За отриманим рівнянням регресії (4.4) були побудовані поверхні відгуку та їх двомірні січення (рисунок 4.3).

Провівши аналіз отриманого рівняння регресії, можна зробити висновок, що найбільший вплив із розглянутих факторів на вихід води із сапропелю має площі перфорації стінок корзини S та часу відтискання.

4.3. Висновки

1. Значення критичного питомого тиску пресування рівне 16-20 кг/см²; відповідно питомий тиск пресування, рекомендується вибирати в межах 1,2-1,6 Мн/м² (12- 16 кг/см²).

2. Під час пресування свіжодобутого граничні значення швидкості підвищення питомих тисків пресування для областей докритичного тиску (16 кг/см²) не повинно перевищувати 0,13-0,145 Мн/м² (1,3- 1,45 кг/см²) за хвилину, при цьому у першій половині процесу витиснення середня швидкість росту питомого тиску не повинна перевищувати 0,025-0,03 Мн/м² (0,25- 0,3 кг/см²) за хвилину.

Результати проведеного багатфакторного експерименту показують, найбільший вплив на вихід води із сапропелю має площі перфорації стінок S та часу відтискання. Збільшення площі перфорації стінок преса S у межах 0,05...0,15м² та часу відтискання 30-120 супроводжується зростанням маси виділеної води із сапропелю. Зростання тиску в межах 0,07...0,3 сутєво не впливає на вихід води з сапропелю природньої вологості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, які наведені у кваліфікаційній роботі магістра можна зробити такі висновки:

Найбільш перспективним шляхом зневоднення сапрнопелю природньої вологості є його зневоднення за допомогою корзинного преса.

Зміна величини живого перерізу отворів фільтруючої поверхні робочого органу корзинного преса у межах від 3 до 17% не призводить до збільшення швидкості виділення води із сапрнопелю. Рекомендована величина живого перетину 5-8%.

Область критичного питомого тиску пресування знаходиться в межах 16-20 кг/см²; питомий тиск пресування рекомендується вибирати в межах 12-16 кг/см².

Під час пресування сапрнопелю природньої, граничні середні значення швидкості підвищення питомих тисків пресування для областей докритичного тиску (16 кг/см²) не повинно перевищувати 1,3-1,45 кг/см² за хвилину.

Збільшення діаметру отворів в межах 1...6мм не призводить до збільшення швидкості зневоднення сапрнопелю. Рациональне значення діаметру отворів для перфорованих робочих органів пресів рівне 2...3мм.

Зміна форми отворів перфорованої поверхні робочих органів пресів (квадрат, круг, або щілина) не впливає на швидкість зневоднення матеріалу. Але із технологічної точки зору їх виконання найбільш простішими будуть отвори круглої форми.

Для підвищення ефективності процесу зневоднення сапрнопелю та зниження енергетичних затрат переміщення поршня повинно становити не більше від 75% висоти пресувальної камери корзинного пресу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берник П.С., Стоцько З.А., Паламарчук І.П., Яськов В.В., Зозуляк І.А. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. Частина 1. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 336 с
2. Бодак В.І. Аналіз роботи механізмів для добування сапропелів. Сільськогосподарські машини: Зб. Наук. Пр. – Луцьк.: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2004. – 212 с.
3. Грабовець В. В. Обґрунтування механізованої технології зневоднення озерних сапропелів: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Грабовець Віталій Валерійович ; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк, 2010. - 223 арк.
4. Дідух В.Ф., Луцик Р.В., Грабовець В.В. Вологообмінні та термодинамічні властивості сапропелів // Науковий вісник Національного аграрного університету/редкол.: Д.О.Мельничук (відп. ред) та ін. - К.,2006. - Вип. 92. Частина II – С.56-60.
5. Дідух В.Ф., Сацюк В.В, Грабовець В.В. Зниження вологовмісту сапропелю механічним способом. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник, вип. 20. – Луцьк: Ред. – вид. відділ ЛДТУ. – 2007. – с 139-141.
6. Дідух В.Ф., Цизь І.Є., Грабовець В.В. Дослідження кінетики сушіння сапропелю. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: ЛДАУ, 2004. – 122-128 с.
7. Дідух В.Ф., Шимчук О.П. Експериментальні дослідження процесу виділення води із сапропелю. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 14. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2006. – с.90-93.
8. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю.

Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. - 60 с.

9. Методичні вказівки. Математичне моделювання сільсько-господарських машин. Ред.-вид. Від. ЛДТУ.:2003р.

10 Новосад Ю Аналіз процесу зневоднення сапропелю. Тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. С.57-58

11. Рвачов В.В. Технологічне обладнання харчових виробництв (механічне обладнання): Навч. посіб. для студ. мех. фахів. – Одеса: Астропринт, 2001. – 316 с.

12.Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин. Навч. Посібник. –Київ: Видавництво УСГА. 1992р. 246с.

13. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. –К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

14 Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання: Монографія. Луцьк: Надстир'я, 1996. –384 с.

ДОДАТКИ

