

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Шимчук Олександр Петрович

УДК 622.331

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛЯ ДЛЯ ДОБУВАННЯ
ОЗЕРНИХ САПРОПЕЛІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Дідух Володимир Федорович**, Луцький національний технічний університет, директор „Навчально-науково-виробничого інституту неперервного навчання”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Гевко Богдан Матвійович** Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, завідувач кафедри „Технологія машинобудування”, заслужений винахідник України

кандидат технічних наук **Єрмоленко Володимир Олександрович** ННЦ „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” УААН, м. Глеваха, провідний науковий співробітник лабораторії біоенергетичних технологій у сільськогосподарському виробництві.

Захист відбудеться 26 червня 2009 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.58.052.02 у Тернопільському державному технічному університеті ім. Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий “26” травня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

П.В. Попович

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження. Значна кількість озер України знаходиться в стадії евтрофії, а в водоймах відбуваються складні біологічні процеси антропогенного характеру, які сприяють утворенню донних відкладів. Внаслідок евтрофності втрачається здатність озера до самоочищення і, як результат, котловини озер заповнюються сапропелем. В цих водоймищах утворюються відкладення переважно органічного типу, які є найціннішим матеріалом для покращення родючості ґрунтів і приготування органіко-мінеральних добрив. При цьому найбільшу увагу на сьогоднішній день варто приділяти сапропелевим родовищам із незначним рівнем води. Саме такі озера інтенсивно завмирають і зникають з географічної карти, а своєчасне видалення лише незначного шару сапропелю відновлює гідрологічну функцію озера.

Озерний сапропель є цінним природнім ресурсом, який можна широко використовувати не тільки в АПК, а й у інших галузях народного господарства. Важливою причиною обмеженого застосування сапропелю у сільськогосподарському виробництві є його висока вологість, яка досягає 98%. Значний вміст води у сапропелі створює труднощі при його транспортуванні, а найбільш енергоємним процесом підготовки сапропелю до використання є його зневоднення. На сьогодні проведено ряд досліджень із виявлення способів зневоднення сапропелів. Вони передбачають виконання певної кількості механічних і технологічних операцій, що пов'язані з дією на сапропель.

Тому механічний спосіб зневоднення озерних сапропелів на стадії добування, особливо з-під шару води, їх взаємодія з робочими органами без руйнування структури та визначення оптимальних параметрів процесу видалення вільної води з сапропелю механічним способом є важливим і актуальним завданням подальших досліджень.

Зв'язок із науковими програмами. Дослідження, що складають основу дисертаційної роботи, виконані у Луцькому національному технічному університеті в 2004–2008 р.р. у відповідності до державних науково-технічних програм ДНКТП з пріоритетних напрямків розвитку науки та техніки. Основні

положення дисертаційної роботи ввійшли до звітів за темами: „Розробка технологій та засобів для функціонування замкнутої агроекологічної системи” № Д/Р: 0107U000231 та „Дослідження процесів і засобів приготування органо-мінеральних добрив (ОМД) на основі сапропелю” № Д/Р: 0102U000253 за конкурсом ДФФД – 25.

Мета і завдання досліджень. Підвищення ефективності добування озерних сапропелів гвинтовими робочими органами з розширенням функціональних можливостей на основі обґрунтування їх параметрів і режимів роботи.

Досягнення поставленої мети вимагало вирішення наступних *завдань*:

- проаналізувати конструкції робочих органів, технологій та способів добування сапропелю з-під шару води, а також виявити їх недоліки;
- дослідити та запропонувати конструкцію робочого органу, фізико-механічні властивості сапропелю природної вологості, вибрати фільтрувальний матеріал;
- теоретично обґрунтувати режими і параметри камери відділення води із озерних сапропелів;
- розробити динамічну модель віджиму води гвинтовим робочим органом;
- на основі теоретичних досліджень обґрунтувати програму і методику експериментальних досліджень, розробити і виготовити експериментальний зразок камери;
- провести комплекс експериментальних досліджень і вивести регресійну залежність для оцінки ефективності роботи добувального модуля;
- розробити інженерну методику розрахунку гвинтового добувального модуля озерних сапропелів;
- оцінити економічну ефективність запропонованого засобу з можливістю відділення вільної води із сапропелю в процесі його добування.

Об'єкт досліджень – робочий процес екскавації сапропелів, донні поклади озер та робочі органи гвинтового пристрою для добування сапропелю.

Предмет досліджень – залежність конструктивно-технологічних параметрів відділяючої камери та фізико-механічних властивостей матеріалів від кількості відділеної води.

Методи дослідження – теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів математичного моделювання механічних процесів, класичної механіки та теорії фільтрації, теоретичної механіки, вибору раціональних технічних рішень. Апробація розроблених алгоритмів, програм і методик здійснювалась методом комп'ютерного моделювання.

Експериментальні дослідження проводились за галузевими і розробленими методиками на стандартному та спеціально розробленому обладнанні. При проведенні експериментальних досліджень застосовували математичний метод планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше запропоновано конструкцію добувного модуля для озерних сапропелів з відділенням вільної води. Вперше розроблено модель процесу відділення вільної води з органічного озерного сапропелю з виведенням аналітичних залежностей. За результатами багатофакторного експерименту виведена регресійна залежність, яка дає змогу оцінити вплив конструктивних і кінематичних параметрів відділяючої камери на масу виділеної води з органічного сапропелю.

Практичне значення отриманих результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано конструкцію добувного модуля органічних сапропелів з гвинтовим робочим органом, запропоновано технологічний процес та розроблено методики виділення вільної води в процесі добування сапропелю з-під шару води. Результати досліджень взяті для використання Поліським філіалом Національного наукового центру Інституту ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського та ТзОВ «Волиньсапрофос» і будуть впроваджені у навчальний процес профільних кафедр Луцького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримано автором самостійно. Проведені теоретичні дослідження стиску озерного

сапропелю гвинтовими робочими органами без перемішування [3,4,5,6]. Розроблені методики та проведені експериментальні дослідження із встановлення невідомих фізико-механічних параметрів озерних сапропелів [1,2,11,12,13], визначено фільтраційні можливості ряду матеріалів [7]. Запропонована конструкція добувного модуля з гвинтовими робочими органами з-під шару води [8,9,10]. Постановка задач, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим керівником та, частково, із співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення виконаних досліджень, що містяться у дисертації доповідались на науково-технічних конференціях Луцького національного технічного університету (2005-2008рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК» (ЛДТУ, м. Луцьк, 2007р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інженерне забезпечення раціонального використання земельних ресурсів» (ЛДАУ, м. Дубляни, 2007р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки» (ДДАГ, м. Дніпропетровськ, 2007р.); Міжнародній науково-технічній конференції до 110-річчя Національного аграрного університету «Аграрна інженерія в умовах глобалізації».

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 13 наукових праць у фахових збірниках, 4 з яких виконано без співавторства. Технічна новизна захищена 3 патентами на корисну модель України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 122 назв та 6 додатків. Основна частина викладена на 137 сторінках, містить 55 рисунків і 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет, методи і завдання, які розв'язуються в роботі, окреслено наукову

новизну й практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про апробацію, структуру та обсяг роботи.

В *першому* розділі проведено аналіз літературних джерел. Зокрема, розглянуто класифікацію озерних сапропелів та напрямки його використання, основні технології розробки озерних сапропелевих родовищ та засоби їх забезпечення, розглянуто конструкції машин-аналогів. Вивчено питання агроекологічних аспектів добування та перспективу використання сапропелів органічного типу в аграрному виробництві.

Експериментальними і теоретичними дослідженнями добування, переробки та застосування озерних сапропелів займались: Лопотко М.З., Шевчук М.Й., Фомін А.І., Лиштван І.І., Курзо Б.В., Смирнов А.В., Євдокимова Г.А., Косаревич І.В. і ін.

Проблемі створення надійних і ефективних пристроїв і механізмів для добування сапропелю приділяли увагу такі вчені як М.З. Лопотко, А.В. Смирнов, А.Л. Сахвадзе, Е.Д. Томир, А.И. Фомин, Н.Н. Арефьев, Н.В. Дубровський, В.Ф. Дідух, В.І. Бодак, Ю.В. Булік та інші. Існує значна кількість механізмів для добування сапропелю, які розробляються в залежності від умов залягання сапропелю, технологій його добування та інших факторів. За наявності води в родовищі варто звернути увагу на гвинтовий робочий орган, який є найефективнішим для виконання цих операцій.

Дослідженням переміщення матеріалів у шнеках займалися Григорьев А.М., Куцин Л.М., Груздев І.Є., Омельченко А.А., Вайнсон А.А., Гевко Б.М., Рогатинський Р.М., Хайліс Г.А., Іванов В.Г., Красников В.В., Оберніхін В.І., Єрмоленко В.О., Бодак В.І. та інші.

Проведений аналіз властивостей озерного сапропелю, дозволяє стверджувати, що 5-10% вільної води можна відокремити від загальної маси у процесі його підйому з-під шару води. Для цього доцільно дослідити технологічний процес роботи добувного модуля з гвинтовими робочими органами, які є найефективнішими в цих процесах і вони складаються із транспортуючої гілки і відділяючої камери.

У другому розділі обґрунтовано умову переміщення озерного сапропелю модулями з гвинтовими робочими органами без руйнування його структури в процесі добування з-під шару води.

При цьому довжина транспортуючої гілки вибирається в межах 10 м і розміщена під кутом α до горизонту, а гілка видалення вільної води може бути як продовженням транспортуючої або розміщуватись горизонтально. В обох випадках, а також для транспортуючої гілки, коефіцієнт заповнення гвинтових робочих органів має бути $K_\zeta = 1$. При цьому інтенсивність безперервного осьового навантаження, яке припадає на одиницю довжини гвинта, буде визначатись нормальним осьовим тиском P_N , який діє перпендикулярно поверхні витка. Відповідно осьовий і коловий тиск визначається з залежності:

$$\begin{cases} P_o = P_N \cos\beta \\ P_k = P_N \sin\beta \end{cases}, \text{ де } \beta - \text{середній кут нахилу вісі гвинта.}$$

В свою чергу умовою, переміщення озерного сапропелю без руйнування його структури та забезпечення видалення вільної води, слід вважати:

$$P_o = P_k \quad (1)$$

Рациональним кутом нахилу вісі гвинта є кут, який забезпечує рациональну осьову швидкість переміщення матеріалу та відповідно продуктивність.

Для транспортуючої гілки цей кут доцільно визначати з залежності:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{\omega_0^2 r f_2}{g \cos \gamma} - \frac{\varphi_1}{2}, \quad (2)$$

де γ – кут розміщення осі робочого органу до вертикалі, град;

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

f_2 – коефіцієнт тертя матеріалу;

r – радіус гвинта.

Для камери відділення, розміщеної горизонтально, при $\gamma = 90^\circ$: $\alpha_a = 45^\circ - \frac{\varphi_1}{2}$.

Згідно допущення, що озерний сапропель складається з двохфазного середовища твердої і рідкої фаз і при стисканні веде себе як фільтраційний матеріал, загальний об'єм рідкої фази, що видалятиметься з елементарного об'єму товщиною dx і одиничної площі визначатиметься за формулою:

$$I_{\zeta} \dot{a} \bar{a} = k_1 (\varphi'_{x+dx} - \varphi'_x) = k_1 \left(\frac{d\varphi'}{dx} \right) dx = k_1 \left(\frac{d}{dx} \frac{d\varphi}{dx} \right) dx = k_1 \frac{d^2\varphi}{dx^2} dx. \quad (3)$$

Поведінка всього об'єму пористого матеріалу визначається поведінкою його одиничної структурної комірки. Вважали, що форми пор є сферичними і рівняння неперервності з нехтуванням стиску ущільнюючого середовища приймали у вигляді:

$$\frac{\partial v_p}{\partial \rho} + \frac{r v_p}{\rho} = \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial(\rho^2 v_p)}{\partial \rho} = 0, \quad (4)$$

а реологічне рівняння матеріалу в режимі його деформування:

$$\sigma_{pp} = -p(\rho) + 2\mu \frac{\partial v_p}{\partial \rho}. \quad (5)$$

Так як процес ущільнення матеріалу залежатиме від його швидкості $\frac{d\beta}{dt}$, а вона від тиску P , в'язкості компоненту μ , пористості β , то:

$$d\beta/dt = f(p, \mu, \beta). \quad (6)$$

У відповідності з π -теоремою можна записати одну комбінацію:

$$\frac{d\beta}{dt} = -\frac{1 \cdot \beta}{k \cdot \mu} p, \quad (7)$$

де k – числовий коефіцієнт, згідно літературних даних рівний 1,00-1,33.

Інтенсивність деформацій сапропелю під час зневоднення визначається швидкістю переміщення частинок твердої фази:

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{a_1} \frac{da_1}{dt}, \quad (8)$$

а з врахуванням ефективного тиску вираз для в'язкості сапропелю матиме вигляд:

$$\mu(\dot{\gamma}) = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{1}{\dot{\gamma}^{\frac{1-m}{m^2}} \mu^m}. \quad (9)$$

Для реалізації вищенаведених тверджень запропоновано гвинтовий пристрій із зменшеним кроком у напрямку руху матеріалу (рис.1). та розроблені теоретичні передумови зневоднення озерних сапропелів.

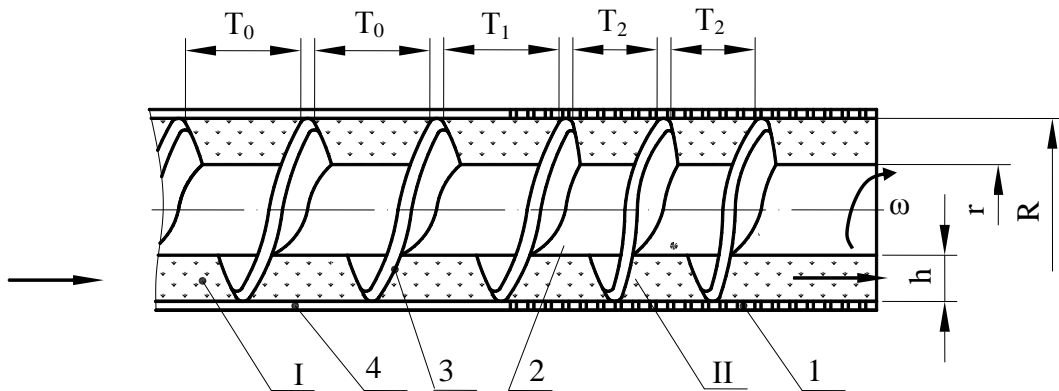


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення параметрів камери зневоднення сапропелю

Пристрій складається із труби 2, в якій обертається гвинт з частотою ω , який виконаний у вигляді центрального вала 3 та витків із змінним кроком. При цьому пристрій по довжині можна розділити на дві зони: I – зона подачі сапропелю, II – зона зневоднення сапропелю. У зоні зневоднення витки виконано із змінною міжвитковою шириною T_i , де i – кількість витків змінного кроку, а труба із отворами для витікання води. Зневоднення сапропелю відбувається стисканням сапропелю за рахунок зміни міжвиткового об'єму.

Процес виділення води із сапропелю представляє собою один із особливих варіантів фільтрації в деформованому пористому середовищі і є складним механічним процесом, під час якого під дією зовнішнього тиску проходить витискання води із пор при одночасному ущільненні самої маси сапропелю.

Згідно теорії консолідації при фільтрації рідкої фази через масу продукту, фази фільтрації сапропелю розглядали як окремі автономні системи: рідка фаза – ідеальна рідина, сапропель – деформована система, що підкоряється компресійній кривій. Рідка фаза не викликає у ущільненій фазі будь-яких

додаткових деформацій. Сапропель представляли як середовище з постійно змінюваними в процесі відтиску коефіцієнтом фільтрації K і коефіцієнтом пористості ε .

На основі вище сказаного можна представити дві системи тиску. Першу систему назвемо тиском напору, другу – ефективним тиском, їх суму – повним тиском. Тиск напору P_H визначається напором фільтрованої рідини, ефективний тиск P_0 сприймається сапропелем.

При цьому повний тиск на поверхню витків шнека в напрямку пресування визначали за формулою:

$$P = P_H + P_0. \quad (10)$$

Тиск напору знаходили по залежності:

$$P_H = (P_0 + P_A)g \cdot \rho, \quad (11)$$

де P_0 – напір фільтрації рідини через пори сапропелю, Н;

P_A – напір витікання рідини через отвори труби, Н;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

ρ – густина рідини (води), г/мм.

Напір фільтрації рідини визначали за законом Дарсі при ламінарному русі із залежності:

$$P_0 = \frac{V \cdot h \cdot \varepsilon}{K(1 + \varepsilon)}, \quad (12)$$

де V – швидкість руху рідини у міжвитковому каналі шнека, м/с;

h – глибина каналу, мм;

K – коефіцієнт фільтрації для сапропелю;

ε – коефіцієнт пористості для сапропелю.

Швидкість руху рідини визначали за залежністю: $V = \omega \cdot T' / 2\pi$,

де ω – частота обертання шнека, об/хв;

T' – крок витків шнека, мм.

При цьому коефіцієнт пористості представляли компресійною залежністю, що визначається із механічних і фізичних властивостей сапропелю:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - a \cdot P_0, \quad (13)$$

де ε_0 – постійна величина пористості;

a – коефіцієнт ущільнення сапропелю.

При зневодненні сапропелю витікання рідини проходить у зовнішнє середовище при атмосферному тиску, тоді за відомою залежністю напір витікання рідини через отвори можна подати наступним чином:

$$P_A = \frac{\mu \cdot Q}{K_1} \left(1 + \frac{1}{2n} \right), \quad (14)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;

Q – розхід води через отвори, м³/хв;

n – кількість отворів;

K_1 – коефіцієнт, що залежить від форми отвору; для циліндричних отворів:

$$K_1 = \frac{\pi R_1^4}{8S},$$

де R_1 – діаметр отвору, мм;

S – товщина стінки труби, мм.

Тоді тиск напору визначали за формулою:

$$P_i = \left(\frac{\omega \cdot T' \cdot h \cdot \varepsilon}{K(1+\varepsilon) \cdot 2\pi} + \frac{8S_1 \cdot \mu \cdot Q}{\pi R_1^4} \left(1 + \frac{1}{2n} \right) \right) \cdot \rho \cdot g. \quad (15)$$

Для розрахунку ефективного тиску P_0 розглядали умову рівноваги виділеного елементарного об'єму сапропелю в міжвитковому каналі в зоні зневоднення. Елементарний об'єм представляли у циліндричній системі координат з початком в т.О (рис. 2).

При визначенні ефективного тиску міжвитковий канал вважали повністю заповненим, при цьому швидкість обертання шнека буде достатньою для надання руху сапропелю по гвинтовій траєкторії. Введемо наступні позначення: r – радіус центрального вала, мм; R – внутрішній радіус труби, мм; h – глибина міжвиткового каналу, мм; T – ширина міжвиткового каналу, мм; P_{ra} – боковий тиск по внутрішній поверхні труби, Па; P_{ri} – боковий тиск по поверхні вала, Па; T_a – сила тертя по внутрішній поверхні труби, Н; T_i – сила тертя по поверхні вала, Н. При цьому приймаємо припущення, що:

$$P_{r\dot{a}} = P_{r\dot{i}} \quad (16)$$

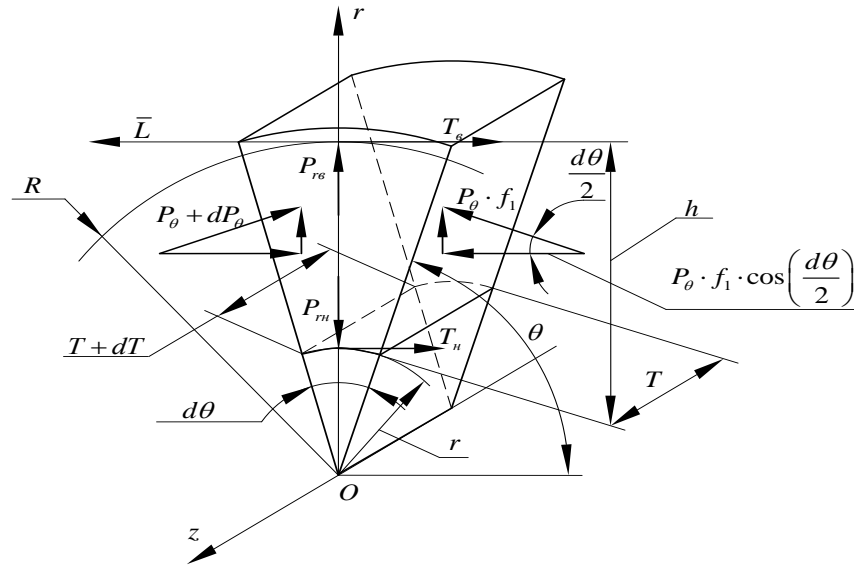


Рис. 2. Розрахункова схема дії сил на елементарний об'єм сапропелю у міжвитковому просторі в зоні зневоднення

Тоді:

$$\begin{aligned} T_{\dot{a}} &= P_{r\dot{a}} \cdot f_1 \cdot F_3 \\ T_{\dot{i}} &= P_{r\dot{i}} \cdot f_2 \cdot F_4 \end{aligned} \quad (17)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя між трубою і сапропелем;

F_3 – площа контакту елементарного об'єму сапропелю із внутрішньою поверхнею труби, мм²;

f_2 – коефіцієнт тертя між валом і сапропелем;

F_4 – площа контакту елементарного об'єму сапропелю із поверхнею вала, мм².

Врахувавши початок відліку кута θ із початку зони зневоднення.

$$\frac{1}{(-K_2 \cdot h + a \cdot C)} \ln \left(\frac{P_{\theta r} \cdot (-K_2 \cdot h + a \cdot C + K_3 \cdot C \cdot P_{\theta})}{(-K_2 \cdot h + a \cdot C + K_3 \cdot C \cdot P_{\theta r}) \cdot P_{\theta}} \right) = \frac{\theta}{T \cdot h} \quad (18)$$

Із рівняння (18) знаходимо P_{θ} :

$$P_{\theta} = P_{\theta r} \cdot \frac{(-K_2 \cdot h + a \cdot C)}{(-K_2 \cdot h + a \cdot C + K_3 \cdot P_{\theta r} \cdot C) \cdot \exp \left(-\theta \cdot \frac{(-K_2 \cdot h + a \cdot C)}{T \cdot h} \right) - K_3 \cdot P_{\theta r} \cdot C} \quad (19)$$

Тоді повний тиск на поверхню витків шнека визначали як суму складових формул (15) і (19). Виходячи із формул, наведених в літературі на витках шнека виникає осьова сила P_{z_1} :

$$P_{z_1} = (\cos \alpha - f_3 \sin \alpha) \cdot P_1, \quad (20)$$

де α – кут підйому витків по середньому радіусу шнека, град;

f_3 – коефіцієнт тертя між витками шнека і сапропелем;

P_1 – сила зневоднення сапропелю, Н.

При цьому силу P_1 знаходимо за формулою:

$$P_1 = (P_H + P_\theta) \cdot h \cdot \sqrt{(2\pi R_c)^2 + (T_0 + S_2 - K_2 \cdot \theta)^2}, \quad (21)$$

де R_c – середній радіус шнека, мм, $R_c = R + r/2$;

S_2 – товщина витка шнека, мм.

Кут підйому витків по середньому радіусу шнека R_c становить:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{T_0 + S_2 - K_2 \cdot \theta}{2\pi \cdot R_c} \right). \quad (22)$$

При цьому необхідний крутний момент обертання шнека в зоні зневоднення знаходили за формулою:

$$M_{z_1} = R_c (\sin \alpha + f_3 \cdot \cos \alpha) \cdot P_1. \quad (23)$$

Загальна осьова сила P_z на витки шнека рівна:

$$P_z = P_{z_1} + P_{z_2}, \quad (24)$$

де P_{z_2} – осьова сила транспортування сапропелю, що визначається за відомими залежностями.

Необхідний крутний момент обертання шнека визначали з залежності:

$$M_z = M_{z_1} + M_{z_2}, \quad (25)$$

де M_{z_2} – необхідний крутний момент для транспортування сапропелю, Н·м.

Рівняння (15), (19), (20), (23), (24), (25) дозволяють описати операції зневоднення сапропелю. При цьому сумісний розв'язок даних рівнянь дозволяє вирішити технологічні задачі, а також виявити взаємозв'язок конструктивних параметрів гвинтового робочого органу.

У *третьому розділі* представлена програма експериментальних досліджень, дається перелік обладнання, приладів, розроблених дослідних установок і методики проведення досліджень.

Видалення вільної води в органічному озерному сапропелі проводили на спеціально виготовленій експериментальній дослідній установці з використанням методу планування експерименту, загальний вигляд якої зображений на рис. 3.



Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної камери з відділенням води

Для проведення експериментальних досліджень використовувалось як стандартне, так і спеціально розроблене обладнання (рис. 4, 5), яке найбільш близько відповідало умовам досліджуваного процесу.

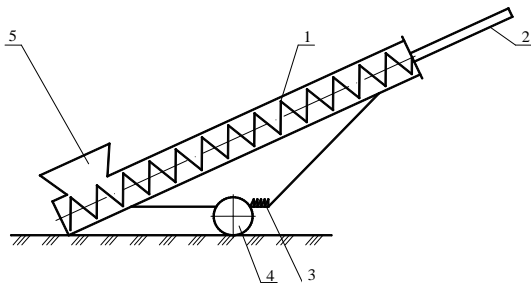


Рис. 4. Схема дослідної установки транспортуючої гілки модуля:
1 – транспортуюча гілка; 2 – механізм зміни кута; 3 – змінний патрубок; 4 – ходова частина; 5 – приймальна горловина.

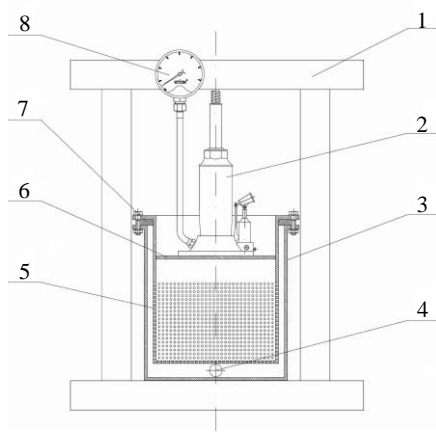


Рис. 5. Схема пристрою для видалення вільної води з сапропелю при стиску:
1 – рама; 2 – домкрат; 3, 5 – зовнішня, внутрішня стінки;
4 – зливний патрубок; 6 – плунжер; 7 – ущільнення; 8 – манометр.

Програмою досліджень передбачалось встановити вплив різниці тиску на процес відділення вільної води із сапропелю в умовах природного середовища для найбільш перспективного у подальшому застосуванні середнього шару. Визначити вологість, зольність та об'ємну масу органічного озерного сапропелю у зоні його забору. Визначити раціональний кут відхилення вісі гвинтового робочого органу від горизонталі, як транспортуючого засобу. Дослідити характер протікання процесу добування сапропелів при зміні технологічних і конструктивних параметрів гвинтового робочого органу. Визначити фільтраційний матеріал для відділяючої камери циліндричної форми. Виявити закономірності виділення вільної води з озерного сапропелю при стиску за різних конструктивних особливостей відділяючої камери. Провести багатofакторний експеримент виділення вільної води з озерного сапропелю із застосуванням відділяючої камери і вивести рівняння регресії.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень природної вологості, зольності (рис. 6). Із збільшенням глибини

заягання сапропелю до 11 м вказані властивості змінюються відповідно на 10% та 8%. Отримані значення об'ємної маси знаходяться у межах 1,02...1,18 т/м³, а липкість $E=0,25...0,80$ кПа. За результатами із встановлення впливу різниці тиску в умовах природного середовища на відділення вільної води із озерних сапропелів побудовано криві (рис. 7), аналіз яких вказує що до глибини 5 м тиск впливає незначно. Тому у перші 30 сек криві практично накладаються одна на одну. Найбільш інтенсивно процес відділення води відбувається протягом першої хвилини (відділяється близько 300 гр. води). У подальшому кількість відділеної води різко зменшується, а після трьох хвилин процес видалення припиняється.

Отримані результати досліджень із визначення параметрів транспортуючого засобу для видалення вільної води та оптимального кута нахилу гвинтової лінії до горизонту свідчать про можливість використання гвинтового робочого органу у якості добувального модуля. При цьому раціональною величиною зменшення об'єму сапропелю шнеком діаметром 250 мм і довжиною 5 м є зменшення у 2...3 рази.

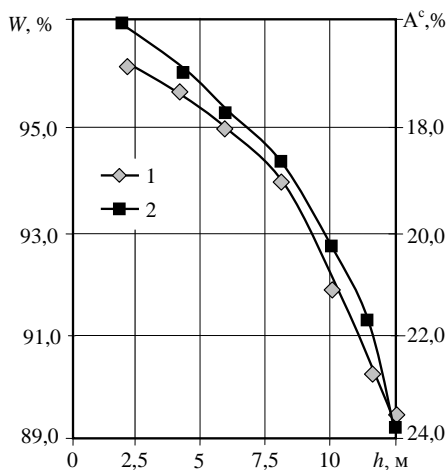


Рис. 6. Залежність вологості органічного сапропелю від глибини заягання (крива 1) та від зольності (крива 2)

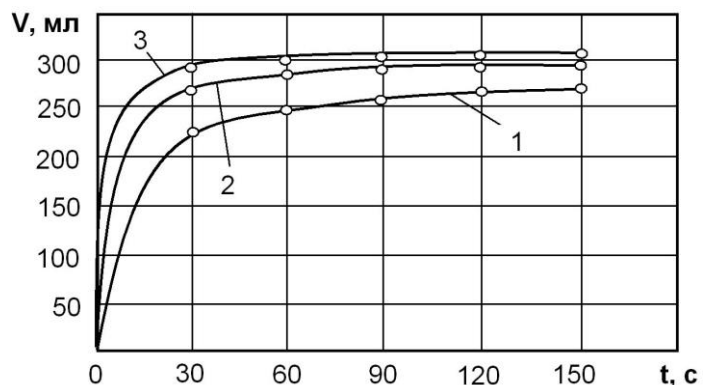


Рис. 7. Результати попередніх досліджень процесу відділення води в часі із сапропелю у природному середовищі:

- 1 – на глибині 5 м
- 2 – на глибині 7,5 м
- 3 – на глибині 10

Перевірка кута нахилу до горизонталі вказує на хорошу транспортуючу здатність гвинтового робочого органу для сапропелю високої вологості, в тому числі природної, що становить 92...95 % у положенні 0°. Збільшення вказаного кута до 20° суттєво не впливає на створюваний тиск.

Якщо органічний озерний сапропель зневоднювати механічним способом із використанням фільтраційного матеріалу, то він має суттєвий вплив на кількість видаленої води (рис. 8). Найбільш інтенсивно вода із сапропелю видаляється в перші 40с. Затухання процесу видалення води з сапропелю вказує на наявність у ньому інших форм вологи з більшою енергією зв'язку.

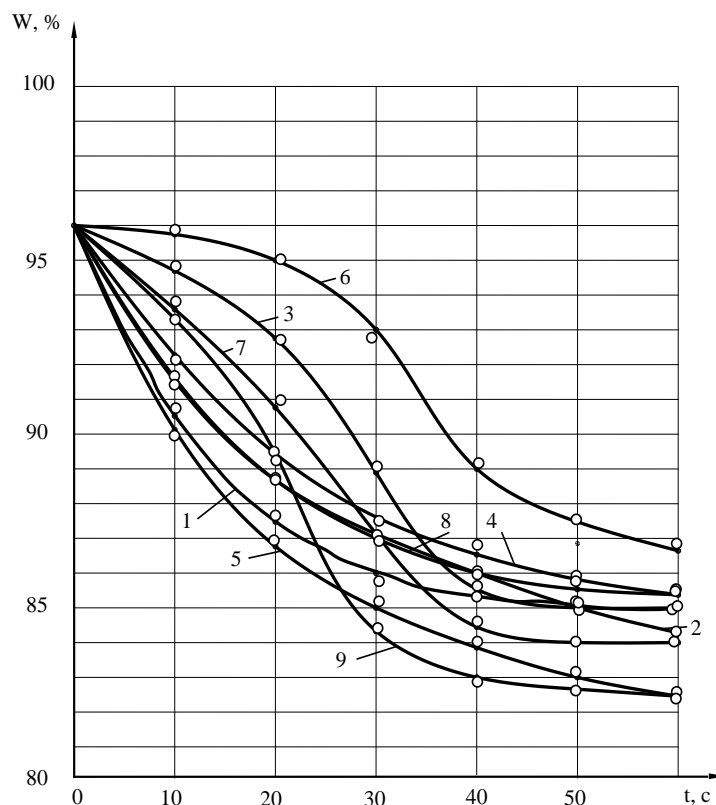


Рис. 8. Залежність зміни вологості озерного органічного сапропелю при стиску із використанням фільтраційного матеріалу:

1- трикотаж; 2- марльовка; 3- тафта-вишивка; 4- підкладка; 5- капрон 60 ден; 6- атлас; 7- капрон 20 ден; 8- капрон звичайний; 9- капрон 40 ден.

Максимальна кількість вільної води відділяється через капрон 60 ден.

За результатами експериментальних досліджень виявлені закономірності виділення вільної води з озерного сапропелю при стиску для обґрунтування конструкції відділюючої камери під дією різних навантажень (рис.9).

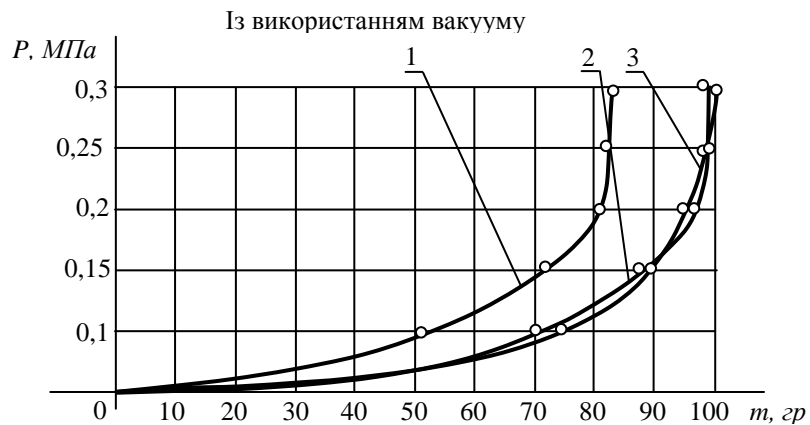
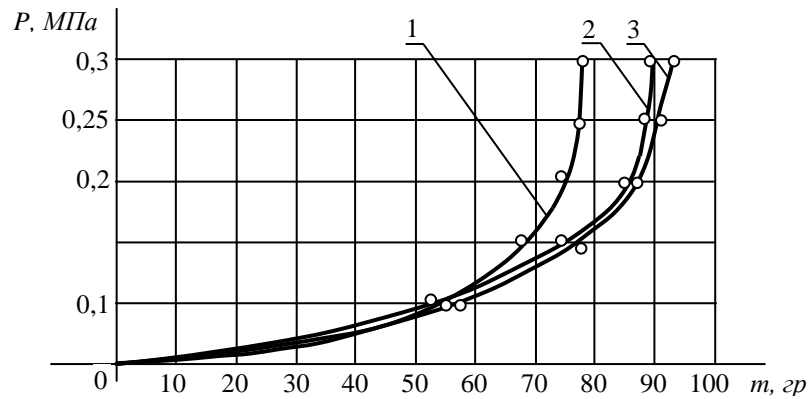


Рис. 9. Залежність маси відділеної води від величини прикладеного навантаження у циліндрі при перфорованих поверхнях \varnothing 2мм:

- 1 – при перфорованому днищі;
- 2 – при перфорованій боковині;
- 3 – при перфорованих боковині і днищі.

Аналіз кривих дозволяє стверджувати, що боковий тиск найбільше впливає на відділення вільної води із сапропелю, а створення додаткового вакууму збільшує її до 1,3%.

При цьому максимальне значення вільної води, яку можна виділити з органічного озерного сапропелю в процесі його добування становить 8-9%.

Такий сапропель можна використовувати для виробництва органо-мінеральних добрив та транспортувати в чистому вигляді і вносити в ґрунт відомими машинами в якості органічних добрив. Підвищена вологість озерного сапропелю створює проблеми із транспортуванням та внесенням. Вільна вода не має поживних речовин і не впливає на врожайність сільськогосподарських культур, а її видалення в процесі добування сапропелю дозволяє зменшити всі енергозатрати на подальше його використання.

В результаті проведення багатофакторного експерименту та після обробки результатів за допомогою розробленої програми у середовищі Mathcad отримано рівняння регресії, яке характеризує відсоток відділеної води в залежності від початкової вологості сапропелю $W = 85 \dots 95\%$, відношення довжини шнека до його діаметра $L/D = 2,5 \dots 5,5$, кута нахилу вісі гвинта до горизонту $\alpha = 15 \dots 25^\circ$, частоти обертання гвинтового робочого органу $n = 15 \dots 35$ об/хв:

$$\begin{aligned}
 y = & 30,825 + 19,941 \frac{W-90}{5} + 0,536 \frac{\left(\frac{L}{D}\right)^{-4}}{1,5} - 0,333 \frac{\alpha-20}{5} - 1,322 \frac{\omega-25}{10} - \\
 & - 0,892 \frac{(W-90)(\omega-25)}{50} - 1,000 \frac{\left(\left(\frac{L}{D}\right)^{-4}\right)(\omega-25)}{15} + \\
 & + 1,026 \frac{\left(\left(\frac{L}{D}\right)^{-4}\right)^2}{2,25} + 0,63 \frac{(\alpha-20)^2}{25} + 0,505 \frac{(\omega-25)^2}{100}
 \end{aligned} \quad (30)$$

Таким чином, найбільш ефективно видалення води відбувається при відношенні $\left(\frac{L}{D}\right) = 5,5$; $\alpha = 0^\circ$; $n = 18$ об/хв. При цьому початкова вологість озерного сапропелю становила 95 %.

В *п'ятому розділі* проведено інженерний розрахунок гвинтового добувального модуля озерних сапропелів (рис. 10) та наведено напрямки використання озерних сапропелів в агропромисловому комплексі. Як приклад, були внесені на дослідних ділянках частково зневоднені озерні сапропелі

машинами МТО-7 в СВК „Облапське” Ковельського району Волинської області.

Проведений аналіз стану середніх та малих озер за наявності шару води до 1м показав, що для забезпечення надійного виконання технологічного процесу розробки таких водойм необхідно використовувати запропонований добувний модуль з гвинтовим робочим органом, обладнаний камерою для видалення вільної води.

В результаті проведених розрахунків було встановлено раціональні геометричні та кінематичні параметри гвинтового добувного модуля та встановлені режими його роботи.

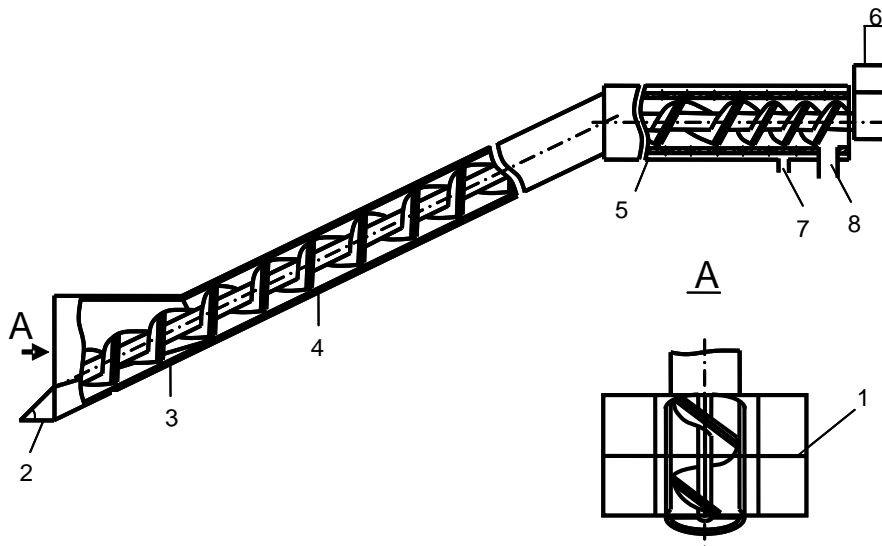


Рис. 10. Схема гвинтового добувного модуля озерних сапропелів:

1-захисна решітка; 2-регулятор ходу; 3-забірна частина; 4-транспортуюча гілка; 5-відділяюча камера; 6-привод; 7-патрубок вільної води; 8-патрубок сапропелю.

Розрахунковий економічний ефект від виділення вільної води в процесі добування у порівнянні із зневодненням озерних сапропелів відомими методами становить 27220 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну і важливу науково-технічну задачу отримання органічної речовини для сільськогосподарського виробництва шляхом добування озерних сапропелів з-під шару води та одночасним його зневодненням.

1. За аналізом результатів відомих досліджень встановлено, що існуючі технічні засоби, які використовуються при добуванні озерних сапропелів, дозволяють підняти їх на поверхню лише з природною вологістю, яка становить 92...98 %, в тому числі до 15% вільної води, яка є баластом. Така вологість стає перешкодою для їх широкого використання у агропромисловому виробництві як органічної сировини, особливо при суцільному її внесенні відомими сільськогосподарськими машинами.

2. Вперше виконані теоретичні дослідження та побудовані математичні моделі процесу переміщення та зневоднення озерних сапропелів як двохфазного середовища гвинтовими робочими органами за умови коефіцієнту заповнення робочих органів $K_c=1$. Встановлено, що переміщення сапропелю транспортуючою ланкою ефективно під кутом $90^\circ - \gamma$ (γ – кут розміщення вісі робочого органу до вертикалі, град) до горизонталі. В свою чергу виділяюча ланка може бути як продовженням транспортуючої під тим же кутом, а також встановлюватись горизонтально.

3. Вперше на підставі застосування розроблених математичних моделей з врахуванням теорії фільтрації виведено умову переміщення потоку рідкої фази під впливом ущільнення окремих сумісних твердих частинок або капілярів. Інтенсивність деформації сапропелю у замкнутому просторі прямо пропорційна

інтенсивності зменшення пористості і обернено пропорційна ущільнюючій фазі сапропелю. При цьому тиск напору, який забезпечує умову переміщення сапропелю із одночасним видаленням вільної води $P_o = P_k$ залежить від частоти обертання гвинта $\omega = 18 \text{ хв}^{-1}$; коефіцієнта зменшення кроку $T' = 0,5$; діаметра гвинта $D = 250 \text{ мм}$; коефіцієнта ущільнення озерного сапропелю $a = 0,5 \dots 0,75$.

4. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що озерний сапропель органічного типу як модельне середовище характеризується:

а) природною вологістю та зольністю і залежить від глибини його залягання: при 5м – $W = 96\%$, $A^c = 20\%$; при 11м – $W = 89\%$; $A^c = 24\%$;

б) об'ємною масою $J = 1,02 \dots 1,18 \text{ т/м}^3$ і липкістю $E = 0,25 \dots 0,8 \text{ кПа}$, які залежать від природного стану.

5. В результаті дослідження впливу тисків від глибини залягання сапропелів на процес виділення вільної води встановлено, що їх ефективність проявляється у перші 30 сек і зростанням глибини до 10м. При цьому найбільш ефективним фільтрувальним матеріалом виявили капрон 60 ден. Експериментально підтверджено, що переміщення озерного сапропелю із видаленням вільної води гвинтовим робочим органом можливе при $\hat{E}_c = 1$. Кут нахилу вісі транспортуючого робочого органу 20° , а кут нахилу витків шнека 70° з кроком 260мм для транспортуючої гілки.

6. Статичні навантаження при перевірці процесу видалення вільної води різних конструкцій відділяючої камери підтвердили необхідність встановлення фільтрувального матеріалу на її боковій стінці з отворами $\varnothing 2 \text{ мм}$. При цьому створення додаткового вакууму інтенсифікує процес на 1,3 %. Проведення чотирьохфакторного експерименту на лабораторно-експериментальній відділяючій камері довжиною 1м дозволило видаляти вільну воду із озерного сапропелю початковою вологістю 95 % у межах 8...9% при відношенні довжини шнека до його діаметра $L/D = 5,5$, куті нахилу вісі гвинта до горизонту $\alpha = 15^\circ$, частоті обертання гвинтового робочого органу $n = 15 \text{ об/хв}$.

7. Виробничі випробування машинами для внесення органічних добрив МТО-7 у СВК „Облапське” Ковельського району Волинської області

підтвердили необхідність зневоднення озерних сапропелів у процесі добування, що дозволило їх транспортування на відстань 20 км до поля з подальшим суцільним внесенням під сільськогосподарські культури.

8. Розроблена методика інженерного розрахунку добувального модуля із гвинтовими робочими органами: довжина транспортуючої вітки 10м; відділяючої камери 2м; площа поперечного перерізу забірної частини на вході $0,196\text{м}^2$, на виході $0,049\text{м}^2$; діаметр робочого органу 0,25м. Матеріали передані ВАТ „Ковельсьільмаш” для виготовлення виробничого зразка добувального модуля. Економічний ефект від впровадження пристрою може сягати 27,2 грн. на 1м^3 .

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Дідух В.Ф. Експериментальні дослідження процесу виділення води із сапропелю. / В.Ф. Дідух, О.П. Шимчук // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2006. – № 14. – с. 90-93.
2. Шимчук О.П. Визначення доцільності використання шнека у якості засобу добування сапропелю. / О.П. Шимчук, В.А. Матвійчук // Зб. наук. ст. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2007. – № 15. – с. 345-348.
3. Шимчук О.П. Дослідження умов зневоднення сапропелю шнековим пристроєм. / О.П. Шимчук, С.Ф. Бабарика // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ – 2007. – № 16. – с. 233-236.
4. Шимчук О.П. Дослідження переміщення сапропелю у гвинтовому конвеєрі. / О.П. Шимчук // Геотехническая механика. Сб. науч. тр. Днепропетровск: Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова, 2008. – № 75. – с.243-246.
5. Шимчук О.П. Визначення ефективного тиску при переміщенні сапропелю у зоні зневоднення. / О.П. Шимчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»), Луцьк. – 2008. – Вип. 21. – с. 349-355.
6. Дідух В.Ф. Експериментальні дослідження виділення вільної води з озерного сапропелю. / В.Ф. Дідух, О.П. Шимчук, В.В. Сацюк, Р.О. Хлопецький

// Вісник НУВГП. Зб. наук. пр. Рівне.- 2008 . – № 3 (43). – с. 299-304.

7. Дідух В.Ф. Виявлення зв'язку вільної води в озерних сапропелях. /

В.Ф. Дідух, О.П. Шимчук // Вісник ЛНАУ. – Львів: 2008. – с. 556-561.

8. Пат. 15225 Україна, МПК Е 02 F 3/88. Пристрій для добування сапропелів. /

Цизь І.Є., Дідух В.Ф., Шимчук О.П.; заявник і патентоволодар Луцький національний технічний університет. – № u 200512720; заявл. 28.12.2005; опубл. 15.06.2006, Бюл. №6.

9. Пат. 23884 Україна, МПК Е 02 F 3/88. Пристрій для добування сапропелів. /

Дідух В.Ф., Цизь І.Є., Булік Ю.В., Шимчук О.П., Хомич А.В.; заявник і патентоволодар Луцький національний технічний університет. – № u 200700972; заявл. 30.01.2007; опубл. 11.06.2007, Бюл. № 8.

10. Пат. 33681 Україна, МПК Е 02 F 3/00. Підйомно-транспортуючий пристрій

для добування сапропелів. / Шимчук О.П., Дідух В.Ф., Грабовець В.В., Ілюшик І.М.; заявник і патентоволодар Луцький національний технічний університет. – № u 200801585; заявл. 07.02.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.

11. Дідух В.Ф. Аналіз засобів для добування сапропелів / В.Ф. Дідух, О.П.

Шимчук // Тези XXI-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. Луцьк. – 2006. – с. 105-106.

12. Шимчук О.П. // Розширення функціональних можливостей шнекового

пристрою при добуванні сапропелів. Матеріали наукового семінару «Проблеми та перспективи розвитку підйомно-транспортних машин». – Тернопіль.- 2007.- с. 12.

13. Шимчук О.П. Експериментальні дослідження шнекового пристрою для

зневоднення сапропелю. / О.П. Шимчук // Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва. Тези XXIII-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. Луцьк. – 2008. – с. 171-173.

АНОТАЦІЯ

Шимчук О.П. Обґрунтування параметрів модуля для добування озерних сапропелів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва – Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2009.

Дисертаційну роботу присвячено теоретичним і експериментальним дослідженням процесу добування озерних сапропелів. Для вирішення поставлених завдань проведено аналіз існуючих способів і засобів добування та виявлено їх недоліки; обґрунтовано технологічний процес та запропоновано засоби для його виконання; досліджено фізико-механічні властивості сапропелів природної вологості, які впливають на процес добування. Вперше досліджено процес добування органічного сапропелю з одночасним його зневодненням, а також визначено раціональні геометричні та кінематичні параметри гвинтового добувального модуля озерних сапропелів. Вибрано фільтрувальний матеріал для відділюючої камери. При перевірці якості дослідів отримано рівняння регресії, що дозволяє оцінювати вплив окремих факторів на процес видалення вільної води із сапропелю.

Ключові слова та словосполучення: озерний сапропель, вільна вода, процес зневоднення, гвинтовий робочий орган, модуль. Запропонована методика інженерного розрахунку гвинтового робочого органу, а документація передана для виготовлення на ВАТ „Ковельсільмаш”.

АННОТАЦИЯ

Шымчук О.П. Обоснование параметров модуля для добывания озерных сапропелей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства – Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2009.

Диссертационная работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса добывания озерных сапропелей. Для решения поставленных заданий проведен анализ существующих способов и средств добывания и обнаружены их недостатки; обоснованно технологический процесс и предложены средства для его выполнения; исследовано физико-механические свойства сапропелей естественной влажности, которые влияют на процесс добывания. Впервые исследовано процесс обезвоживания органического сапропеля в процессе его добывания, а также определены рациональные геометрические и кинематические параметры винтового добывающего модуля озерных сапропелей. Выбран фильтрационный материал для отделяющей камеры. При проверке качества опытов получено уравнение регрессии, что позволяет оценивать влияние отдельных факторов на процесс удаления свободной воды из сапропеля.

В *первом* разделе проведен анализ литературных источников. В частности рассмотрена классификация озерных сапропелей, основные технологии разработки озерных сапропелевых месторождений и средства их обеспечения, рассмотрены конструкции машин-аналогов и энергоемкость процесса добывания сапропеля. Изучен вопрос агроэкологических аспектов добывания и перспектива использования сапропелей органического происхождения в аграрном производстве.

Во *втором* разделе обоснованно условие перемещения озерного сапропеля винтовыми рабочими органами без разрушения его структуры в процессе добывания из-под слоя воды.

В *третьем* разделе представлена программа экспериментальных исследований, дается перечень оборудования, приборов, разработанных опытных установок и методики проведения исследований.

В *четвертом разделе* приведены результаты экспериментальных исследований естественной влажности, зольности, объемной массы и липкости сапропелей. Установлено влияние разницы давления в условиях естественной среды на отделение свободной воды из озерных сапропелей.

В *пятом разделе* проведен инженерный расчет винтового добывающего модуля озерных сапропелей и приведены направления использования озерных сапропелей в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова и словосочетания: озерный сапропель, свободная вода, процесс обезвоживания, винтовой рабочий орган, модуль. Предложена методика инженерного расчета винтового рабочего органа, а документация передана для изготовления на ОАО „Ковельсельмаш”.

ABSTRACT

Shimchuk O.P. Ground of parameters of the module for getting of lacustrine sapropels. – The manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.05.11 – machines and facilities of mechanization of agricultural production are the Ternopil'skiy state technical university of the name of Ivan Pulyuya, Ternopil', 2009.

Dissertation work is devoted theoretical and experimental research of process of getting of lacustrine sapropels. For the decision of the put tasks the analysis of existent methods and facilities of getting is conducted and found out their failings; grounded technological process and facilities are offered for his implementation; investigational fizico-mechanical properties of sapropels of natural humidity, which influence on the process of getting. First investigational process of getting organic a sapropel from simultaneous by his dehydration, and also certainly rational geometrical and kinematics parameters of the spiral extractive module of lacustrine sapropels. Filtration material is chosen for separating chambers. At quality of experiments control equalization of regression is got, that allows to estimate

influence of separate factors on the process of delete of free-drying from to the sapropel.

Keywords and combinations of words: lacustrine sapropel, free water, process of dehydration, spiral working organ, module. The method of engineering calculation of spiral working organ is offered, and a document is passed for making on VAT „Kovelsilmach”.