

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

В.Ф. Дідух, І.Є. Цизь, С.М. Хомич, Р.А. Хлопецький

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛІВ З-ПІД
ШАРУ ВОДИ**

МОНОГРАФІЯ

ЛУЦЬК РВВ ЛНТУ– 2025

УДК 631.3:621:695:553:973(043.3)

ББК: 41.47

Д 70

Дідух В.Ф.

Дослідження та вдосконалення засобів для добування сапропелів з-під шару води: Монографія / Дідух В.Ф., Цизь І.Є., С.М. Хомич, Р.А. Хлопецький. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2025. – 141 с.

Рецензенти:

Гевко Б.М., доктор технічних наук, професор, кафедри «Автомобілів» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Шевчук М.Й., доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісового і садово-паркового господарства Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Фесюк В.О., доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри «Фізичної географії» Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки.

Монографія присвячена розробці дослідження та вдосконалення засобів для добування сапропелів з-під шару води з одночасним збереженням і відновленні замулених озер. Призначення добутого сапропелю для отримання органічних добрив.

В монографії представлені відомості про окремі фізичні та механічні властивості озерного сапропелю, як об'єкта органічних добрив, що використовуються в сільському господарстві. Проаналізовано технології та засоби для добування сапропелів, які знаходяться під шаром води. Представлено теоретичне узагальнення і нові вирішення технічних науково-прикладних задач, які полягають у добуванні сапропелю з підводних родовищ, що використовуються, як сировинний матеріал для добрив. Запропоновано нові конструкції засобів для очищення озер від сапропелів.

Рекомендується науковцям, аспірантам, студентам та технічним працівникам, які займаються питаннями добування озерних сапропелів.

*Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Луцького національного технічного університету
(протокол №13 від 29 червня 2025 року)*

ISBN 978-617-672-021-8

© В.Ф. Дідух, І.Є. Цизь,
С.М. Хомич, Р.А. Хлопецький 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ У ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ	7
1.1 СПОСОБИ РОЗРОБКИ САПРОПЕЛЕВИХ ПОКЛАДІВ	7
1.2 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ КОМПЛЕКСІВ І РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ З-ПІД ШАРУ ВОДИ.....	19
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФРЕЗЕРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ДОБУВАННЯ СЕРЕДНЬОГО ШАРУ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ...	51
2.1 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЩОДО СТВОРЕННЯ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗАСОБУ ДЛЯ ДОБУВАННЯ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ.....	51
2.2 ЕЛЕМЕНТИ РОЗРАХУНКУ ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ	56
2.3 КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ДОБУВАННЯ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ	77
2.4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДТИСКУ ВОДИ З ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ В ПРОЦЕСАХ ЙОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ	88
РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ З-ПІД ШАРУ ВОДИ І ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	94
3.1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛІВ ЗА ВИСОТОЮ ЗАЛЯГАННЯ З-ПІД ШАРУ ВОДИ.....	94
3.2 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБІРНИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	103

3.3 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДОБУТОГО ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ	117
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	132

ПЕРЕДМОВА

Зниження об'ємів використання органічних добрив у сільськогосподарському виробництві вимагає звернути увагу на сапропелі прісноводних водойм, які є органічним утворенням голоценового віку. Сапропелі як і торф, містять значний відсоток органічної речовини. Тому вони можуть бути складником у компостах в процесі виробництва органічних добрив. Під час розробки сапропелевих покладів природна вологість сягає 96...98%, що не дозволяє їх ефективно використовувати як тверді органічні добрива (ТОД) для вирощування сільськогосподарських культур.

Значна кількість озер України знаходиться в стадії евтрофії, яка сприяє утворенню донних покладів. Внаслідок евтотрофності втрачається здатність водойм до самоочищення і, як результат, їх котловини заповнюються сапропелем до повного зникнення водного плеса. Зниження рівня води до 1 м сприяє інтенсивним процесам відмирання рослинних решток і озеро втрачає свою гідрологічну функцію. Відтак найбільшу увагу на сьогоднішній день варто приділяти сапропелевим родовищам із незначним рівнем води.

З іншої сторони, родючість і продуктивність ґрунту залежить від вмісту в ньому гумусу, а також прийнятої системи удобрення. Для ефективного росту і розвитку рослинам необхідні живильні речовини у вигляді різних сполук калію, фосфору, азоту, кальцію, заліза, магнію та ін. Найбільше таких речовин знаходиться в органічних добривах, які на сьогодні

практично не вносяться. Втрачається родючість ґрунтів. Змінити ситуацію, у певній мірі, можна за рахунок виробництва сапропелевих компостів як органічних добрив, що потребує обґрунтування технологій використання озерних сапропелів, параметрів робочих органів (РО) машини з врахуванням екологічної безпеки навколишнього середовища при їх застосуванні.

Отже, можна зробити висновок, що дана тема є актуальною і має широкі перспективи для проведення досліджень з відновлення озер карстового походження як резервуарів прісної води, впровадження нових технологій збереження родючості ґрунтів.

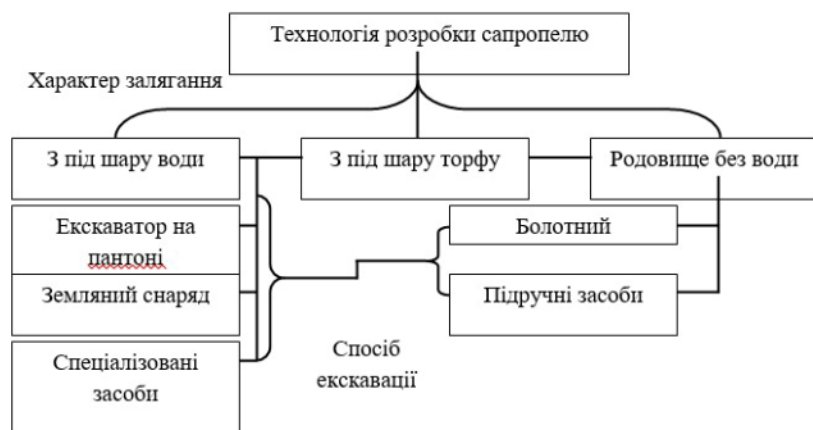
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ У ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Способи розробки сапропелевих покладів

Сапропелі є мулистими озерними відкладами, що утворюються з наступних основних компонентів: мінеральних домішок, неорганічних компонентів біогенного походження, органічної речовини відмерлих водних рослин та організмів, що проживають в озері, населяють його дно й береги.

На початках мул добували найпримітивнішим способом – черпаючи його у зимовий період на замерзлій водоймі, в інший час – з човна різними засобами та способами. З розвитком механізації виникли промислові способи видобутку сапропелю (рис. 1.1).

Спосіб добування сапропелю землерийними машинами при попередньому осушенні водойми. Таку технологію, не зважаючи на велику продуктивність, доцільно використовувати у випадку, коли рівень води сягає нульової відмітки при відновленні водойми. Його проводять землерийними машинами. Таким чином відбувається порушення екосистеми озера, оскільки після осушення водойми відбувається припинення життєдіяльності представників флори і фауни.



Р

исунок 1.1 – Способи добування сапропелю

Найширшого застосування набули наступні способи механізованого видобутку сапропелю [109, 117, 118]:

Представлений спосіб застосовується лише для водойм закритого типу, до яких належать озера карстового походження. Їх відновлення шляхом екскавації донних відкладів, які формувались тисячоліттями мають свої особливості, на які необхідно звертати увагу при розробці нових технічних засобів. Спосіб добування сапропелю з під шару торфу (рис. 1.2). Реалізується за допомогою болотних екскаваторів типу ТЕ – 3М, ЕО – 304Б, які мають мінімальний тиск на ґрунт. Це також високопродуктивна технологія, яка найбільше використовується у заболочених місцях.

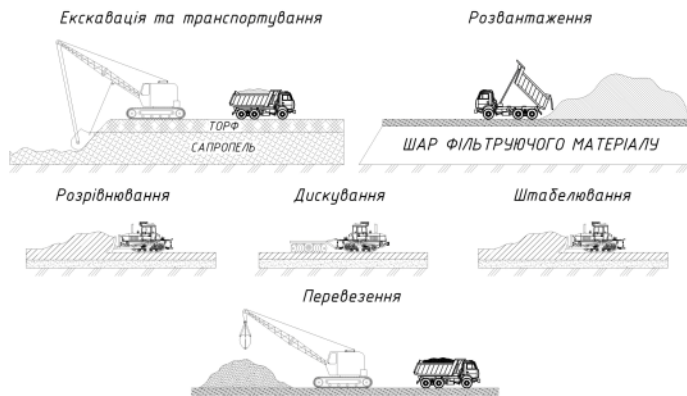


Рисунок 1.2 – Спосіб добування сапропелю з-під шару торфу

Гідромеханізований спосіб добування сапропелю (рис. 1.3).

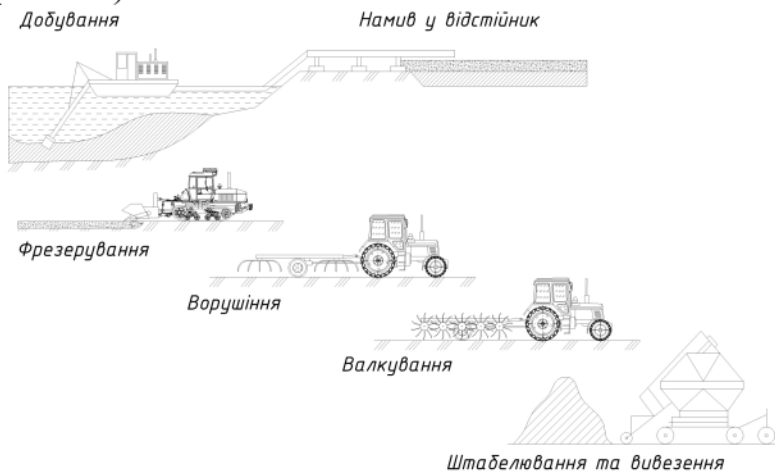


Рисунок 1.3 – Добування сапропелю гідромеханізованим способом

Є найбільш поширеним при очищенні водойм без спуску води. Для добування сапропелю таким способом використовують спеціально розроблені для цієї мети установки УДС – 200, АНБ – 752, які представляють собою плавучі землесосні машини. Вони являють собою корпус катамаранного типу, на якому встановлені механізми для екскавації та транспортування сапропелевої пульпи.

Сапропель засмоктується разом з водою, утворюючи пульпу, яка транспортується у відстійники або безпосередньо на поля. Даний спосіб є більш екологічно безпечним, ніж попередні, але також несе екологічну загрозу для водойми, оскільки каламутиться вода і значна її частина відкачується разом з сапропелем. Крім того, необхідний тривалий період для зневоднення сапропелю. Дані установки розраховані для добування сапропелю з водойми площею до 30 га в період, доки водойма не замерзне.

Результати досліджень багатьох вчених [9, 46, 81, 90, 91] показують, що добування сапропелю засобами гідромеханізації не відповідає екологічним вимогам. У зоні розробки збільшується вміст завислих речовин, який значно перевищує норми для нересту та вирощування риби, більше ніж в 2 рази зменшується прозорість води, значно зменшується вміст розчинного кисню.

Застосування земснарядів при добуванні сапропелю значно знижує рівень води в озері, оскільки значна її частина відкачується у відстійники разом з

сапропелем. Ця вода досить насичена розчинними органічними і мінеральними речовинами. Вона непридатна для повернення в водойму. Лиштван І.І. та Лопотко М.З. [42, 45] вважають, що такі води повинні скидатись в спеціальні канали і використовуватись лише для поливу сільськогосподарських культур та пасовищ. Всі ці заходи призводять до скорочення площі водного дзеркала, зменшення прозорості води, втрат місць для нересту риби, зменшення об'єму води за рахунок зменшення водозбору і, як результат, до прискореного заростання прибережних зон водойми.

Результати експериментальних даних українських та білоруських вчених [9, 11, 16, 20] вказують на те, що по відношенню до озерної води вміст азоту у відстояних водах збільшується в 3...8, кальцію – в 1,5...4,0, калію – в 1,5 рази. Дисперсійна структура коагуляційного типу, якою є сапропель у природних покладах, при механічній дії легко руйнується та зважується, “розтікаючись” по забою та утворюючи пляму каламутності, яка в окремих випадках досягає 50 і більше метрів у діаметрі, виявляючи несприятливий вплив на підводний світ. Також цей фактор впливає на низький (2...3 %) вміст твердої фракції сапропелю в перекачуваній пульпі, що призводить до необґрунтованих витрат та подорожчання кінцевого продукту.

Грейферний спосіб добування сапропелю (рис. 1.4). Технологічний процес включає в себе наступні операції: екскавація сапропелю з дна озера

екскаватором, встановленим на понтоні, навантаження його на баржу, транспортування баржі до берега, перевантаження сапропелю на транспортний засіб, транспортування до майданчиків сушіння, підсушування та подальша його переробка.

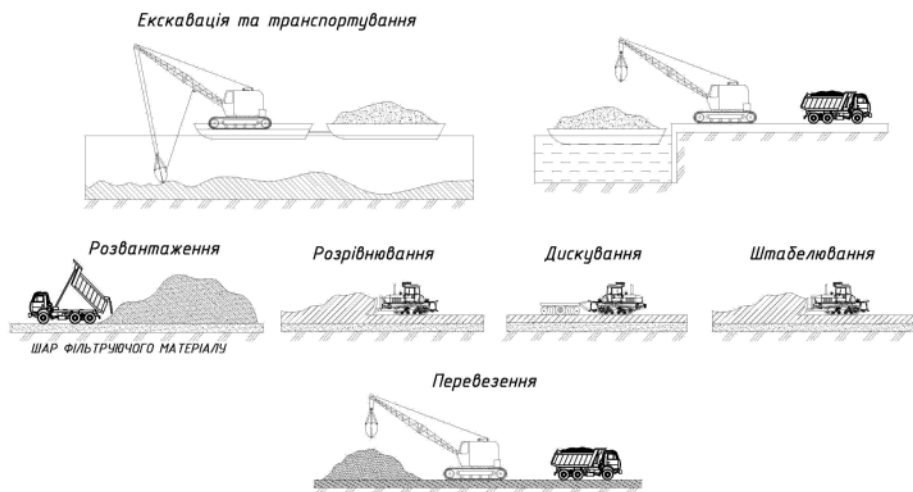


Рисунок 1.4 – Добування сапропелю грейферним способом

При добуванні сапропелю грейферним способом, вологість сапропелю становить 85...90%, що значно нижче в порівнянні з гідромеханізованим способом.

Основний недолік вказаного способу – висока собівартість добутої сировини. При такому способі також не забезпечуються екологічні вимоги і затрачається значний час для доведення вихідної сировини до товарного стану.

З результатів досліджень [9] відомо, що застосування грейферного способу добування органічного сапропелю (оз. Синове) підвищує вміст завислих речовин майже в 50 разів, прозорість води зменшується в 6...7 разів.

Ще однією проблемою плавучих засобів є забруднення поверхні озера паливно-мастильними матеріалами, що спричиняє негативний вплив на флору та фауну озера, особливо в місцях вирощування риби.

Використання технологій, які передбачають використання установок зі шнековими РО (рис. 1.5).

Вони дозволяють зменшити собівартість, знизити екологічні наслідки та час на добування сапропелю. При цьому не каламутиться пелоген, а добутий сапропель матиме природню вологість. Якщо добування сапропелю проводиться таким способом недалеко від берега, то його трубопроводом можна транспортувати прямо для подальшої переробки. На сьогодні це найбільш перспективний спосіб добування сапропелю з-під шару води.

Пристрої зі шнековими РО використовуються в основному при добуванні органічних і змішаних сапропелів на малих та середніх озерах. Такі пристрої є простими у конструктивному виконанні та мають високу продуктивність.

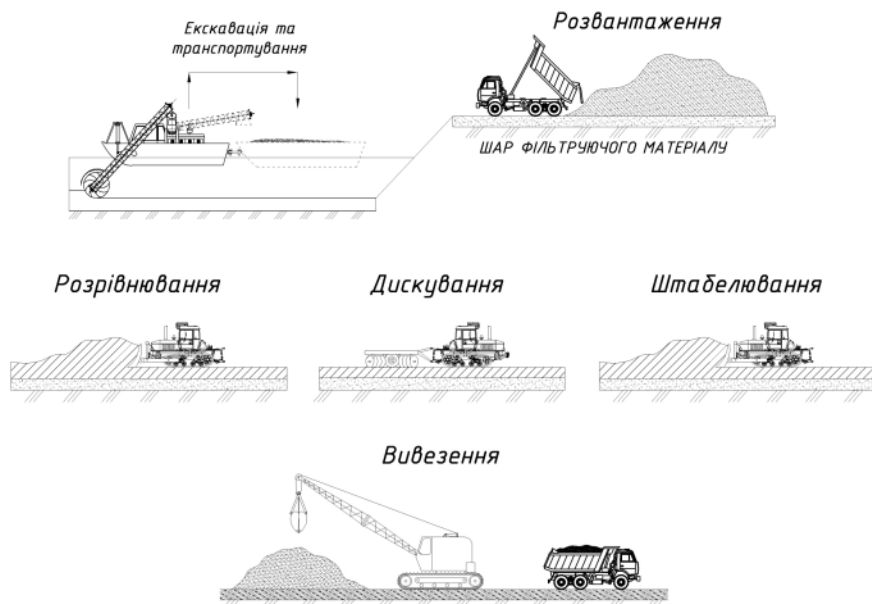


Рисунок 1.5 – Спосіб добування сапропелю з використанням установок зі шнековими РО

Одні з нових способів добування сапропелів з-під шару води є пневматичний та пневмомеханічних

Пневматичну технологію можна вважати інноваційною, оскільки запропонована вона понад 10 років тому, та за даними дослідників є енергозберігаючою, виконує всі функції щодо відновлення озера, не завдає шкоди акваторії та екології водойми, не потребує полів фільтрації та не збовтує її, дозволяє вести розробку покладів середнього шару, має високу продуктивність, і унеможливорює повторне

евтрофіювання озера. Пневматичний засіб має просту конструкцію та невеликі габаритні розміри, не вибагливий до глибини розробки та сапропелів пониженої вологості. Опис даної технології представлений в праці [5]. На сьогодні це найдешевша та най альтернативніша технологія, яка проходить стадію дослідження.

Всупереч аналогам дана технологію добування оснащена системою пневматичного транспортування сапропелю до берегової лінії. Тут пропонуємо застосовувати повітреструменеві потоки для яких потрібний лише компресор та невелика технічна оснастка, в основному це поплавкові трубопроводи, які виготовлені з полімерного матеріалу.

Схема роботи такої машини за пневматичної технології представлена на (рис. 1.6) вона розміщується на плавзасобі невеликих габаритів до 20м², і може обслуговуватись одним оператором кермувальником. За допомогою даної машини можливо розробляти поклади воронковим та траншейним способом переміщення плавзасобу і папільонажним добувного засобу, а транспортувати з по трубопроводу за допомогою струменевого насосу.

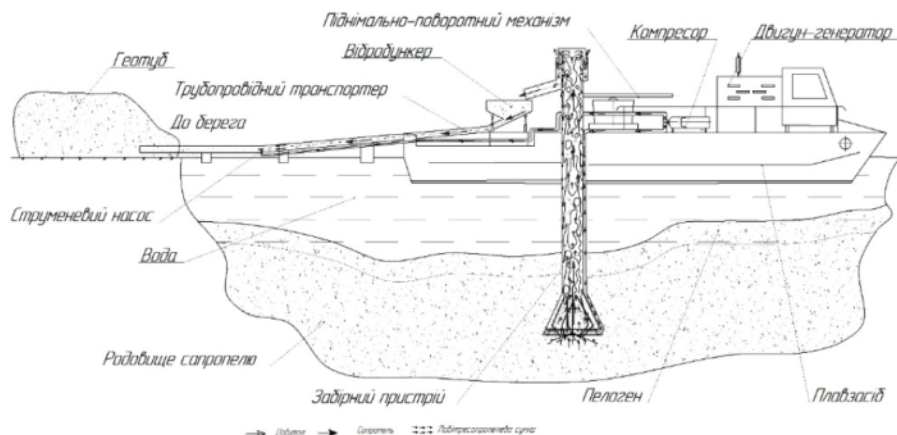


Рисунок 1.6 – Схема роботи устаткування за пневматичної технології та способу добування і транспортування сапропелю

Існує цілий ряд інших способів, апробованих дослідниками у різний час [2, 15, 58, 60]. Проте широкого виробничого застосування вони не знайшли. До таких слід віднести:

- метод добування сапропелю ковшем, який працює за допомогою грейфера-екскаватора, встановленого на понтоні. Опускається ківш в сапропель під дією власної ваги.

По мірі опускання половинки ковша відкриваються за допомогою канатів, а при його підніманні вони автоматично закриваються. До основних недоліків ковшово-елеваторного методу видобування сапропелевих покладів належать: висока собівартість добутої сировини; негативний вплив на

екологічний стан водойми; висока вологість добутого сапропелю. Різновидністю технічних засобів, для реалізації запропонованого методу є використання канатно-скреперної установки з ковшем-універсалом [11]. Значною перевагою вказаного технічного засобу є його екологічна безпека, так як силова установка розміщується на березі. Проте даний засіб відрізняється низькою продуктивністю та складністю експлуатації установки на значних віддальх транспортування добутого сапропелю.

- гідравлічний спосіб добування сапропелю здійснюється за допомогою розмиття покладів сапропелю струменем води з подальшим всмоктуванням пульпи та транспортуванням її по плавучому трубопроводу на берег. Даний метод добування сапропелю належить до найбільш екологічно небезпечних методів.

- точково-вакуумний спосіб добування сапропелю з-під шару води передбачає забір матеріалу вертикальним вакуумним засобом циліндричної форми із запірним механізмом в нижній частині. Представлений метод видобування сапропелю є малопродуктивним. Він застосовується для лабораторних робіт, добування сапропелю для кормових добавок, в лікувальних цілях тощо. З матеріальної точки зору дана технологія є економічною. Вона популярна у фермерських господарствах та в оздоровчих грязелікарнях;

- всмоктуючий метод добування сапропелевих покладів полягає у заборі сапропелю з водою за допомогою потужних самовсмоктуючих насосів для перекачування в'язких речовин. Застосування цього способу доцільне при наявності сапропелю в завислому стані незначної щільності. Метод став популярним після появи на європейському ринку відповідних малогабаритних та надійних насосів;

- скреперно-всмоктуючий спосіб добування сапропелю. Його реалізація здійснюється скреперним наїздом на сапропелевий пласт з подальшим відкачуванням матеріалу самовсмоктуючим насосом на берег. Даний метод видобування є доцільним при щільних покладах сапропелю на незначній глибині. Скреперно-всмоктуючий спосіб добування сапропелю в основному придатний для виробництва сапропелевих добрив;

- метод добування сапропелю замикаючим циліндром, при якому добувають сапропель природної вологості циліндром з встановленим в нижній частині фрезою-замком. Даний метод є малопродуктивним, але незважаючи на це – економічним.

Провівши аналіз відомих способів очищення водою від сапропелів, технічних засобів для їх реалізації можна зробити висновок, що визначальним недоліком на який необхідно звернути увагу дослідникам є екологічна безпека водою за заданої продуктивності технічного засобу.

1.2 Огляд конструкцій комплексів і робочих органів для добування сапропелю з-під шару води

Найбільш перспективним у плані використання у сільськогосподарському виробництві є середній шар озерного сапропелю. Створити надійні і ефективні РО для його забору намагалися тривалий час в Україні і за кордоном. Середній, дещо ущільнений шар, вимагає активних дій від елементів РО. Залежно від засобу для добування пропонується відповідний спосіб відділення необхідного пласта сапропелю. У випадку застосування технології добування озерних сапропелів за допомогою землевсмоктуючих снарядів, варто звернути увагу на вдосконалену нами класифікацію, яку запропонував у свій час Б.М. Шкундін (рис. 1.7) [118].

Існує велика різноманітність конструктивних рішень забірних пристроїв землевсмоктуючих снарядів, котрі можна поділити на дві основні групи [118, 80, 81, 105]:

- забірні пристрої, при роботі яких відокремлення матеріалу від масиву в зоні розробки відбувається тільки внаслідок того, що поблизу вхідного отвору всмоктуючої труби утворюються деякі достатні швидкості течії води (безпосереднє всмоктування);

- забірні пристрої, в яких для інтенсифікації забору матеріалу застосовуються спеціальні засоби.

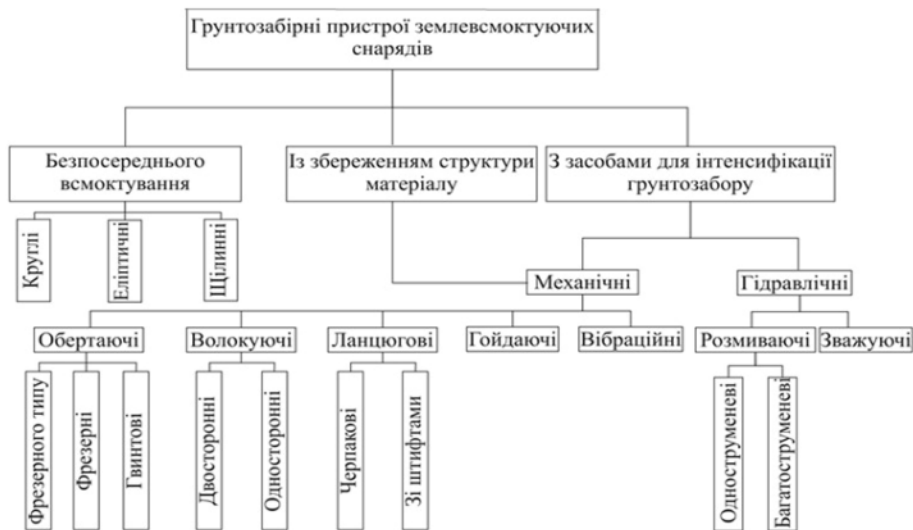


Рисунок 1.7 – Удосконалена класифікація Б.М. Шкундіна забірних пристроїв

Механічні забірні пристрої найчастіше обладнують фрезерними розпушувачами (рис. 1.9). Спільним для них є наявність ножа, який обертаючись, зрізає та розпушує матеріал. Форму ножа вибирають так, щоб він не лише зрізав ґрунт, але й переміщав його в зону всмоктування. Всю різноманітність конструктивних рішень фрез можна поділити на три основні групи [118]:

- відкриті фрези з кріпленням ножів на шприх;
- закриті (митроподібні) фрези;
- фрези з поворотними автоматично встановлюючими ножами (реверсивні).

Відкриті фрези найпростіші за своєю конструкцією. Розрізняють відкриті фрези з прямокутними, криволінійними та поворотними ножами [4].

Закриті фрези відрізняються від відкритих відсутністю шприх. Різновидами закритих фрез є відвальні, плугові та ложкові фрези. Ці фрези займають проміжне становище між відкритими та закритими фрезами. З одного боку, у них відсутні шприхи, які є характерною особливістю відкритих фрез, однак на відміну від закритих фрез в передній частині таких фрез відсутнє змикання ножів, що створює застійну зону – небезпечний осередок залипання при розробці налипаючого матеріалу. Фрези з поворотними ножами є різновидом відкритих фрез. Привод таких розпушувачів повинен бути реверсивним. Завдяки шарнірному з'єднанню ножів зі шприхами при зміні напрямку обертання ніж повертається та продовжує різати матеріал знизу вгору. Фрези з поворотними ножами не отримали широкого застосування. Закриті фрези бувають з 3, 4 і 6 ножами.



Рисунок. 1.9 – Фрези забірних пристроїв
землевсмоктуючих снарядів: *а* - відвальна фреза; *б* -
відвальна фреза з зубцями; *в*- плугова фреза

Відкриті фрези складаються з опорного кільця і ступиці з криволінійними або прямолінійними ножами. Ножі фрез виготовляються взаємозамінними, а їх кількість визначається можливістю залипання, тобто властивостями матеріалу. Недоліком даних розпушувачів є часте залипання у водоймах з рослинністю. Відвальні фрези в порівнянні з іншими в передній (торцевій) частині мають максимальні розміри. Водночас їх довжина найменша.

Ланцюговий розпушувач (рис. 1.10) являє собою механічний розпушувач у вигляді безкінечного ланцюга з встановленими на його ланках розпушувачами ґрунту без ковшів [118].

Розпушувач скребкового типу [52] (рис. 1.11) складається з двох плужних полиць з відтягнутими і загостреними кінцями, які представляють собою ножі.

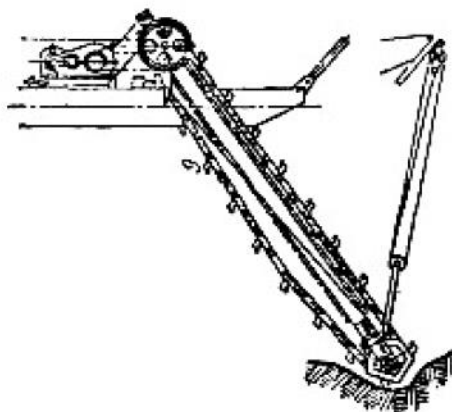


Рисунок 1.10 – Ланцюговий розпушувач

РО даного ґрунтозабірного пристрою є віброплита 1. Вібрація плиті передається вертикальним штоком 2 від електровібратора 3. Ферма вібратора шарнірно з'єднана з рамою 4 ґрунтозабірного пристрою і за допомогою гвинтової розтяжки 5 підтримується у вертикальному положенні при різних глибинах занурювання віброплити.

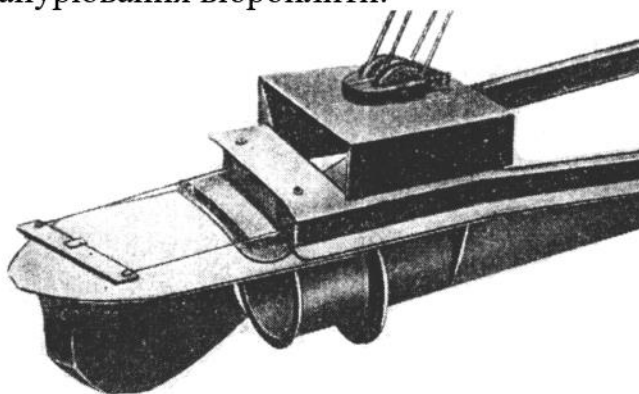


Рисунок 1.11 – Розпушувач скребкового типу

Під час руху пристрою загострені полиці зрізають шар сапропелю, який направляється в всмоктуючу трубу. Дані розпушувачі характеризуються простотою конструкції, вони прекрасно працюють в озерах з водною рослинністю.

Недоліками скребкового розпушувача є:

- створення великої консистенції пульпи;
- товщина розроблюваного шару складає близько

0,5 м.

Черпаковий розпушувач [118] (рис. 1.12) складається з бездонних черпаків, які з'єднані між собою стальними ланками.

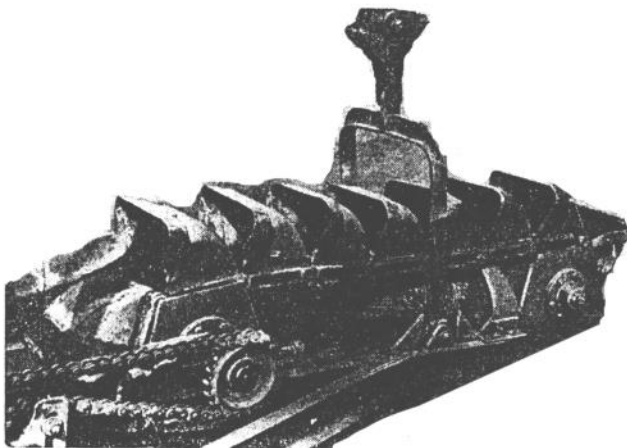


Рисунок 1.12 – Черпаковий розпушувач

Його використовують при розробці водонасичених, малозольних сапропелів без водної

рослинності. При проходженні сапропелю через зону всмоктування черпаки звільняються від сапропелю.

До волокуючих забірних пристроїв належить і ковшовий забірний пристрій матеріалу (рис. 1.13) системи інж. Б. М. Шкундіна (землевсмоктувач-лопата) [118].

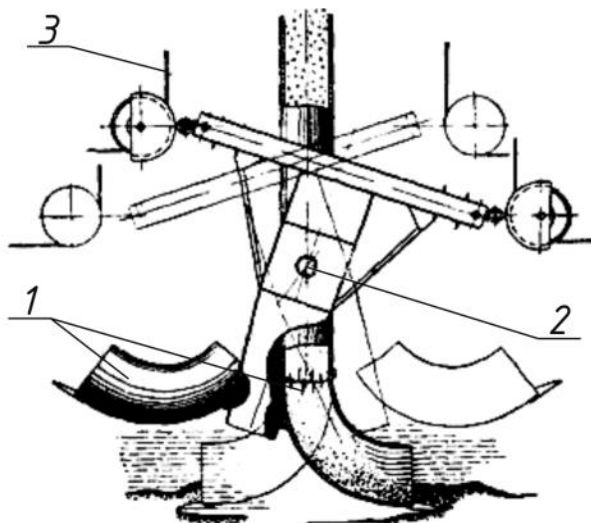


Рисунок 1.13 – Схема роботи ковшового забірного пристрою (землевсмоктувач-лопата): 1 – ковші; 2 – вісь повороту; 3 – папільонажні троси

Він складається з двох ковшів, що можуть повертатися навколо осі 2 на деякий кут. При повороті вправо задній отвір правого ковша виявиться суміщеним із вхідним отвором всмоктуючої труби, і, навпаки, при повороті вліво з вхідним отвором суміститься отвір лівого ковша.

Повороти ковша відбуваються під впливом натягу того чи іншого папільонажного тросу.

Так, під впливом натягу лівого тросу буде відбуватися папільонування вліво, і лівий ківш своєю ріжучою кромкою буде знімати стружку матеріалу, товщина якої визначиться поданням снаряду вперед. Зрізуваний пласт буде просуватися в глиб ковша під тиском нових порцій матеріалу і, так як вихід з ковша суміщений з виходом у всмоктуючу трубу, то матеріал буде всмоктуватися разом з відповідною кількістю води. При папільонуванні вправо забірний пристрій повернеться і в роботу включиться правий ківш.

В ґрунтозабірному пристрої системи Б. М. Шкундіна (землевсмоктувач-лопата) створені сприятливі умови для всмоктування матеріалу. Відокремлений пласт матеріалу подається безпосередньо до приймального отвору всмоктуючої труби, весь потік всмоктуваної води проходить через працюючий в даний момент ківш, що сприяє високому насиченню пульпи. Суттєвою перевагою описаного пристрою є відсутність обертових частин [118].

Існує досить багато конструкцій пристроїв для добування сапропелю з шнековими РО, кожна з яких подібна до конструкції, показаної на рис. 1.14 [15, 69]. Даний пристрій складається з циліндричного шнека 1, нерухомого корпусу 2, всмоктуючого наконечника 4 і

розпушувача 3. Розпушувачі також бувають різної форми : зрізаного конуса, повного конуса, циліндричної і т. д.

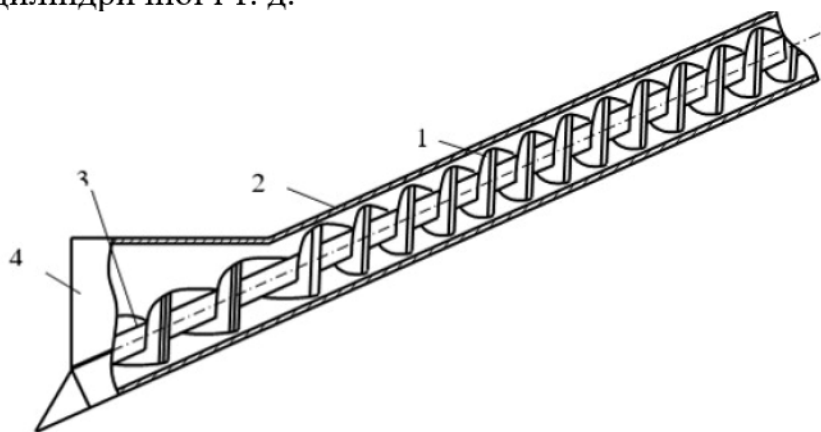


Рисунок 1.14 – Шнековий РО із змінним кроком витків

Пристрої з шнековими РО використовуються в основному при добуванні органічних і змішаних сапропелів на малих та середніх озерах. Перевагами даного пристрою є простота конструкції та висока продуктивність. Сапропель добувається природньої вологості і при цьому немає екологічної загрози для водойми [116, 117]. Проте такі засоби для добування сапропелів мають суттєвий недолік, який полягає у складності виконання технологічного процесу через потребу у додатковому обладнанні для його пересування по водоймі.

Роторно-ковшовий забірний пристрій [101] (рис.1.15) складається з ротора з ковшами 1, бункера

2, циліндрична частина якого виконана у вигляді решітки, набран у з ножів 3. До рами всмоктуючої труби 4 кріпиться торцевою стороною бункер.

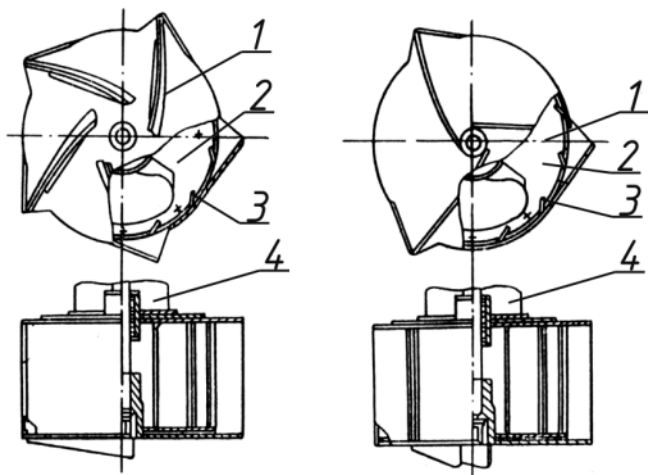


Рисунок 1.15 – Роторно-ковшовий забірний пристрій

Даний пристрій занурюється в сапропель з допомогою лопатей. По мірі руху ковші ротора 1 обертаються і зрізається шар, який під тиском нових порцій переміщається через циліндричну решітку 2. При цьому поступаючий матеріал і рослинні рештки подрібнюються ножами 3 та вловлюються потоком води і потрапляють у всмоктуючу трубу 4.

Недоліками роторно-ковшового забірною є:

- ускладнення у роботі при попаданні твердих решток;

- неможливість розробки сапропелю з високою вологістю.

Заслугує на увагу також конструкція роторно-ковшового забірного пристрою системи інж. В. А. Морозова (однороторного) (рис. 1.16) [118].

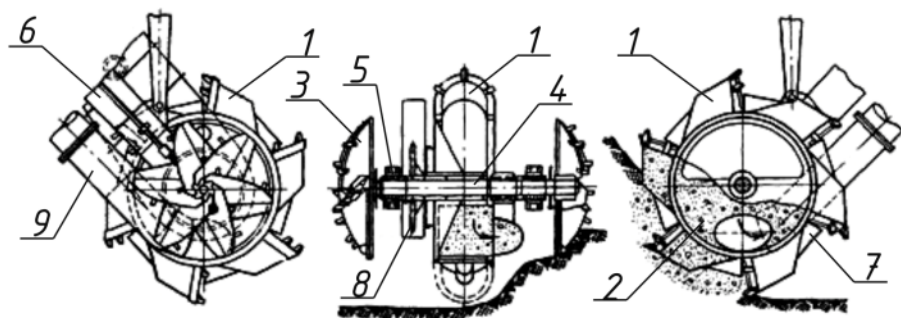


Рисунок 1.16 – Роторно-ковшовий забірний (однороторний) пристрій системи В. А. Морозова.

Даний пристрій складається з багаточерпакового ротора 1, що охоплює циліндричний бункер 2. Бункер розташований концентрично з ротором і відкритий у верхній частині. До нижньої частини однієї з торцевих стінок бункеру приєднана всмоктуюча труба 9. Матеріал, захоплений черпаками ротора, при його обертанні в період проходження ковшів над верхньою відкритою частиною бункера буде висипатись в нього та засмоктуватися разом з водою. На консолі валу посаджені бокові фрези 3, що полегшують пересування ротора в сторони. Обертання ротора здійснюється за допомогою ланцюгової передачі на зірочку 8. Вал ротора 4 обертається в підшипниках 5. Ланцюгова

передача закрита кожухом 6. На днища ковшів приварені козирки 7, які захищають сусідні ковші від потрапляння негабаритних шматків чи значних каменів.

Із вищесказаного слідує, що розроблено багато способів та засобів для добування сапропелевих покладів, і на їх вибір впливають певні умови: площа водойми, тип сапропелю, умови його залягання та ін.

З іншої сторони технічні засоби, представлені вище, відрізняються складністю конструкції, потребують серйозної технічної та технологічної підготовки у виробництві. Їх вартість є значною, відтак вони не знаходять широкого поширення у сучасних економічних умовах.

Також нами запропонована удосконалена класифікація, що базується на принципі поділу РО їх за типом енергії, яка використовується для здійснення добувального процесу, та видом забірних пристроїв котрі при цьому використовуються (рис. 1.16).

У відомих технологіях добування озерних покладів найбільш широко використовується механічна енергія, енергія гідравлічного струменю та їх поєднання у гідромеханізованих технологіях. Меншого застосування набула енергія стиснутого повітря і практично не застосовується для промислових розробок пневмомеханізована технологія.

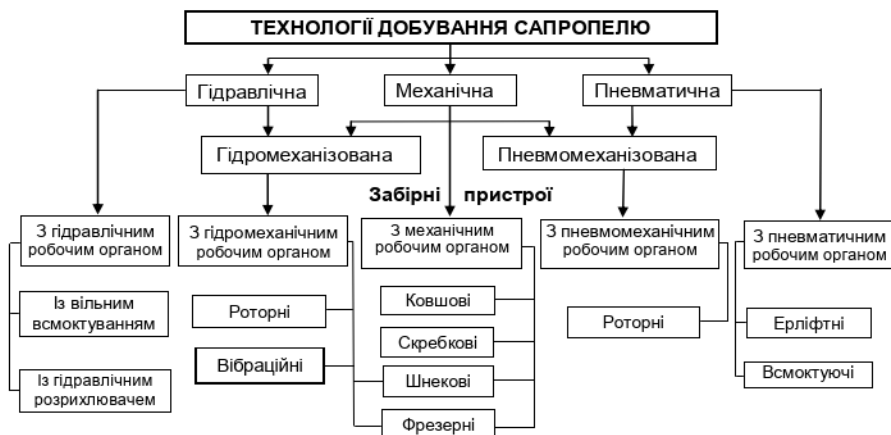


Рисунок 1.16 – Класифікація технологій добування сапропелів та відповідних РО (забірних пристроїв)

За даною наведеною класифікацією проведемо аналіз конструкцій засобів та пристроїв для добування сапропелю, як вітчизняного так і закордонного виробництва у наведеній вище поширеності їх застосування.

Ковшові забірні пристрої знайшли своє застосування у вигляді скреперного ковша для екскаватора під час добування сапропелю з під шару води. У такому випадку екскаватор розміщується на плавучому понтоні, а добуті поклади транспортуються до берегової лінії баржею із наступним перевантаженням у наземний транспорт [130]. Таке технічне рішення дозволяє добувати поклади природної вологості та вимагає значних затрат на транспортно-

перевантажувальні роботи і спричинює значне замулення води.

Використання ковшового робочого органу у складі ковшово-елеваторного пристрою [13, 37, 58, 130] дозволяє зменшити металомісткість процесу добування та забезпечує добування покладів природної вологості, але вимагає значних затрат на транспортно-перевантажувальні роботи.

Також пропонується конструкція комплексу для добування сапропелю із скребковим гнучким конвеєром, який одночасно забезпечує і транспортування покладів до берегової лінії, але характеризується значною металомісткістю [56].

Застосування профільного ковша у канатно-скреперній установці (рис. 1.17) для добування сапропелю, із малих за площею водойм, дозволяє позбутись недоліків описаних вище пристроїв [7]. Проте застосування такої установки на середніх та великих озерах є економічно недоцільним. Процес добування надто повільний та енергозатратний, відбувається збівтування води, що несе за собою негативні екологічні наслідки.

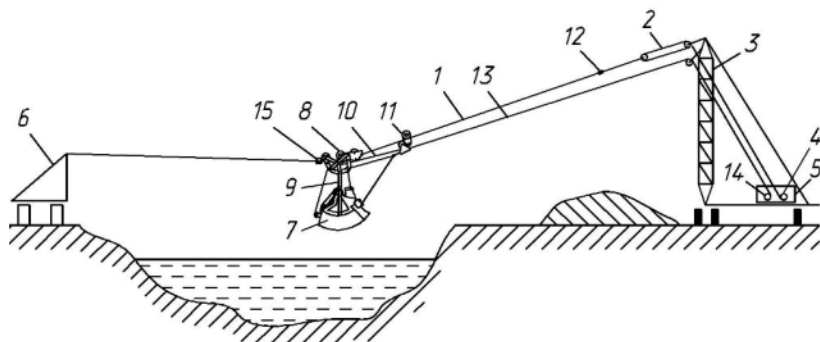


Рисунок 1.17 – Канатно-скреперна установка для добування сапропелю:

1 – несучий канат; 2 – блоки; 3 – велика башта; 4 – барабан; 5 – лебідки; 6 – мала башта; 7 – ківш; 8 – каретки; 9 – важелі; 10 – канат; 11 – ролик; 12, 15 – упор; 13 – тяговий канат; 14 – тяговий барабан

Використання шнекових забірних пристроїв [6, 53, 130, 131] за механічного способу добування дозволяє забезпечити неперервність процесу. Існують конструктивні рішення, шнекових забірних пристроїв, які можуть зневоднювати сапропель у процесі його добування (рис. 1.18) [53, 131]. Широке впровадження таких пристроїв обмежується значною їх металомісткістю, особливо для значних глибин добування та складністю механізму приводу робочого органу. Також за рахунок збільшення глибини добування відбувається порушення процесу піднімання покладів, оскільки сапропель налипає на витки шнеку та не переміщується вгору, обертання

шнеку продовжується без подальшого піднімання сапропелю.

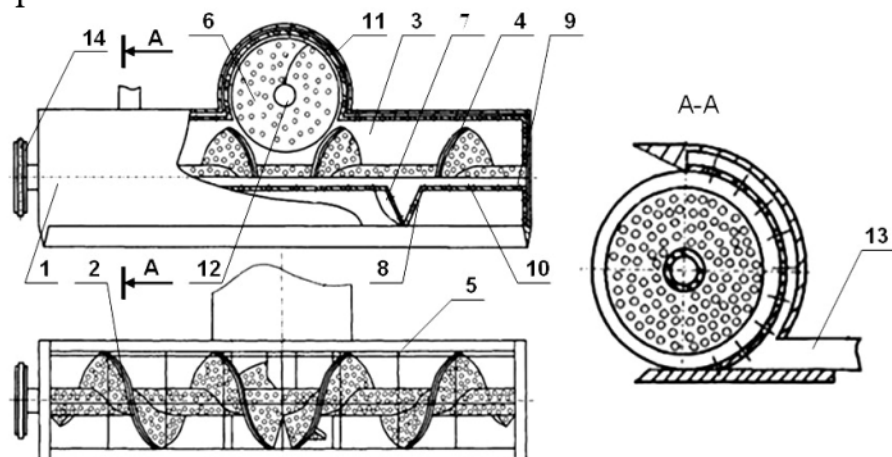


Рисунок 1.18 – Пристрій для добування сапропелю із шнековим робочим органом: 1 – корпус; 2, 4 – перфоровані шнеки; 3 – всмоктуюча насадка; 5 – вікно; 6 – піднімальний шнек; 7 – протиріжучі пластини; 8 – ножі; 9, 10, 11, 12 – порожнини; 13 – відсмоктуючий патрубок; 14 – привод

Зазначені засоби для добування сапропелю із механічними забірними пристроями лише частково забезпечують виконання необхідних вимог, вони є металомісткі та енергозатратні в більшості сконструйовані без врахування екологічних передумов.

Засоби, які застосовуються для добування сапропелю із використанням гідравлічної енергії можна поділити на дві підгрупи за типом забірного

пристрою: із вільним всмоктуванням та із гідравлічним розрихлювачем.

Щодо першої підгрупи, суміш сапропелю із водою (сапропелева пульпа) вільно всмоктується через насадки різноманітної конструкції ґрунтовим насосом з поверхневого шару покладів.

Для унеможливлення забивання забірної насадки рослинністю запропоновано ряд захисних пристроїв. Найпростіші з них передбачають використання рухомих чи нерухомих решіток або ножів з торця насадки. Такий ґрунтозабірний пристрій (рис. 1.9) містить всмоктуючу насадку 1 та шарнірно закріплену на ній рухому решітку 3 [43]. Привод решітки здійснюється реверсивною лебідкою 2. Момент включення лебідки визначається граничним значенням розрідження у всмоктуючому трубопроводі (контролюється вакууметром).

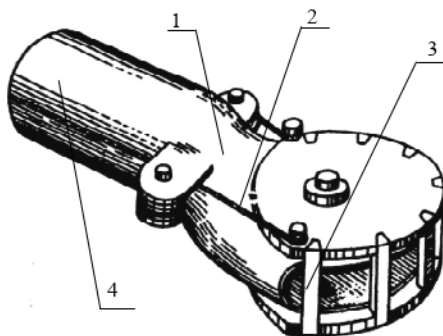


Рисунок 1.19 – Забірний пристрій з рухомою решіткою: 1 – всмоктуюча насадка; 2 – привід решітки; 3 – рухома решітка; 4 – піднімальний трубопровід

Такий пристрій забезпечує задовільні результати під час добування мало в'язких сапропелевих покладів підвищеної вологості за траншейного способу розробки родовища. Але у випадку папільонажного способу розробки (робочий орган поперемінно переміщається з ліва на право і навпаки) даний пристрій не забезпечує бажаної консистенції пульпи. Оскільки у такому випадку лише частина всмоктуючої насадки контактує із покладами.

З метою усунення такого недоліку пропонується до використання інший забірний пристрій фрезерного типу (рис. 1.20) [43].

Особливістю цього пристрою є робоча фреза, яка забезпечує розрихлення злежаних покладів сапропелю, а також перерізання рослинного покриву який присутній в акваторії озера. Пристрій забезпечує роботу при папільонажному способі розробки тобто почерговій зміні напрямку руху вправо та вліво. Застосування такої конструкції забірного пристрою для верхнього шару сапропелю забезпечує високу консистенцію пульпи та нормальну рівномірність розробки поверхні покладів. Застосування даного пристрою для добуванні середніх і нижніх шарів покладів потребує потужних насосних установок та значних енерговитрат.

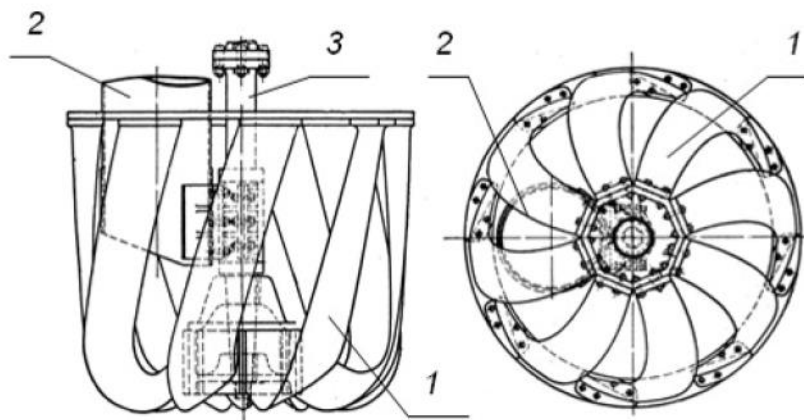


Рисунок 1.20 – Забірний пристрій: 1 – фреза; 2 – всмоктувальний трубопровід; 3 – привід фрези

Розробка конструкцій забірних пристроїв, які належать до другої підгрупи, спричинена необхідністю розпушення покладів енергією гідравлічного потоку при розробці нижніх, більш ущільнених, шарів сапропелю [43, 58, 67, 70]. На рисунку 1.21 представлена конструктивна схема такого забірного пристрою [43]. Випробування даного пристрою під час траншейного способу розробки покладів показали, що застосування гідравлічного розрихлювача забезпечує досить стійку консистенцію пульпи при середньому вмісті сухої речовини 35,2 г/л. При папільонажному способі розробки покладів, конструкція даного забірного пристрою забезпечує низьку консистенцію пульпи і тому малоефективна.

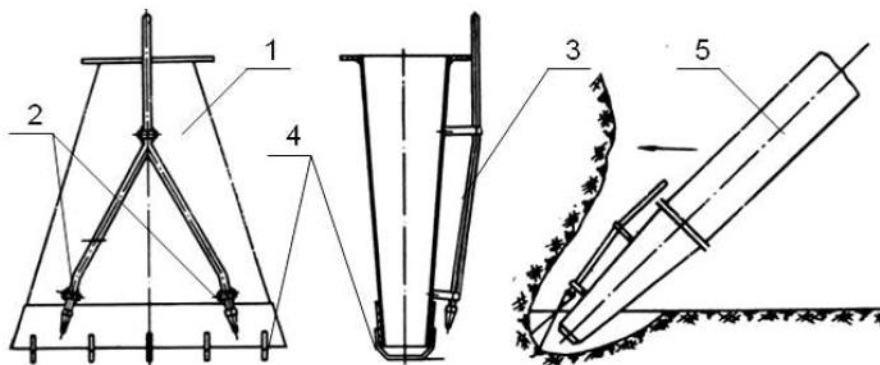


Рисунок 1.21 – Забірний пристрій з гідравлічним розрихлювачем: 1 – корпус;

2 – форсунки; 3 – магістраль подачі води; 4 – захисна решітка; 5 – підйомна труба

Також існує ряд конструктивних схем забірних пристроїв з гідравлічним розрихлювачем для добування корисних копалин із підводних родовищ. Дані пристрої запропоновані для спеціальних типів покладів де дозволяють покращити якість роботи (рис. 1.22) [67, 70, 89].

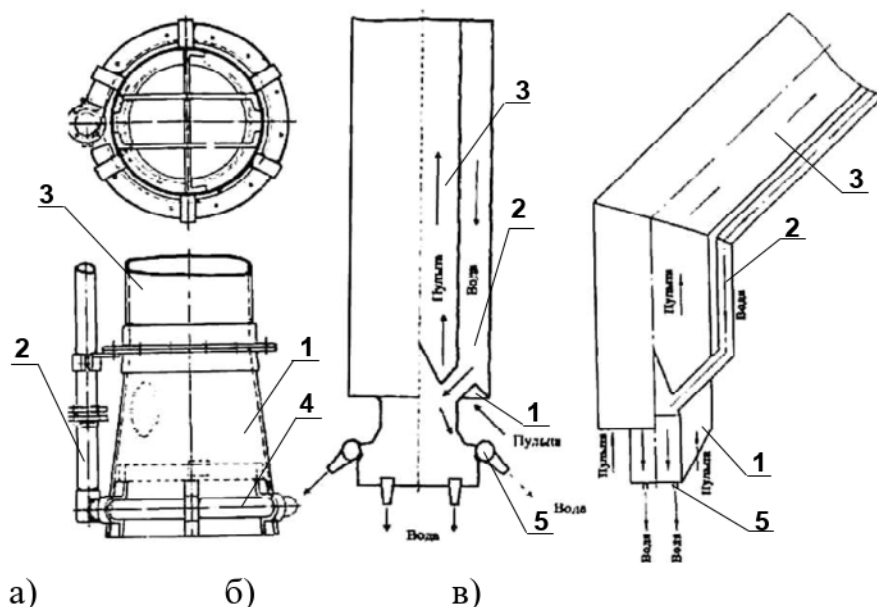


Рисунок 1.22 – Модифікації забірних пристроїв із гідравлічним розрихлювачем: а) – з кільцево-форсунковим напірним апаратом; б, в) – з форсунковим напірним апаратом; 1 – корпус; 2 – магістраль подачі води; 3 – піднімальний трубопровід; 4 – кільцевий напірний повітропровід з форсунками; 5 – головка напірної порожнини з форсунками

Таким чином гідравлічні забірні пристрої засобів для добування сапропелю мають значно простішу конструкцію у порівнянні із механічними. Використання енергії гідравлічного потоку дозволяє здійснювати забір покладів, їх транспортування до

поверхні води, а також і подачу до берегової лінії та відстійників. Але необхідність подавання додаткової кількості води для розпушення середніх та нижніх шарів сапропелю призводить до значного зниження концентрації сухої речовини у добутих пульпі, тобто до значного зростання вологості добутого продукту.

Позбутись необхідності подачі додаткової води дозволяє поєднання у забірних пристроях механічної енергії та енергії гідравлічного потоку. У такому випадку відокремлення покладів від загального масиву забезпечує механічний робочий орган, а транспортування – гідравлічний потік. Значну кількість конструкцій забірних пристроїв, які працюють за наведеним принципом можна поділити на роторні, шнекові та фрезерні.

Для розробки сапропелевих покладів з великою кількістю рослинності пропонується використовувати шнеково-скреперуючі забірні пристрої з подрібнюючим апаратом і рухомим екраном (рис. 1.23). Пристрій оснащений ріжучим елементом у вигляді шнеку, що забезпечує подрібнення рослинних решток, які потрапляють у забірну частину [43, 44, 58].

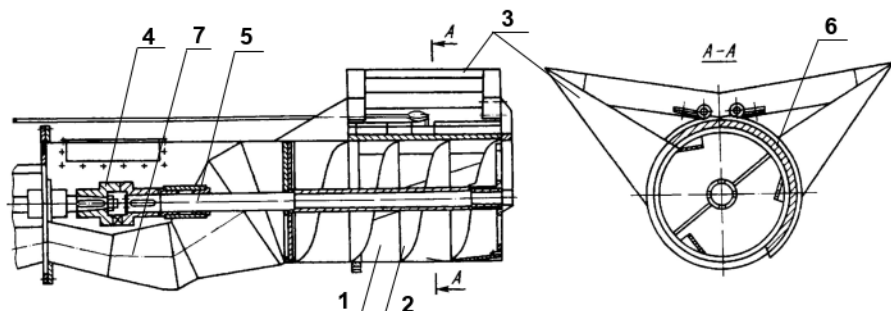


Рисунок 1.23 – Шнеково-скреперний забірний пристрій: 1 – корпус; 2 – шнек; 3 – рухомий екран (скрепер); 4 – муфта; 5 – вал; 6 – поворотний кожух; 7 – піднімальний трубопровід

Задовільні результати дають забірні пристрої із фрезерними забірними робочими органами [54]. Відмінностями пристрою являється присутність фрези з набором знімних розрихлююче-подаючих і ріжучих ножів та активатора-подрібнювача (рис. 1.24). За допомогою останнього відбувається кінцеве подрібнення рослинних домішок і забезпечується додатковий напір при всмоктуванні насосу. Продуктивність такого пристрою під час роботи з сильно зарослими покладами становить $110 \text{ м}^3/\text{год}$.

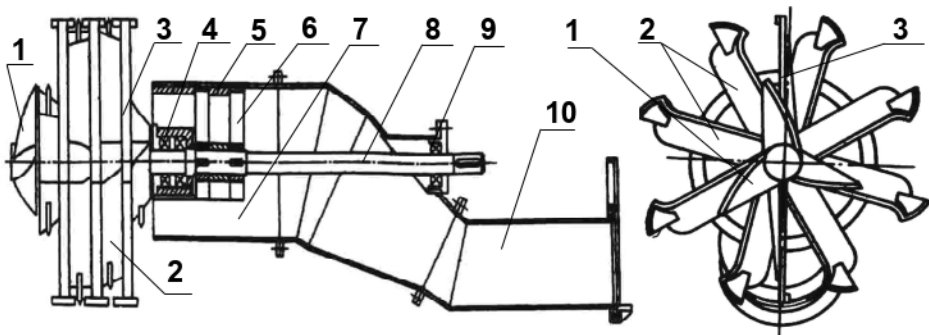


Рисунок 1.24 – Забірний пристрій для розробки зарослих донних покладів: 1 – торцева фреза; 2 – ріжучий ніж; 3 – протиріжучий ніж; 4, 9 – опора; 5, 6 – ніж статор та ніж ротор подрібнювач; 7 – всмоктувальний патрубок; 8 – вал; 10 – підйомний трубопровід

З удосконаленням конструкцій всмоктувальних пристроїв запропоновано використовувати гідравлічно вібраційні розрихлювачі (рис. 1.16) для глибоко розміщених злежаних сапропелів, які зосереджені на глибині понад 15...20м від поверхні водного дзеркала.

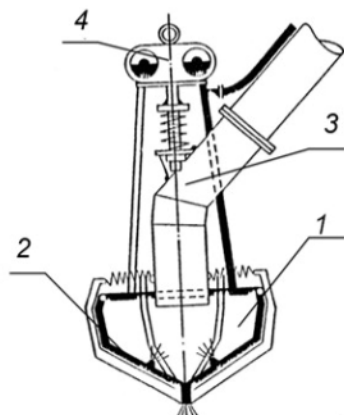


Рисунок 1.25 – Вібраційний забірний пристрій: 1 – вібраційна чаша; 2 – водяний трубопровід; 3 – всмоктувальний трубопровід; 4 – механізм підйому (корпус)

Враховуючи складність фрезерних механічних забірних пристроїв, вібраційні гідравлічні зарекомендували себе дещо позитивніше, адже завдяки в'язкості і текучості сапропелів та з допомогою вібрації відбувається порушення структури покладів. Це дає змогу кращому переміщенню покладів від периферії до центру за воронкового способу добування, та забезпечує краще переміщення покладів по піднімальному трубопроводі під час всмоктування. В свою чергу пристрій має недоліки і унеможливорює добування сапропелів природної вологості, а лише у суміші їх з водою оскільки оснащений трубопроводом по якому вода подається в зону вібрації також пристрій не забезпечує задовільну роботу з зарослими підводними покладами.

Отже засоби для добування сапропелів із гідромеханічним забірним пристроєм дозволяють підвищити консистенцію пульпи добутих покладів, забезпечують хорошу роботу на родовищах вкритих рослинністю. Але володіють недоліком досить складного механізму приводу робочих органів.

Розробці конструкцій пневматичних забірних пристроїв та впровадження їх під час добування сапропелю невинуватено приділялось мало уваги. Адже за гідравлічних та гідромеханічних технологій добування спостерігається протиріччя, яке полягає у наступному. Для досягнення бажаної консистенції пульпи доводиться спочатку поклади насичувати водою, а потім із значними затратами часу та ресурсів проводити їх зневоднення [96]. Наявні розробки пневматичних забірних пристроїв можна згрупувати за принципом дії на ерліфтні та всмоктувальні.

Існує значна кількість конструктивних розробок ерліфтних пристроїв для добування корисних копалин із підземних та підводних родовищ [2, 68, 69, 94, 95, 96, 97, 98]. Але лише незначна їх кількість пропонується для використання під час добування сапропелю [94, 95, 96, 97, 98]. Така особливість спричинена специфікою сапропелевих покладів, а отже і необхідністю інтенсифікації процесу утворення газорідинної суміші у змішувачі ерліфта. Тому з точки зору запропонованої класифікації (рис. 1.3) такий змішувач слід розглядати як забірний пристрій. Так у конструкції ерліфтного

пристрою Сукач М.К. пропонує застосовувати псевдозрідження сапропелевих покладів струменем повітря, який виходить із сопел встановлених під кутом до осі подаючого патрубка (рис. 1.26).

Таке розташування сопел забезпечує утворення повітре-струменевого гвинта. Даний засіб дозволяє значно підвищити ефективність процесу завдяки збільшенню концентрації сапропелю в пульпі. Також підвищується надійність та знижується металомісткість процесу через відсутність механічних приводів та виконавчих органів. Але у той же час залишається відкритим питання забивання рослинними рештками та ефективності роботи за папільонажного способу добування.

Знайшли своє застосування під час добування сапропелів і всмоктувальні забірні пристрої у складі пневматичних камерних насосів [55]. Такі конструктивні розробки (рис. 1.27) застосовуються у обладнанні італійської фірми „Pneuma” [99]. Особливістю роботи розглядуваного засобу є наявність двох робочих циклів: заповнення камери сапропелем та витіснення стиснутим повітрям. З метою підвищення продуктивності такий насос обладнується трьома камерами

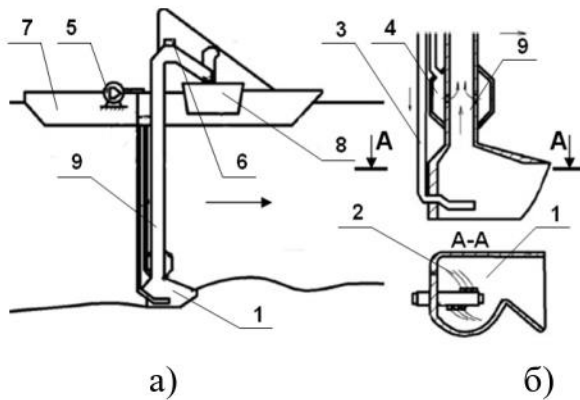


Рисунок 1.26 – Схема засобу для добування сапропелю а), та ерліфтного забірного пристрою б): 1 – забірник (змішувач), 2 – сопла 3, 4 – повітропроводи, 5 – компресор, 6 – повітровідокремлювач, 7 – плавзасіб, 8 – зумпф, 9 – піднімальний трубопровід

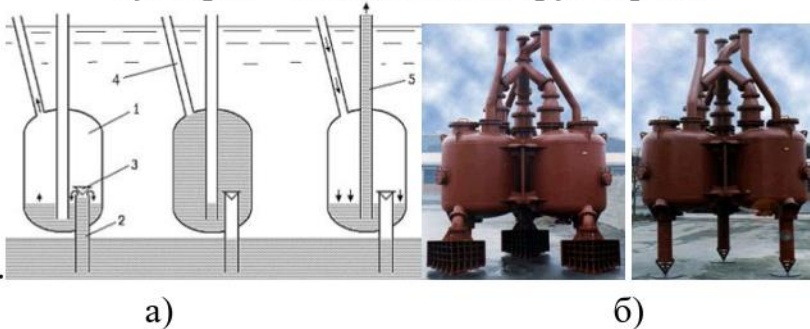


Рис. 1.27. Схема роботи а), та фото пневматичного камерного насоса б): 1 – робоча камера, 2 – забірний пристрій, 3 – клапан; 4 – труба входу і виходу повітря, 5 – вивідний трубопровід

Для забезпечення всмоктування покладів під час

добування на глибині менше 4 м використовують вакуумний пристрій. Забірний пристрій виконують або у вигляді ковша закритого решіткою (у випадку горизонтальної розробки покладів) або у вигляді решітчастого конуса (під час вертикальної розробки покладів).

Розглядувані пристрої дозволяють добувати сапропель природної консистенції та не допускають підвищення мутності води. Але у той же час навіть за відсутності механічних пристроїв даний засіб характеризується значною металомісткістю, потребує компресора із робочим тиском від 0,8 МПа та автоматичного блоку керування роботою клапанної системи. Обладнання описаними видами забірних пристроїв робить проблематичним добування покладів підвищеної в'язкості (із пониженою вологістю) та забруднених рослинними рештками.

Вирішити ряд описаних проблем дозволяють пневмомеханічні забірні пристрої. Так обладнання ерліфтного забірного пристрою роторним вихреутворювачем дозволяє покращити його роботу на покладах підвищеної в'язкості та забруднених рослинними рештками (рис. 1.28).

Аналогічний ефект досягається під час використання всмоктувально-фрезерного забірного пристрою в складі пневматичних камерних насосів для добування сапропелю [99]. Але це у свою чергу ще додатково ускладнює конструкцію таких засобів.

З аналізу літературних джерел відомі

конструкції і інших пневматичних забірних пристроїв які знайшли своє місце у складі маніпуляторів транспортних систем в різних галузях промисловості і призначені для забору, подачі і транспортування різного роду сипких матеріалів [8, 24, 27, 30, 46, 71, 75, 76, 92, 105].

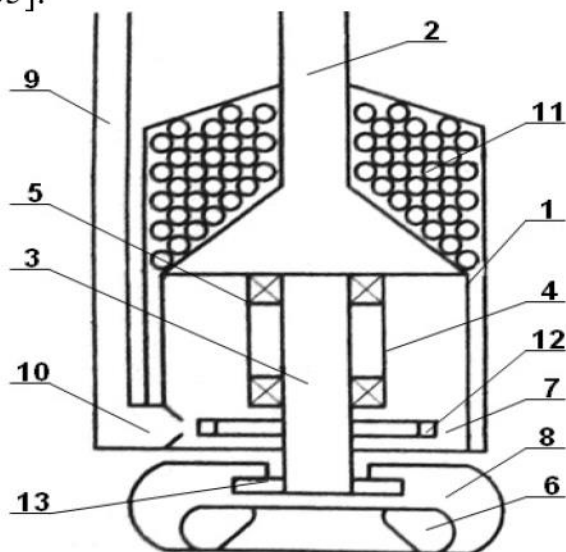


Рисунок 1.28 – Пневмомеханічний забірний пристрій:

1 – змішувач; 2 – підймальна труба; 3 – падаюча труба; 4 – стакан; 5 – підшипники; 6 – турбіна; 7 – вихреутворювач; 8 – насадка; 9 – повітряний трубопровід; 10 – сопловий апарат; 11 – перфорований кожух; 12 – підживлююча камера; 13 – канал

Так наприклад, для перевантаження зернових сільськогосподарських матеріалів (рис. 1.29, а),

прибирання решток стружки у металообробних цехах (рис. 1.29, б), транспортуванні сухого цементу (рис. 1.29, в), вивантаження чайного листа з трюмів транспортних кораблів (рис. 1.20, г) і ін. використовують саме пневматичні забірні пристрої. Ці забірні пристрої однакові за принципом роботи, але різні за конструкцією та призначенням. Дані пристрої володіють досить високою продуктивністю, основна спільність між ними є регулювальний механізм для подачі повітря.

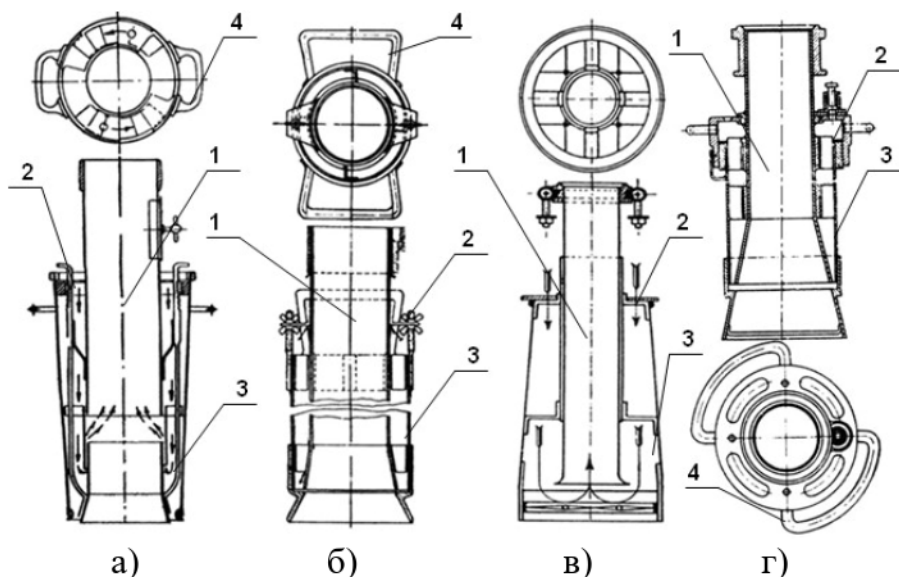


Рисунок 1.29 – Пневматичні забірні пристрої для сипких та пиловидних матеріалів: 1 – засмоктуюча труба; 2 – регулювальний механізм; 3 – рухомий патрубок; 4 – ручки для підймання і перенесення

Більшість відомих засобів для добування сапропелю, забірних пристроїв чи робочих органів не

дозволяють виконувати добування сапропелів природної вологості, таких яких потребує сільськогосподарський ринок. Тому узагальнюючи результати аналізу засобів для добування сапропелю можна зробити висновок, що з точки зору висунутих вимог найбільш перспективним слід розглядати нові машини, а їх вдосконалення з умовою пристосування до озерних сапропелевих родовищ дасть очікуваний результат.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ ФРЕЗЕРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ДОБУВАННЯ СЕРЕДНЬОГО ШАРУ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ

2.1 Теоретичні передумови щодо створення нової конструкції засобу для добування озерного сапропелю

Як видно з великої кількості способів і технічних), вони передбачають можливість добування озерного сапропелю з-під шару води. Проте, забезпечити чітке розмежування між пелогеном і середнім, найбільш продуктивним та з високими якісними показниками сапропелю шаром, даними способами та технічними засобами неможливо.

Запропонований нами спосіб і технічний засіб для добування сапропелів з-під шару води [62, 63, 64], належить до механізованих способів із використанням модулів з активними РО. Відтак РО мають забезпечити екологічне відділення пласта середнього шару. В процесі підйому з-під шару води та переміщення у накопичувальну баржу, необхідно звільнити матеріал від вільної води. Поряд з цим, екологічні наслідки мають бути мінімізовані. Зрозуміло, що досягти максимального результату можливо за умови, коли робочі швидкості модуля та його РО будуть

мінімальними. Важливим аспектом у сучасних умовах створення такого модуля має бути простота конструкції.

Синтез відомих елементів відомих РО вказує, що для відділення середнього шару озерного сапропелю найкраще підходять елементи фрезерних засобів, поверхні яких мають загострену ріжучу кромку. Вибираючи криволінійність робочої поверхні необхідно врахувати коефіцієнти тертя та липкості. В іншому випадку виникнуть проблеми не тільки з врізанням у шар сапропелю, але й із звільненням робочого простору забірною пристрою під час передачі матеріалу до наступних РО.

Тривалі дослідження з можливостей звільнення озерного сапропелю від вільної води [17, 14, 19], вказують що безперервний процес транспортування досить успішно здійснюється за допомогою гвинтових РО. Існує ряд конструктивних пропозицій [18, 26] щодо їх вдосконалення для створення змінних тисків у робочому просторі робочих елементів транспортуючого засобу. Тут важливо розібратись на якому етапі переміщення, піднятого з-під води сапропелю, розпочати його відтиск. Результати досліджень показують [19], що тривалий незначний механічний вплив робочих поверхонь на сапропель, може суттєво змінити його структуру.

На рис. 2.1 схематично зображено запропонований засіб для добування середнього шару

озерних сапропелів з частковим відтиском вільної води.

Всі РО приводяться в дію змонтованим на понтоні 13 трактором 12. Для здійснення поворотів на холостих ходах по водоймі передбачено направляюче поворотне кермо 15 та лопатеві колеса 16, привід яких здійснюється, відповідно, від керма трактора та через ланцюгову передачу від його ведучих осей. Засіб для добування озерних сапропелів працює наступним чином.

Попередньо підготовлений для монтажу трактор 12 встановлюють на понтон 13 і з'єднують всі необхідні для роботи системи. Гідроциліндрами 8 забірний пристрій 1 опускається на глибину 0,5 від його діаметра у середній шар сапропелю. В процесі переміщення засобу для добування нерухомим корпусом 2 частково усувається пелоген.

Чотирьохлопатеві криволінійні полиці забірного пристрою під час врізання у шар сапропелю створюють тягову силу, яка переміщає засіб для добування сапропелю у напрямку розробки пласта. Відокремлений сапропель під тиском наступних захоплених порцій просувається по внутрішній поверхні полиць, виконаних у формі спіралі Архімеда, потрапляє на витки шнека 3. Шнек 3 переміщає сапропель від середини до периферії забірного пристрою 1, де його захоплюють витки шнекового преса 4, що транспортує сапропель в бункер 9 вивантажувального шнекового преса 10.

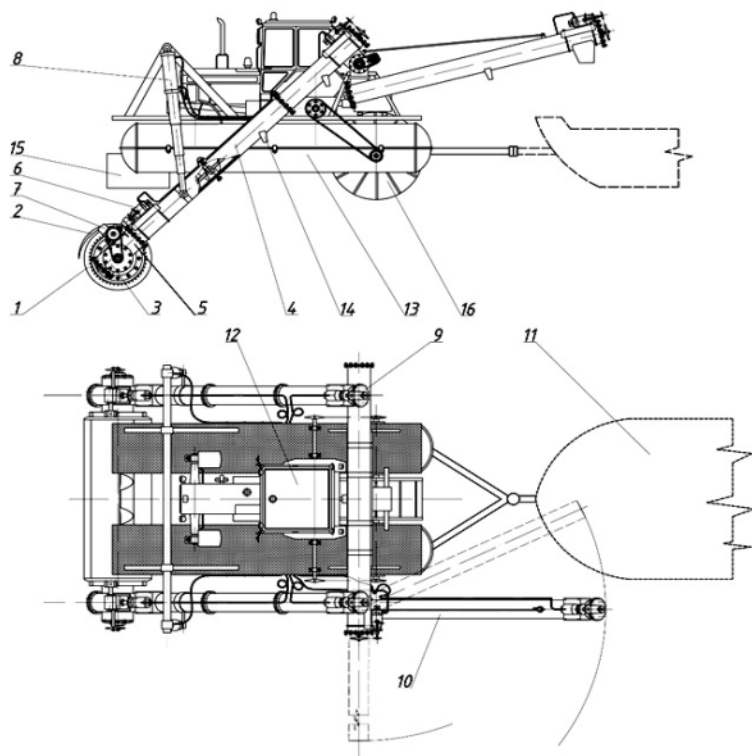


Рисунок 2.1 – Схема засобу для добування озерних сапропелів: 1 –забірний пристрій; 2 – нерухомий корпус; 3 – шнек забірного пристрою; 4 – шнековий прес; 5 – трубчастий рукав; 6 – гідродвигун; 7 – редуктор; 8 – гідроциліндр; 9 – завантажувальний бункер; 10 – вивантажувальний шнековий прес; 11 – баржа; 12 – трактор; 13 – понтон; 14 – зливні патрубки; 15 – кермо; 16 – лопатеве колесо.

В процесі переміщення сапропелю гвинтовими РО відбувається частковий відтиск вільної води, яка

через патрубки 14 скидається у водойму. Вивантажувальний шнековий прес 10 викидає зневоднений сапропель у баржу 11. Для створення необхідного підпору забірного пристрою, у роботу додатково можуть включатись лопатеві колеса 16.

Запропонований засіб для добування дозволяє зменшити негативний вплив на екосистему водойми за рахунок відсутності перемішування води, пелогену та середнього шару сапропелю через мінімальну частоту обертання криволінійних полиць забірного пристрою, зменшити сумарні енергозатрати на роботу засобу для добування, оскільки процес врізання полиць створює додаткову тягову силу для переміщення засобу, а також знизити його вартість за рахунок доступності комплектуючих вузлів в порівнянні з іноземними аналогами.

Важливим у конструюванні машин даного типу, є застосування модульного принципу. Відтак, у запропонованого технічного засобу можна виділити три основні складові: енергетична установка у вигляді серійного трактора, найпростіший понтонний засіб, РО та додаткове обладнання. Всі вказані складові легко монтуються і, у разі потреби, можуть крім РО, використовуватись з іншою метою.

2.2 Елементи розрахунку фрезерного робочого органу

Складність процесів відділення пласта матеріалу від загального масиву полягає у появі цілого ряду опорів, які необхідно усунути, для виконання технологічної операції добування сапропелю. Згідно відомих результатів досліджень сумарний опір, який виникає, називають опором копанню [5]. Проте для його визначення роздільно встановлюють опір різанню, опір переміщенню призми волочіння і опір переміщенню стружки через призму волочіння матеріалу в РО. Запропонована конструкція криволінійних полиць забірною пристрою для добування середнього шару озерного сапропелю у певній мірі конструктивно нагадує ковші, але лише з робочою криволінійною поверхнею без боковин.

У випадку розробки ковшем, під час виконання розрахунків сил різання і копання слід враховувати те, що машина повинна подолати комплекс опорів з врахуванням міцності матеріалу. До них відносять: сили опору різанню P , переміщенню так званої призми волочіння P_{np} і заповнення ковша $P_{зан}$, а для машин з робочим органом, що протягається по ґрунтовому масиву (напр. драглайн) силу опору переміщенню $P_{тр}$. Сумарна дотична сила, яка називається силою копання, визначається за рівністю [5]:

$$P_{\text{коп}} = P + P_{np} + P_{зан} + P_{тр}. \quad (2.1)$$

Силу копання $P_{\text{кон}}$ можна також визначати з врахуванням площі зрізу матеріалу $F_{\text{ср}}$ і середньою питомою (на одиницю ширини зрізу) силою копання $q_{\text{нит}}$ даного матеріалу машиною певного типу [4]:

$$P_{\text{кон}} = q_{\text{нит}} \times F_{\text{ср}}, \quad (2.1)$$

Або з врахуванням 2.1:

$$q_{\text{нит}} = \frac{P + P_{\text{пр}} + P_{\text{зан}} + P_{\text{тр}}}{F_{\text{ср}}}. \quad (2.3)$$

Процес відділення матеріалу від загального масиву супроводжуватиметься утворенням пласта певної товщини. В залежності від міцності, вологості, пластичності та інших властивостей матеріалу можливий пласт зливний, ступінчастий, елементний чи пласт відриву. Для нашого випадку пласт буде наближатись до стружки водонасичених глин і суглинків, тобто буде зливним. Визначаючи основні параметри робочих поверхонь запропонованого забірною пристрою необхідно враховувати також наступне.

На збільшення опору копанню суттєвий вплив має затуплення і зношування ріжучого інструменту. Так, допустимий на практиці знос ріжучого інструменту може спричинити збільшення сили різання ножами чи ковшами з суцільною ріжучою кромкою на 90...200 %, а екскаваторними ковшами із зубами – на 60...100 %. Відтак, вплив площадки зношування і затуплення можна враховувати як сили

додаткових опорів, які можна розглядати в умовах плоскої задачі.

На значення сили різання значний вплив має наявність бічних просторів у випадку взаємодії робочої поверхні, що проявляється в бічних розширеннях прорізу. Значний вплив на силу різання спричиняє також кут різання. Збільшення кута різання від 40° до 60° подвоює лобовий опір ножа. З іншого боку, надмірне зменшення кута різання (до значення менше 30°) може супроводжуватися ростом опору матеріалу. Тому, з урахуванням вимог до заднього кута різання і кута загострення ножа, оптимальне значення кута різання знаходиться в межах від 30° до 40° . Аналіз факторів вказує, що вони суттєво впливають на процес різання матеріалу та опір різанню ножом чи ковшем землерийної машини. Тому він включає опори, що відносяться як до площі поперечного перерізу зрізу, так і до периметру різання.

Відомі три способи розрахунку середньомаксимальних сил різання: за дослідними коефіцієнтами, спрощений і орієнтовний, останні два є найбільш прийнятні під час визначення сил опору відокремлення пласта сапропелю запропонованим забірним пристроєм. Спрощений і орієнтований методи розрахунку, які виконуються з використанням замість шести – одного коефіцієнта, який приймається з таблиці. Цей коефіцієнт m_{ce} являє собою питому силу різання в лобовій частині прорізу при куті різання

$\delta = 45^\circ$. Замість решти п'яти параметрів можуть бути використані значення відношення сил $P_{\text{бок}}$, $P_{\text{бок.ср}}$ і $P_{\text{пл.поч.}}$ до сили $P_{\text{св}}$.

Сумарна сила різання простим ножем у цьому випадку визначається формулою:

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

де $\eta_{\text{пл.поч.}}$ – коефіцієнт, що характеризує відношення сил $\frac{P_{\text{пл.поч.}}}{P_{\text{св}}^{\delta=45^\circ}}$ і значення якого береться з таблиці;

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{бок}} + S_{\text{бок.ср}}}{S_{\text{св}}^{\delta=45^\circ}} - \text{коефіцієнт, що враховує}$$

просторовий характер процесу руйнування. На кожний з цих коефіцієнтів розроблені таблиці;

$S_{\text{св}}$ і $S_{\text{бок}}$ – площі лобової і бічних частин поперечного перерізу прорізу, см^2 ;

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

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

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

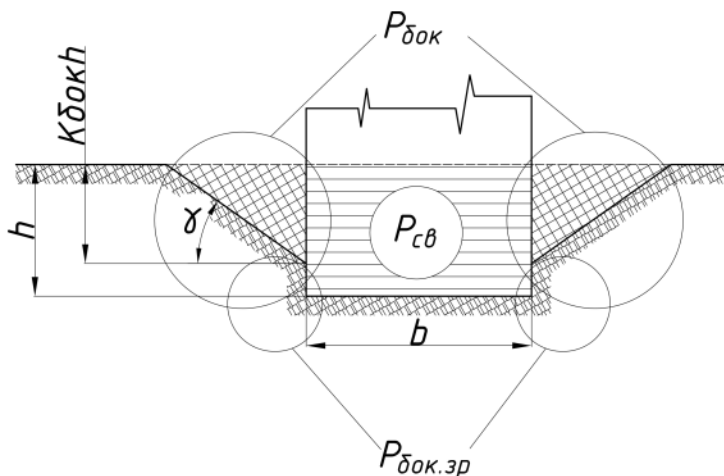


Рисунок 2.2 – Зони дії складових сили різання
гострим ножем

Дослід полягає в замірюванні сили блокованого різання етальонним ножем при двох значеннях ширини зрізу, однаковій глибині різання і куті вимірювання $\delta = 45^\circ$.

Значення $m_{св}$ вичислюється за формулою:

$$m_{св} = P_{св}^{\delta=45^\circ} = \frac{P_2 - P_1}{h_{1,2} \times (b_2 - b_1)}. \quad (2.5)$$

Нормальна сила різання є визначальним параметром, і для простого гострого ножа вона визначається по дотичній силі різання і кутах різання й тертя:

$$N = (P_{св} + P_{бок} + P_{бок.зр}) \times \text{ctg}(\delta + \mu). \quad (2.6)$$

Як правило, для землерийних машин значення кута різання гострими ножами матеріал затягуються в масив. Для затуплених чи зношених ножів необхідно прикладати додаткову силу для подолання опору матеріалу площадками зношування чи наростові на затупленні ріжучого краю поверхні. Тому результуюча нормальна сила буде мати вираз:

$$N = (P_{св} + P_{бок} + P_{бок.ср}) \operatorname{ctg}(\delta + \mu) - P_{пл.поч} \operatorname{ctg}(\delta_1 + \mu), \quad (2.7)$$

в якому δ_1 позначає кут між траєкторією різання і площадкою зношування чи нижньою частиною поверхні наросту з матеріалу.

Серед інших розрахунків опорів важливим є розрахунок сил для подолання опору призми волочіння або переміщення відділеного пласта матеріалу від загального масиву до наступного робочого органу. Згідно з [1], за відсутності зчеплення матеріалу в відокремленому об'ємі, процес його переміщення слід розглядати як зсув від тиску з боку криволінійної поверхні робочого органу, що безперервно повторюється.

У такому випадку, диференціальні рівняння рівноваги елементарної призми, виражені в полярних координатах r , θ , мають вигляд (рис. 2.3) [83]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= \gamma \cos \theta \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} &= -\gamma \sin \theta \end{aligned} \right\}. \quad (2.8)$$

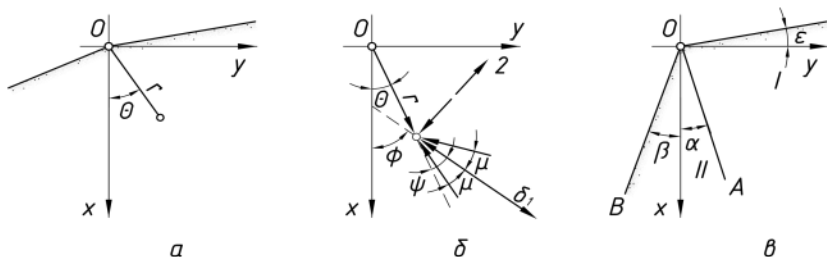


Рисунок 2.3 – Схеми для визначення умов граничної рівноваги сипучого клина (а, б) і для визначення тиску засипки на підпірну стінку (в) за [83]

Умови граничного стану середовища:

$$\frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 = \frac{\sin^2 \rho}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2. \quad (2.8)$$

У цьому випадку компоненти напруження в області граничного стану виражаються рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{aligned} \right\} = \sigma(1 \pm \sin \rho \cos 2\psi) \left. \vphantom{\begin{aligned} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{aligned}} \right\}, \quad (2.9)$$

$$\tau_{r\theta} = \sigma \sin \rho \sin \psi$$

у яких ψ – кут нахилу головної осі I до радіус-вектора r , проведеного в точку, що розглядається (рис. 2.3, б), причому $\psi = \phi - \theta$, де ϕ – кут нахилу цієї головної осі до осі θ_x .

Значення σ в цих рівняннях, у свою чергу, визначене як функція деякої змінної s , що залежить від кута θ :

$$\sigma = \gamma r s(\theta). \quad (2.10)$$

Підстановка виразів для σ_r , σ_θ і $\tau_{r\theta}$ у диференціальні рівняння рівноваги після їх перетворення дала систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} + 1 &= \frac{\cos \theta - \sin \cos(2\psi + \theta) - s \cos^2 \rho}{2s \sin \rho (\cos 2\psi - \sin \rho)} \\ \frac{\partial s}{\partial \theta} &= \frac{-\sin(2\psi + \theta) + s \sin 2\psi}{\cos 2\psi - \sin \rho} \end{aligned} \right\} . \quad (2.11)$$

Ця система рівнянь є основою для рішення низки практичних задач, у тому числі задач по визначенню сил для подолання опорів призми волочіння. В залежності від кута нахилу поверхні $\sigma_{від}$ слід розрізняти три випадки взаємодії полиці з матеріалом (рис. 2.4) [7].

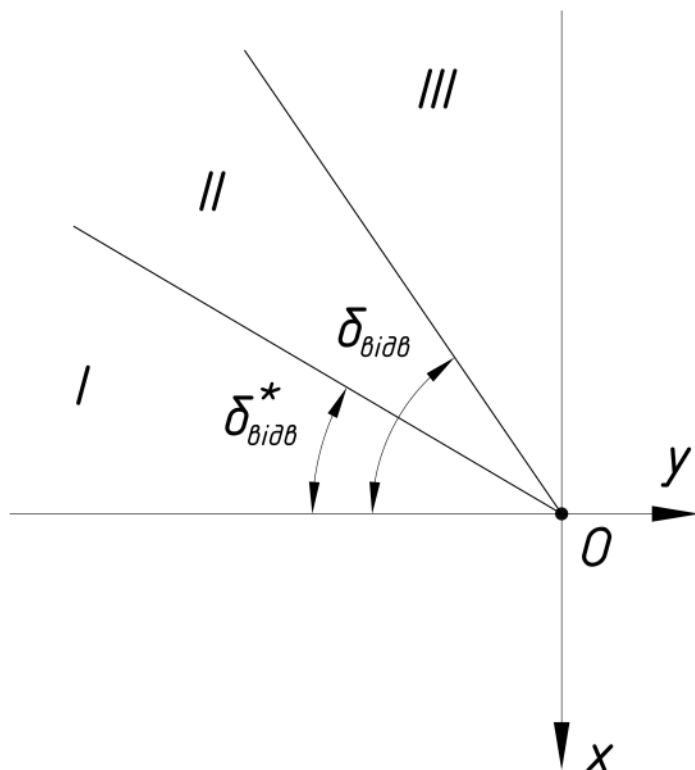


Рисунок 2.4 – Схема областей взаємодії полиці з матеріалом

Перший відповідає пологим граням, при яких кут нахилу полиці

$$\delta_{видв} \leq \delta_{видв}^* ;$$

$$\delta_{видв}^* = \frac{1}{2} \left(\phi_{np} + \arcsin \frac{\sin \phi_{np}}{\sin \rho} - \mu + \arcsin \frac{\sin \mu}{\sin \rho} \right), \quad (2.12)$$

де μ – кут тертя по поверхні полиці;

ρ – кут внутрішнього тертя матеріалу;

ϕ_{np} – кут природнього відкосу матеріалу;

$\sigma_{відв}$ – кут нахилу полиці.

Як показали перші ж розрахунки, в нашій задачі справу маємо з пологими гранями, за яких виникає найпростіший напружений стан, параметри якого визначаються у замкнутому вигляді. Тому інші схеми взаємодії полиці з сапропелем тут не розглядаються.

Для нашого випадку підстановка змінних

$$\phi = \frac{1}{2} \left(\varepsilon + \arcsin \frac{\sin \varepsilon}{\sin \rho} + \pi \right), \quad (2.13)$$

$$\varsigma = \frac{\cos(\theta - \varepsilon)}{\cos^2 \rho \cos \varepsilon} (1 - \lambda), \quad (2.14)$$

де $\lambda = \sin^2 \varepsilon - \cos \varepsilon \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \varepsilon}$ у вирази для σ_θ , σ_r і $\tau_{r\theta}$, дає напруження на поверхні полиці.

Розрізняють різні профілі призми волочіння. Для нашого випадку слід розглядати схеми 1 і 5 на рис. 2.5 [34].

Для розрахунку сил опору елементами криволінійних поверхонь забірною пристрою засобу для добування сапропелю, необхідно врахувати наступне:

- оскільки кут зовнішнього тертя μ^* (сапропелю об метал) у більшості випадків незначно відрізняється від кута внутрішнього тертя, приймаємо:

$$\mu^* = \rho = 5^\circ 14'$$

- кут природного відкосу розпушеного сапропелю

$$\phi_{np} = \rho = 5^{\circ}14'.$$

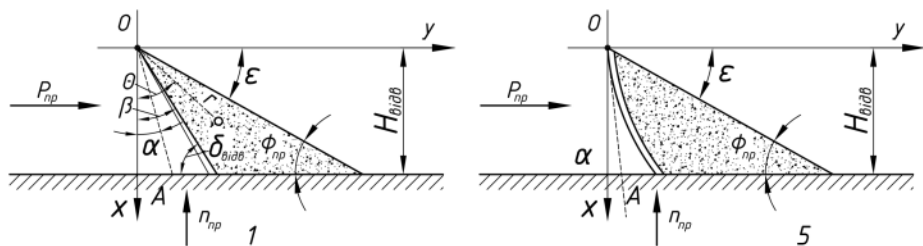


Рисунок 2.5 – Схеми подачі матеріалу криволінійною поверхнею

Розрахунок сил опору проводимо у наступній послідовності:

- Визначаємо тип взаємодії полиці з сапропелем (тобто до яких граней відноситься полиця – пологих, проміжних чи крутих).
- Визначаємо значення коефіцієнта A_{np} .
- Обчислюємо дотичну і нормальну сили для подолання опорів призми волочіння.
- Визначаємо результуючі сил для подолання опору призми волочіння.
- Визначаємо точки прикладання результуючих сил.

Для визначення типу взаємодії полиці з сапропелем використаємо нерівності

$$\begin{aligned}
& \delta_{\text{відс}} \leq \delta_{\text{відс}}^* ; \delta_{\text{відс}}^{\circ} \geq \delta_{\text{відс}} \geq \delta_{\text{відс}}^* \text{ і } \delta_{\text{відс}} \geq \delta_{\text{відс}}^{\circ} \\
& \delta_{\text{відс}}^* = \frac{1}{2} \left(\phi_{np} + \arcsin \frac{\sin \phi_{np}}{\sin \rho} - \mu + \arcsin \frac{\sin \mu}{\sin \rho} \right) = \\
& = \frac{1}{2} \left(5^{\circ} 14' + \arcsin \frac{\sin 5^{\circ} 14'}{\sin 5^{\circ} 14'} - 5^{\circ} 14' + \arcsin \frac{\sin 5^{\circ} 14'}{\sin 5^{\circ} 14'} \right) = \\
& = \frac{1}{2} (5^{\circ} 14' + 90^{\circ} - 5^{\circ} 14' + 90^{\circ}) = 90^{\circ} = \delta_{\text{відс}}.
\end{aligned}$$

Отже, запропоновану полицю можна віднести до пологих граней.

Тоді коефіцієнт A_{np} визначається в замкнутому вигляді виразом:

$$A_{np} = \frac{\sin(\delta_{\text{відс}} - \rho)}{\sin^2 \delta_{\text{відс}} \cos \rho} [1 - \sin \rho \sin(2\delta_{\text{відс}} - \rho)]. \quad (2.15)$$

Необхідно уточнити величину кута $\delta_{\text{відс}}$, оскільки значення його передбачене для вертикальної полиці. Замінивши круговий обрис перерізу ножа забірною пристрою його проекцією на вертикальну площину, замінимо криволінійну форму полиці на вертикальну. Максимальна висота H_{np} конуса волочіння при ширині ножа $B = 2 \text{ м}$ не перевищуватиме:

$$H_{\text{відс}} \leq 0,5 \times B \times \operatorname{tg} \rho = 0,5 \times 2 \times 0,0916 = 0,1 \text{ м}.$$

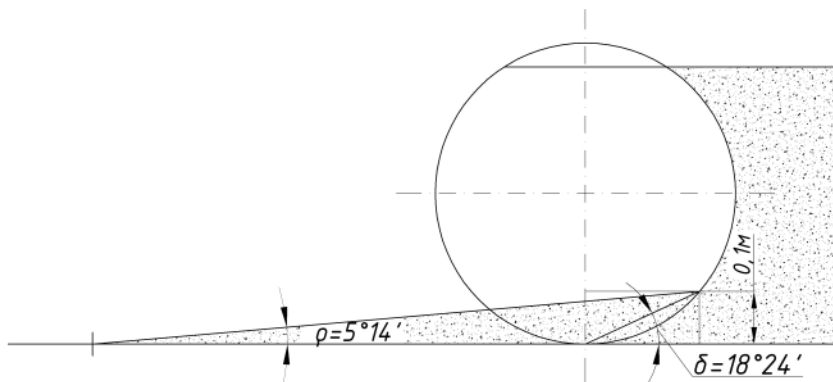


Рисунок 2.6 – Схема для визначення кута полиці δ .

Відклавши це значення $H_{\text{сидс}}$ на проекцію ножа, шляхом нескладної геометричної побудови знайдемо, що площа, яка сполучає вершину призми волочіння з нижнім положенням ножа, може в першому наближенні замінити криволінійну її форму на похилу плоску.

Знайдемо максимальну висоту конуса волочіння, використавши у формулі отриманий кут $\delta_{\text{сидс}} = 18^\circ 24'$.

$$H_{\text{np}} \leq \frac{B}{2\sqrt{\text{ctg}^2 \phi_{\text{np}} - \text{ctg}^2 \delta_{\text{сидс}}}} = \frac{2}{2\sqrt{\text{ctg}^2 5^\circ 14' - \text{ctg}^2 18^\circ 24'}} =$$

$$\frac{2}{2\sqrt{10,92^2 - 3,006^2}} \cong 0,1$$

М.

Збіг результатів з обчисленням за попередньою формулою свідчить про достовірність одержаного

значення $\delta_{\text{відс}} = 18^\circ 24'$. Приймаємо це значення і, обчислюючи коефіцієнт A_{np} :

$$A_{np} = \frac{\sin(18^\circ 24' - 5^\circ 14')}{\sin^2 18^\circ 24' \times \cos 5^\circ 14'} \times [1 - \sin 5^\circ 14' \sin(2 \times 18^\circ 24' - 31^\circ 34')] = \frac{0,2444}{0,3156^2 \times 0,9958} \times [1 - 0,0912 \times 0,5230] = 2,46 \times [1 - 0,048] = 2,34$$

Питомі значення дотичних і нормальних сил для подолання опору призми волочіння обчислюємо за формулами:

$$p_{np} = \frac{\gamma \times H_{\text{відс}}^2}{2} \times A_{np} (\sin \delta_{\text{відс}} + \operatorname{tg} \mu \times \cos \delta_{\text{відс}}), \quad (2.16)$$

$$n_{np} = \frac{\gamma \times H_{\text{відс}}^2}{2} \times A_{np} (\cos \delta_{\text{відс}} - \operatorname{tg} \mu \times \sin \delta_{\text{відс}}). \quad (2.17)$$

В цих формулах питому вагу сапропелю зменшуємо на питому вагу води, тобто:

$$\gamma = \gamma_c - \gamma_s = 21000 - 10000 = 11000 \text{ Н/м}^3.$$

Підставивши у формули всі значення, отримаємо:

$$p_{np} = \frac{11000 \times 0,1^2}{2} \times 2,34 \times (\sin 18^\circ 24' + \operatorname{tg} 5^\circ 14' \cos 18^\circ 24') = 128,7 \times (0,3156 + 0,0916 \times 0,9489) = 51,8 \text{ Н/м}$$

$$n_{np} = \frac{11000 \times 0,1^2}{2} \times 2,34 \times (\cos 18^\circ 24' - \operatorname{tg} 5^\circ 14' \sin 18^\circ 24') =$$

$$= 128,7 \times (0,9489 - 0,0916 \times 0,3156) = 118,1 \text{ Н/м}$$

Результуючі сили для подолання опору призми волочіння визначаємо з врахуванням, що вона має конічну форму, оскільки бічні укоси мають довжину:

$$b_{np.бок} = H_{відв} \sqrt{ctg^2 \phi_{np} - ctg^2 \delta_{відв}} = 0,1 \sqrt{ctg^2 5^\circ 14' - ctg^2 18^\circ 24'} =$$

$$= 0,1 \sqrt{10,92^2 - 3,006^2} = 0,1 \times 10,5 \approx 1,05 \text{ м}$$

тобто довжина двох укосів приблизно дорівнює ширині ножа.

З огляду на те, що призма волочіння має конічну форму, для наближеного обчислення результуючих сил, питомі сили в осьовій частині призми слід помножити на 0,5 В:

$$P_{np} = 51,8 \times 2 \times 0,5 = 51,8 \text{ Н},$$

$$N_{np} = 118,1 \times 2 \times 0,5 = 118,1 \text{ Н}.$$

Рівнодійна

сила R_{np} дорівнює:

$$R_{np} = \sqrt{51,8^2 + 118,1^2} = 129 \text{ Н}.$$

Завдяки конічності форми призми волочіння, епюра тиску по умовній плоскій поверхні відвалу по своїх обрисах наближається до тригранної піраміди. Тому результуючі сили для подолання опору призми

волочіння можна вважати прикладеними на рівні $\frac{1}{4}$ висоти призми, тобто на рівні $0,25 \times 0,1 = 0,025$ см.

Схема сил показана на рис. 2.7.

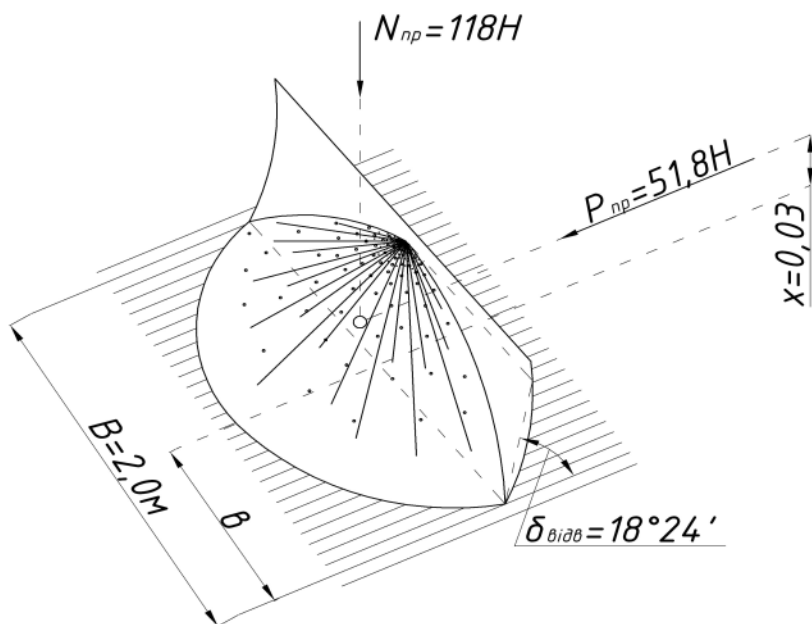


Рисунок 2.7 – Схема сил, прикладених до ріжучої кромки криволінійної поверхні полиці забірного пристрою

Сили для подолання додаткових опорів різанню від привантаження масиву перед ножом, які спричиняються реактивним опором з боку пласта, який проникає крізь відділений об'єм матеріалу. Виникає тиск, який створюється силами власної ваги пласта і силами зовнішнього і внутрішнього тертя.

Розглянемо спрощений випадок, коли криволінійні полиці забірного пристрою замінимо плоскою площиною, сполучивши верх і низ ножа. Тоді кут нахилу цієї площини відвалу буде $\delta_{відв} = 45^\circ$, висота відвалу $H_{відв} = 0,4$ м.

Інші вихідні дані залишаються незмінними. Тип взаємодії полиці з сапропелем – полицю відносим до пологих граней, оскільки $\delta_{відв} = 45^\circ < \delta_{відв}^* = 90^\circ$.

Уточнюємо значення коефіцієнта A_{np} .

Визначимо A_{np} :

$$A_{np} = \frac{\sin(45^\circ - 5^\circ 14')}{\sin^2 45^\circ \times \cos 5^\circ 14'} \times [1 - \sin 5^\circ 14' \times \sin(2 \times 45^\circ - 5^\circ 14')] =$$

$$= \frac{0,6392}{0,7071^2 \times 0,9958} \times [1 - 0,0908 \times 0,9958] = 1,1677.$$

Ширина площадки, на якій діє привантаження:

$$a = \frac{1 + \sin \rho + \cos \rho \times \cos \delta}{\cos \rho} \times h$$

$$= \frac{1 + \sin 5^\circ 14' + \cos 5^\circ 14' \times \cos 45^\circ}{\cos 5^\circ 14'} \times 0,08 =$$

$$= \frac{1 + 0,0908 + 0,9958 \times 0,7071}{0,9958} \times 0,08 = 0,14 \text{ м.}$$

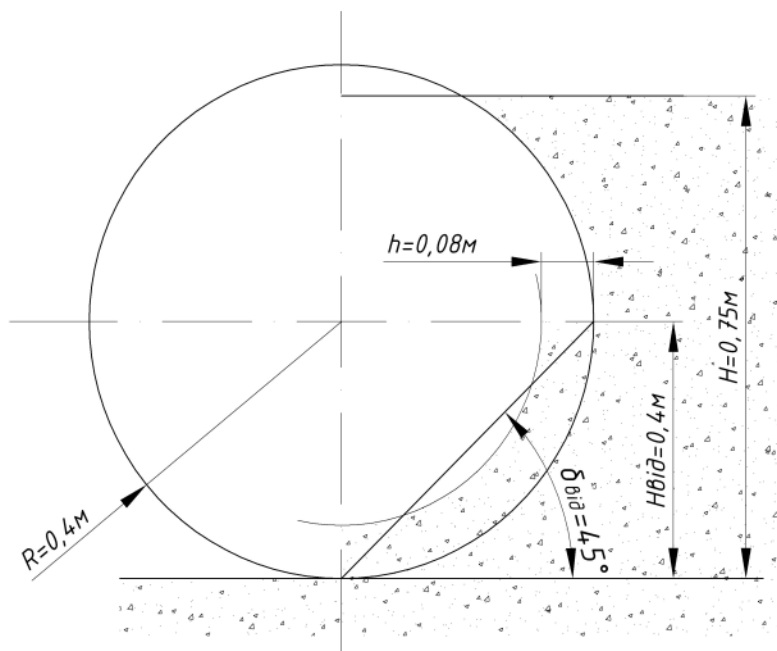


Рисунок 2.8 – Схема до визначення додаткових сил опору

Сила тертя t_1 нормальної компоненти тиску q за пасивного тиску з боку призми волочіння:

$$t_1 = \frac{\gamma \times H_{\text{сид}}^2}{2} \times A_{np} \times \operatorname{tg} \rho = \frac{(21000 - 10000) \times 0,4^2}{2} \times 1,1677 \times 0,0916 = 94,1 \text{ Н/м}$$

Сила тертя з задньої стінки ножа t_3 довжиною:

$$L = \frac{2 \times \pi \times R}{4} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,4}{4} = 0,63 \text{ м.}$$

$$t_3 = \frac{\gamma \times L^2}{2} \times A_{np} \times tg\mu = \frac{(21000 - 10000) \times 0,63^2}{2} \times 1,1677 \times 0,0916 = 233,5$$

Н/м.

Для визначення t_2 знайдемо спершу інтенсивність відрізання пласта:

$$g_{стр} = a \times H_{відс} \times \gamma = 0,14 \times 0,4 \times (21000 - 10000) = 616$$

Н/м.

Враховуючи наявність нахилу полиці і похилого привантаження, визначаємо тільки нормальну компоненту тиску на ніж, тобто від привантаження:

$$\begin{aligned} P_{стр}^{норм} &= \frac{(2t_1 + t_3) + g_{стр} \cos \delta_{відс} tg\mu + g_{стр} \sin \delta_{відс}}{a} \times \sin \delta_{відс} = \\ &= \frac{(2 \times 94,1 + 233,5) + 616 \times \cos 45^\circ \times tg 5^\circ 14' + 616 \times \sin 45^\circ}{0,14} \times \sin 45^\circ = \\ &= \frac{421,7 + 616 \times 0,7071 \times 0,0916 + 616 \times 0,7071}{0,14} \times 0,7071 = 4531,5 \text{ Н / м.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + g_{стр} \times \cos \delta_{відс} \times tg\mu = 94,1 + 616 \times \cos 45^\circ \times tg 5^\circ 14' = \\ &= 94,1 + 616 \times 0,7071 \times 0,0916 = 94,1 + 40 = 134,1 \text{ Н / м.} \end{aligned}$$

Додаткова нормальна компонента тиску на передню грань ножа від привантаження $P_{стр}$ визначається виразом:

$$q_{зан} = p_{сгп} \times \cos \mu_* \left(\cos \mu_* + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \mu} \right) \times \frac{\left(\sin \rho \times \cos \theta + \sqrt{1 - \sin^2 \rho \times \sin^2 \theta} \right)^2}{\cos^2 \rho \times (1 - \sin \rho)}$$

,

$$\theta = \frac{1}{2} \left(2\pi - 2\delta - \mu_* - \arcsin \frac{\sin \mu_*}{\sin \rho} \right) = \frac{1}{2} \left(360^\circ - 2 \times 33^\circ - 5^\circ 14' - \arcsin \frac{\sin 5^\circ 14'}{\sin 5^\circ 14'} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} (360^\circ - 66^\circ - 5^\circ 14' - 90^\circ) = 99^\circ 23'$$

$$\begin{aligned} q_{зан} &= 4531,5 \times \cos 5^\circ 14' \left(\cos 5^\circ 14' + \sqrt{\sin^2 5^\circ 14' - \sin^2 5^\circ 14'} \right) \times \\ &\times \frac{\left(\sin 5^\circ 14' \times \cos 99^\circ 23' + \sqrt{1 - \sin^2 5^\circ 14' \times \sin^2 99^\circ 23'} \right)^2}{\cos^2 5^\circ 14' \times (1 - \sin 5^\circ 14')} = \\ &= 4531,5 \times 0,9958 \times \left(0,9958 + \sqrt{0,0908^2 - 0,0908^2} \right) \times \\ &\times \frac{\left(0,0908 \times (-0,1633) + \sqrt{1 - 0,0908^2 \times 0,1633^2} \right)^2}{0,9958 \times (1 - 0,0908)} = 377 \text{ Н / м}^2. \end{aligned}$$

Згідно з результатами польових досліджень зчеплення сапропелю $c=0,00002 \text{ Н/м}^2$, що не може вплинути на розрахунки. Отже, значення $\mu_* = 5^\circ 14'$ не потребує уточнень.

Визначимо питомі дотичні й нормальні сили для подолання супротиву посування відділеного

пласта крізь призму. Скориставшись наведеними нижче виразами, отримаємо:

$$P_{зан} = q_{зан} \times h \times (1 + tg\mu \times ctg\delta) \\ = 377 \times 0,08 \times (1 + tg5^{\circ}14' \times ctg37^{\circ}) =$$

$$= 377 \times 0,08 \times (1 + 0,0916 \times 1,327) = 33,8 \text{ Н/м.}$$

$$n_{зан} = q_{зан} \times h \times (ctg\delta - tg\mu) \\ = 377 \times 0,08 \times (1,327 - 0,0916) \\ = 37,3 \text{ Н/м.}$$

Як бачимо з попередніх розрахунків, призма волочіння має форму конуса. Тому дотичну і нормальну сили обчислюємо за формулами:

$$P_{зан} = 0,5 \times B \times p_{зан} = 0,5 \times 2 \times 33,8 = 33,8 \text{ Н,}$$

$$N_{зан} = 0,5 \times B \times n_{зан} = 0,5 \times 2 \times 37,3 = 37,3 \text{ Н.}$$

$$\text{Рівнодійна сила } R_{зан} = \sqrt{33,8^2 + 37,3^2} = 50,3 \text{ Н.}$$

Сили прикладені приблизно на висоті

$$\frac{1}{4}h = 0,02 \text{ м.}$$

Для визначення потужності знайдемо сумарну рівнодійну всіх складових сили різання:

$$R = R_p + R_{np} + R_{зан} = 9891 + 129 + 50 = 10070 \text{ Н.}$$

Абсолютну швидкість V_{pk} руху ріжучої кромки криволінійної полиці забірного пристрою по траєкторії в розрахунковій точці ($\phi^* = 88^{\circ}06'$) обчислимо за формулою:

$$\begin{aligned}
 V_{pk} &= \sqrt{u^2 + \omega^2 \cdot R^2 + 2\omega \cdot R \cdot u \cdot \cos \varphi^*} = \\
 &= \sqrt{0,3^2 + 15^2 \times 0,4^2 + 2 \times 15 \times 0,4 \times 0,3 \times 0,0332} \\
 &= 6,02 \text{ м/хв} \approx 0,1 \text{ м/с}.
 \end{aligned}$$

Визначимо потужність середніх сил різання гострими ножами N і ножами з затупленням за наведеними нижче формулами. Коефіцієнт m у цих формулах враховує заходи одного ножа за інший і приймається в межах $1,10 \dots 1,25$. Приймаємо $m = 1,2$.

Потужність відділення пласта сапропелю від загального масиву, визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned}
 N &= 0,981 m \times R \times V = 0,981 \times 1,2 \times 10070 \times 0,1 = \\
 &= 1185,4 \text{ Вт} = 1,18
 \end{aligned}$$

кВт.

2.3 Кінематичний аналіз фрезерного робочого органу для добування озерного сапропелю

Оскільки конструкція засобу для добування не має аналогів, основні його параметри прийняті з міркувань забезпечення його мобільності за економної металомісткості. Тому ширину захвату забірною пристроєм і збирального шнека приймаємо – $L = 2,0$ м.

Конструкції сапропеледобувних машин з роторними розрихлювачами передбачають об'єднання розрихлюючого РО з всмоктуючою трубою гідромотора, яка розміщена у центрі розрихлювача. Діаметр забірної пристрою D_ϕ вибирається з таким

розрахунком, щоб всмоктуюча труба своїм діаметром d_{ec} вписувалася у центрі забірною пристрою. У запропонованому забірному пристрої всмоктуючу трубу замінює збиральний шнек, розміщений співвісно з криволінійними полицями забірною пристрою. На практиці приймають:

$$D_{\phi} = (2,5 \dots 2,8) \cdot d_{ec}.$$

Тому, прийнявши діаметр збирального шнека $d_{ш} = 0,3$ м і діаметр кола, яке описує ріжуча кромка забірною пристрою $D_{\phi} = 0,8$ м, отримаємо:

$$\frac{D_{\phi}}{d_{ш}} = \frac{0,8}{0,3} = 2,67,$$

що в межах рекомендацій.

Частота обертання РО n у машинах - аналогах становить у межах $n = 10 \dots 25$ об/хв. Приймаємо $n = 15$ об/хв. У свою чергу, поступальний рух засобу для добування (подача) u рівняється $u = 5 \dots 10$ м/хв. Оптимальний час відділення рекомендованої товщини пласта в межах $0,02 \dots 0,20$ м.

Розрахункова глибина врізання криволінійних полиць з врахуванням діаметра забірною пристрою буде рівною $H = 0,75$ м, або $0,94 D_{\phi}$ за рекомендованих значень $H = (0,9 \dots 1,0) \cdot D_{\phi}$.

Кількість полиць із загостреними краями приймаємо 4 при рекомендованій від 3 до 6.

Відповідно кутова швидкість їх обертання можна визначити за формулою Ейлера:

$$w = \omega R = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ м/с.}$$

Криволінійні полиці у формі частин спіралі Архімеда забірною пристроєм обертаються та врізаються ріжучими кромками зверху вниз і одночасно рухаються у напрямку поступального руху засобу для добування. Обертовий рух полиць забірною пристроєм сприяє поступальному переміщенню засобу для добування сапропелю, але для стабілізації швидкості використовуються гребні колеса, які змонтовані на тракторі.

Таким чином формується траєкторія різання озерного сапропелю гострими кінцями криволінійних полиць в результаті поєднання поступального руху засобу для добування u і швидкості обертального руху w полиць. Напрямок колового руху ріжучих кромок полиць у верхній частині співпадає з напрямком поступального переміщення засобу для добування, а у нижній частині – протилежний йому.

В кожний момент руху, в деякій точці на відстані $r_0 = \frac{u}{w}$ від центральної вісі забірною пристроєм, швидкості поступального і колового руху зрівнюються. Тому траєкторії різання ріжучих кромок полиць можна представити як криві, що утворюються коченням без ковзання кола радіусом r_0 по даній прямій. Траєкторія різання описується точкою (рис. 2.9) на продовженні кола, що котиться, на відстані R

від її центру. Криві, що утворюються є трохоїдами. Їх рівняння в параметричній формі мають вигляд:

$$\begin{cases} x = r_0 \cdot \varphi + R \cdot \sin \varphi \\ y = r_0 + R \cdot \cos \varphi \end{cases} \quad (2.18)$$

де, φ – кут повороту забірною пристрою від початкового положення в радіанах;

R – радіуси кіл, які описують ріжучі кромки полиць.

Траєкторія різання однією ріжучою кромкою побудована по координатах x і y , за значеннями для точок кола від 0° до 360° через кожні 30° . (рис. 2.9).

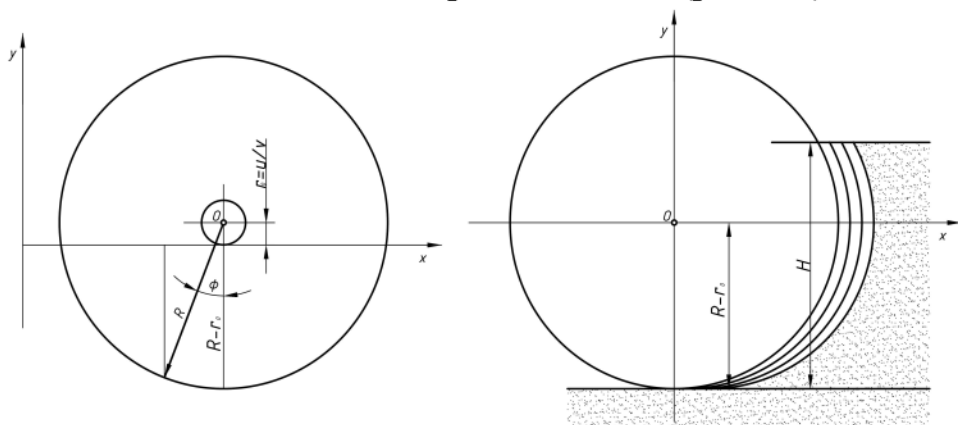


Рисунок 2.9 – Схема траєкторії руху ріжучої кромки полиць забірною пристрою

Таблиця 2.1 – Координати точок і дані для побудови траєкторії руху ріжучої кромки полиці забірною пристрою

Кут повороту φ°	x	$r_0\varphi + R \cdot \sin\varphi$	Координати	Кут повороту φ°	x	$r_0\varphi + R \cdot \sin\varphi$	Координати
	y	$r_0 + R \cdot \cos\varphi$			y	$r_0 + R \cdot \cos\varphi$	
0	x	0,5·0+0,4·0	0	210	x	0,5·3,66-0,4·0,5	1,63
	y	0,5+0,4·1	0,9		y	0,5-0,4·0,866	0,15
30	x	0,5·0,52+0,4·0,5	0,46	240	x	0,5·4,19-0,4·0,866	1,74
	y	0,5+0,4·0,866	0,84		y	0,5-0,4·0,5	0,3
60	x	0,5·1,05+0,4·0,866	0,87	270	x	0,5·4,71-0,4·1	1,95
	y	0,5+0,4·0,5	0,7		y	0,5+0,4·0	0,5
90	x	0,5·1,57+0,4·1	1,18	300	x	0,5·5,23-0,4·0,866	2,26
	y	0,5+0,4·0	0,5		y	0,5+0,4·0,5	0,7
120	x	0,5·2,09+0,4·0,866	1,38	330	x	0,5·5,76-0,4·0,5	2,68
	y	0,5-0,4·0,5	0,3		y	0,5+0,4·0,866	0,84
150	x	0,5·2,62+0,4·0,5	1,51	360	x	0,5·6,28+0,4·0	3,14
	y	0,5-0,4·0,866	0,15		y	0,5+0,4·1	0,9
180	x	0,5·3,14+0,4·0	1,57				
	y	0,5-0,4·1	0,1				

Початок відліку кутів обертання ріжучих кромek забірною пристрою приймаємо від позитивного напрямку осі y в напрямку годинникової стрілки.

$$\text{Параметр } r_0 = \frac{u}{w} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5.$$

На рис. 2.10 показана трохоїда, побудована за обчисленими координатами.

Крок траєкторії врізань кожною наступною полицею, що вимірюється в напрямку переміщення засобу для добування сапропелю, визначається як:

$$l_0 = 2\pi r_0. \quad (2.19)$$

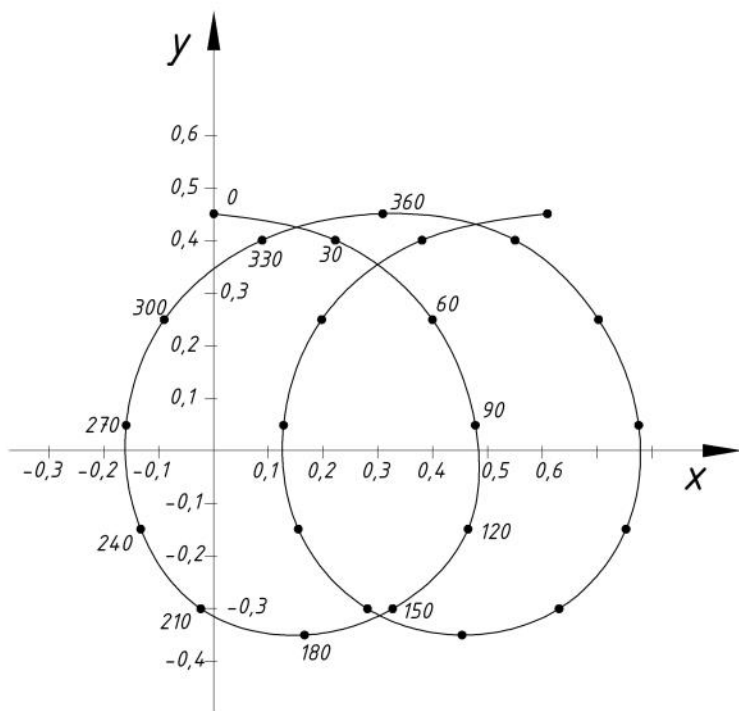


Рисунок 2.10 – Трохоїда точки ріжучої кромки криволінійної поверхні полиці

Крок послідовних траєкторій різання:

$$l = \frac{l_0}{n_n}, \quad (2.20)$$

де n_n – кількість полиць забірного пристрою.

Швидкість різання V_{pk} також буде змінною. За повного повороту полиці забірного пристрою на кут φ вона становитиме:

$$V_{pk} = \sqrt{u^2 + \omega^2 \cdot R^2 + 2\omega \cdot R \cdot u \cdot \cos \varphi}. \quad (2.21)$$

Кут різання також є змінним. Він визначається наступним чином:

$$\delta = \delta_1 - \varphi + \arctg k, \quad (2.22)$$

де δ_1 – кут між передньою гранню загостреної ріжучої кромки і дотичною до полиці в точці ріжучої кромки.

Кутовий коефіцієнт дотичної до траєкторії різання визначаємо так:

$$k = \frac{R \cdot \sin \varphi}{\frac{u}{w} + R \cdot \cos \varphi}. \quad (2.23)$$

Його значення при повороті ротора на 90° становить:

$$k = \frac{0,4 \cdot 1}{0,5 + 0,4 \cdot 0} = 0,8. \quad (2.24)$$

Товщина зрізу в кожній точці траєкторії:

$$h \approx \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n}, \text{ або } h \approx \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n} \cdot \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}. \quad (2.25)$$

Або після підстановки відповідних значень:

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5}{4} \cdot \frac{0,8}{\sqrt{1+64}} = 0,08 \text{ м.}$$

Рациональне співвідношення швидкостей обертання забірного пристрою w і переміщення засобу для добування u визначаємо з умови заповнення внутрішнього об'єму кожної полиці за час просування її у масиві на глибину $H = 0,75$ м від поверхні залягання середнього шару:

$$q_r = \frac{2\pi \cdot r_0}{n_n} \cdot B \cdot H \text{ або } q_r = \frac{2\pi \cdot B \cdot H \cdot u}{n_n \cdot w}, \quad (2.26)$$

звідки випливає:

$$w = u \cdot \frac{2\pi \cdot B \cdot H}{n_n \cdot q_r}. \quad (2.27)$$

Отже, швидкість u поступального руху засобу для добування дорівнює:

$$u = \frac{w \cdot n_n \cdot q_r}{2\pi \cdot B \cdot H} = \frac{0,6 \cdot 4 \cdot 0,12}{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 0,75} = 0,03 \text{ м/с.}$$

Під час проектування криволінійних полиць забірного пристрою слід правильно задати значення заднього кута, кута різання і кута нахилу ріжучої кромки. При цьому: γ – задній кут між дотичною до обводу кола різання і дотичною до траєкторії руху леза загостреної кромки полиці і має бути не менше $3...4^\circ$; δ – кут різання, що знаходиться між передньою кромкою гострого краю полиці і дотичною до траєкторії різання. Він має бути у межах $30...40^\circ$, приймаємо $\delta = 40^\circ$.

Значення заднього кута визначаємо аналітично:

$$\gamma = \varphi - \lambda, \quad (2.28)$$

де φ – кут повороту загостреної кромки полиці.

$$\text{Кутові } \varphi \text{ відповідає подача } x_1 = u_z \times \frac{\phi}{\eta},$$

де u_z – величина врізання однією полицею, що дорівнює:

$$u_z = \frac{v_n}{n \cdot z}; \quad (2.29)$$

v_n – подача за одну хвилину, $v_n = 1,8 \text{ м/хв}$;

n – частота обертання вала забірною пристрою, $n = 15 \text{ об/хв}$;

z – число криволінійних полиць забірною пристрою, $z = 4$;

η – центральний кут між загостреними кромками полиць, який знаходиться наступним чином:

$$\eta = \frac{2\pi}{z} = \frac{2 \times 180}{4} = 90^\circ.$$

Таким чином:

$$u_z = \frac{1,8}{15 \cdot 4} = 0,03 \text{ м.}$$

Враховуючи вище приведенні припущення та розрахованні значення побудуємо схему траєкторії руху точки на різучій кромці полиці забірною пристрою (рис. 2.11).

Перше коло на рис. 2.11 відповідає початковому положенню ріжучої кромки полиці забірного пристрою; коло 2 відповідає положенню ріжучої кромки після повороту полиці на кут ϕ і подачі на величину x_1 . При цьому точка A переміститься у положення (A) .

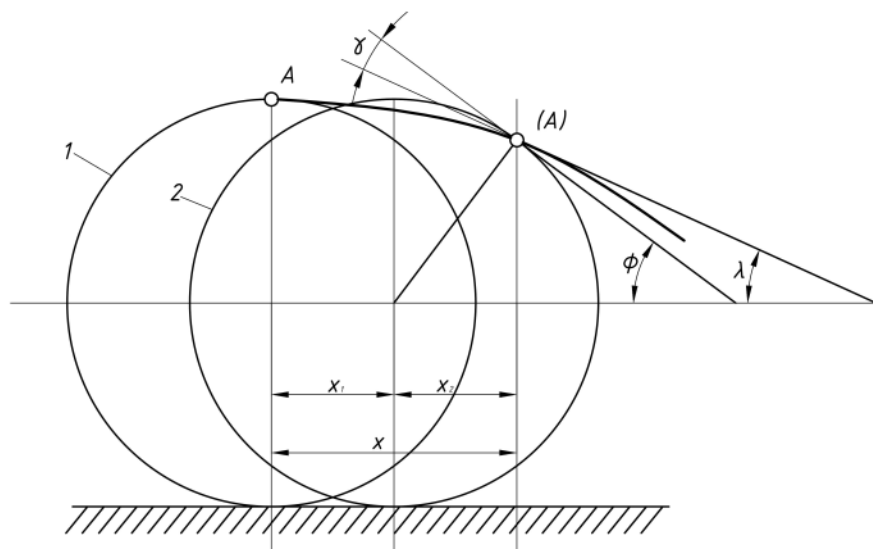


Рисунок 2.11 – Схема траєкторії руху точки на ріжучій кромці криволінійної полиці забірного пристрою

Звідси:

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{u_z}{\eta} + \frac{D_{\dot{\phi}}}{2} \cos \varphi ;$$

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{D_{\dot{\phi}}}{2} \sin \varphi ;$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{D_{\dot{\phi}}}{2} \sin \varphi}{\frac{u_z}{\eta} + \frac{D_{\dot{\phi}}}{2} \cos \varphi} = \frac{D_{\dot{\phi}} \sin \varphi}{D_{\dot{\phi}} \cos \varphi + 2 \frac{u_z}{\eta}} ;$$

$$\gamma = \varphi - \lambda = \varphi - \operatorname{arctg} \frac{D_{\dot{\phi}} \sin \varphi}{D_{\dot{\phi}} \cos \varphi + 2 \frac{u_z}{\eta}}, \quad (2.30)$$

За $\varphi = 90^\circ$:

$$\gamma = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{D_{\dot{\phi}}}{2 \frac{u_z}{\eta}} = \operatorname{arctg} \frac{2 u_z}{D_{\dot{\phi}} \cdot \eta} = \operatorname{arctg} \frac{2 \cdot 0,03}{0,8 \cdot 1,55} =$$

$$\operatorname{arctg} 0,048 \approx 2^\circ 75'$$

Нехай $u_0 = 0,12$ м/об – подача за один оберт забірного пристрою, тоді:

$$u_z = \frac{u_0}{z} = \frac{0,3}{4} = 0,075 \text{ м/хв.}$$

Підставляючи значення у вираз для γ отримаємо:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{u_0}{\pi \cdot D_{\dot{\phi}}} = \operatorname{arctg} \frac{0,3}{3,14 \cdot 0,8} = \operatorname{arctg} 0,048 \approx 3^\circ.$$

Кут різання визначаємо з наступної залежності:

$$\delta = \gamma + \beta, \quad (2.31)$$

де β – кут заточки ріжучої кромки полиць з врахуванням умов міцності матеріалу полиці, приймається в межах $25 \dots 30^\circ$. При $\beta = 30^\circ$, отримаємо:

$$\delta = 3^\circ + 30^\circ = 33^\circ.$$

Для більшої рівномірності завантаження забірною пристрою при різанні сапропелю заточку ріжучих кромок необхідно проводити з нахилом під певним кутом до осі обертання. Значення цього кута визначаємо за залежністю:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{m \cdot n \cdot D_\phi}{z \cdot L_\phi}, \quad (2.32)$$

де m – коефіцієнт заходу однієї ріжучої кромки за іншу, що приймається рівним в межах $1,10 \dots 1,25$;

2.4. Дослідження процесу відтиску води з озерного сапропелю в процесах його переміщення

Основними транспортуючими РО у запропонованому засобі для добування озерного сапропелю, є система шнеків розміщених під різними кутами до горизонталі. Надання переваги шнекам у якості РО для переміщення добутого сапропелю полягає у тому, що дані технічні засоби механізмами

безперервної дії і, за певних умов можуть виконувати функцію преса.

Згідно запропонованої конструкції, розподільчий збірний шнек співвісний чотирьом криволінійним полицям, виконаних у формі частин спіралей Архімеда, в процесі виконання технологічного процесу добування сапропелю знаходиться під водою. Відтак не може приймати участь у відділенні вільної води. І лише після підйому озерного сапропелю з-під шару води, можливе його звільнення від вільної води.

Загалом гвинтові РО, як транспортно-добувні засоби озерного сапропелю досліджувались Бодаком В.І. та Шимчуком О.П. Так у роботі [122] вказується, що необхідний тиск створюється при протискуванні сапропелю крізь вихідний отвір, менший за розміром, ніж діаметр гвинта. При цьому руйнування структури сапропелю не відбуватиметься, вільна вода у межах 10-15% відділятиметься, а для створення тиску достатньо гвинт з однаковим кроком за довжиною гвинта. Конструкції шнеків, яку забезпечують транспортування піднятого на поверхню озерний сапропель, аналогічні. Такий транспортуючий робочий орган міститься у перфорованій товстостінній трубі, обмежену зовні кожухом а з торців фланцями, до яких кріпиться тіло обертання. В зоні забору передбачено завантажувальну горловину. На виході труби на одній вісі з фланцем передбачено отвір, менший за діаметр гвинтового РО не більше, ніж у 1,5

рази. У такому випадку гвинтовий транспортуючий засіб буде працювати як прес-шнек.

Аналіз навантажень, які діють на гвинт показує, що за умови, коли продуктивність такого пристрою є сталою, максимальний тиск продавлювання також буде сталим. Значення продуктивності визначається за відомою формулою [59]:

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot \psi \cdot n \cdot V \cdot k, \quad (2.33)$$

де D – діаметр прес-шнека, м;

S – крок, м;

K_z – коефіцієнт заповнення прес-шнека;

n – частота обертання гвинта, об/хв;

V – об’ємна маса матеріалу, т/м³;

k – коефіцієнт ефективності прес-шнека, який залежить від його нахилу до горизонту і має значення:

$$\begin{aligned} 0^\circ - 1; 10^\circ - 0,8; 20^\circ - 0,65; 30^\circ - 0,6; 40^\circ - 0,5; 50^\circ \\ - 0,48; 60^\circ - 0,44. \end{aligned}$$

Розподіл тиску за довжиною гвинта, з певним допущенням, можна приймати таким, що змінюється за законом рівномірного зростання від нуля до робочого тиску (максимального), який визначається експериментально.

Провести розрахунок біжучого тиску за довжиною гвинта можна, використавши схему, рис. 2.12.

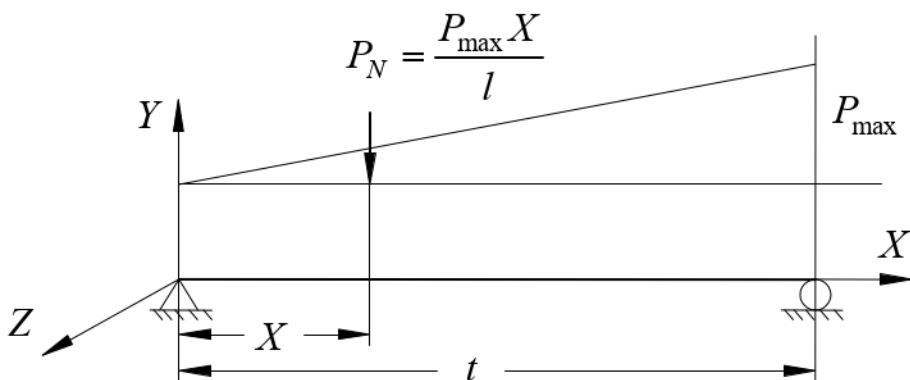


Рисунок 2.12 – Схема зміни тиску за довжиною гвинтового преса

У такому випадку розподіл нормального тиску P_N на кожній площадці dF гвинта, утвореного радіусом dr і кутом $d\alpha$ (рис. 2.12) буде визначатись як результуючий від дій осьового та колового тисків. Так як осьовий тиск P_o є позитивним для переміщення сапропелю і створення умов відтиску вільної води без руйнування структури твердої фази сапропелю, то його значення залежатиме від кута нахилу вісі гвинта α . Але кут α впливатиме і на значення колового тиску P_k . У випадку значного відхилення від умови (2.37) у зоні контакту гвинтової поверхні із сапропелем виникатимуть дотичні напруження відповідно до значення тиску P_z .

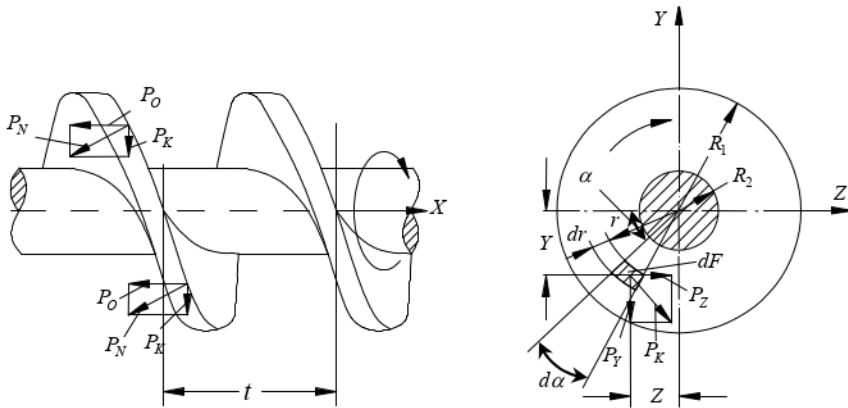


Рисунок 2.13 – Розподіл нормального тиску на поверхні гвинта

Умова розподілу нормальних і дотичних напружень матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (2.34)$$

Зв'язок значень радіальних напружень σ_r і напружень в напрямку дії тиску P_z визначається з врахуванням коефіцієнта Пуассона ν .

$$\sigma_r = \frac{\nu}{1 - \nu} \cdot \sigma_z \quad (2.35)$$

У випадку, якщо $v \approx 0$, зсувними напруженнями на поверхні гвинта можна знехтувати, і тому гвинт працюватиме як поршень, створюючи умови відтиску вільної води при переміщенні сапропелю в осьовому напрямі.

Тиск P_N , який діє перпендикулярно поверхні гвинта, можна розкласти на складові осьовий тиск та коловий, які відповідно визначаються з залежності:

$$\begin{cases} P_o = P_N \cos \beta \\ P_k = P_N \sin \beta \end{cases}, \quad (2.36)$$

де P_o – осьовий тиск, направлений по осі гвинта, Па;

P_k – коловий тиск, перпендикулярний радіусу, направлений проти обертання, Па;

β – середній кут нахилу гвинта, град.

Таким чином переміщення сапропелю прес-шнеком з одночасним відтиском з нього води відбуватиметься безумовно, коли $K_3=1$ і виконання нагустовної умови:

$$P_o = P_k. \quad (2.37)$$

Щось підсумувати можливо якимись загальними фразами з висновку

РОЗДІЛ 3 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ З-ПІД ШАРУ ВОДИ І ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

3.1 Особливості конструкції сучасних технічних засобів добування сапропелів за висотою залягання з-під шару води

Розміщений озерний сапропель під водою поділяють на три види в залежності від вологості і горизонту залягання: пелоген, середній і нижній шари (рис. 3.1). До сьогодні в переважній більшості добувають верхній шар сапропелю – так званий пелоген (завислі у воді частинки органічного походження) або пелоген змішаний із сапропелем із середнього шару. Для такого матеріалу характерною є вологість – 92...98%. Відповідно, він досить текучий, легко всмоктується забірними пристроями добувних машин і транспортується трубопроводами невеликого діаметру до місця зневоднення. Як правило, для цього використовуються необхідні значні території, які обладнані чеками – місцями для осідання завислих частин.

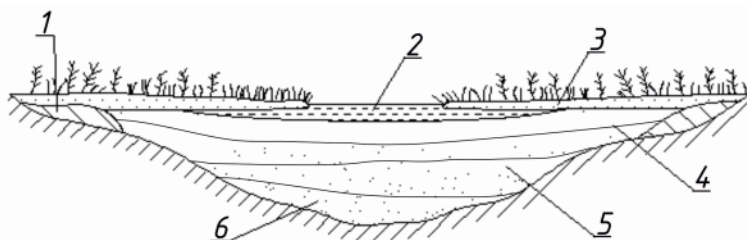


Рисунок 5.1 – Переріз озера: 1 – торф; 2 – плесо водойми; 3 – рослинність; 4 – шар пелогену; 5 – середній шар сапропелю; 6 – нижній шар сапропелю.

Сапропель вказаної вологості добувають також грейферними екскаваторами, замикаючим циліндром, ерліфтною установкою, болотними екскаваторами і іншими технічними засобами. Піднятий матеріал на поверхню найбільше досліджений, оскільки піддається визначенню параметрів відомими методами на стандартному лабораторному обладнанні. Недоліком добутого сапропелю, вказаними технічними засобами, є висока вологість, яка не дозволяє його відразу використати, в тому числі і в сільськогосподарському виробництві. Відтак, пелоген або рідкий сапропель у чеках залишають на тривалий час для зниження вологості шляхом проморожування. Після втрати води, в тому числі корисної – хімічно-зв'язаної, матеріал обробляють механічними знаряддями, завантажують у транспортні засоби і вивозять до місця використання.

Світова практика показує, що зневоднення матеріалів підвищеної вологості найкраще проводити в

геотюбах з використанням коагулянтів [65]. Технологічний процес гравітаційного зневоднення різноманітних за походженням суспензій (пульпа, шлам, осад, сапропель) здійснюється в контейнерах, зшитих з тканого поліпропіленового матеріалу високої щільності, з'єднаних в міцну тканину зі стійким розташуванням ниток одна відносно одної. Такий матеріал має унікальну тонку структуру капілярів, забезпечує утримання шламових часток малого розміру в контейнері і забезпечує відведення з нього вільної вологи. Завдяки цьому технологія Geotube забезпечує високу продуктивність без значних капітальних витрат з отриманням до 1500 м³ зневодненого матеріалу в одному контейнері. На рис. 5.2 зображено загальний вигляд заповненого резервуару Geotube (рис. 3.2.а) і вигляд відкритого Geotube після завершення процесу зневоднення (рис. 3.2.б). Вважається, що технологія Geotube – економічний і екологічно чистий спосіб зневоднення. Проте використання при цьому коагулянтів, нерозчинних хімічних елементів, які можуть потрапити з водою у закриту водойму та нанести їй значної шкоди є негативним явищем.



а)

б)

Рисунок 3.2 – Зневоднення сапропелю за допомогою технології Geotube: а) заповнення резервуару сапропелем; б) результат процесу зневоднення.

Тому добування озерних сапропелів з водойм, які у перспективі можуть стати резервуарами прісної води, за допомогою вище приведених технологій необхідно обмежити.

Середній шар сапропелю наділений більшою щільністю, відповідно меншою вологістю в межах 79...89%, та знаходиться під шаром пелогену на глибині від 3...5м. Якщо такий матеріал, підняти на поверхню без значного руйнування структури, то він придатний до застосування у сільському господарстві відразу після добування. Добутий сапропель середнього шару піддається обробці, зокрема гранулюванню, змішуванню з сипучими матеріалами, обкочуванню в драже та інше [96].

Підвищена щільність та липкість озерного сапропелю створюють перепони при його добуванні.

Відомі випадки засмоктування грейферних і екскаваторних ковшів у середньому шарі сапропелю в процесі добування та їх втрату через неможливість підняти РО на поверхню. Як правило, середній шар рекомендують добувати шнековим способом, шнековим зі всмоктуванням та всмоктуванням з руйнуванням шару розрихляючим забірним пристроєм. Але в процесі добування даними технічними засобами, матеріал втрачає свою структуру та переміщується з пелоеном і водою. При цьому він частково змінює свої природні властивості. Тому, вирішення проблеми створення технічного засобу для добування озерного сапропелю без збільшення його вологості після підйому на поверхню є своєчасним завданням.

Складні реологічні властивості середнього шару озерного сапропелю вимагають підвищеної уваги при створенні РО, які працюють в умовах змінних навантажень через налипання сапропелю на поверхнях контакту. Розрахунок параметрів засобу для добування озерних сапропелів середнього шару та обґрунтування нового способу їх добування, проведений в розділі 2, базувався з врахуванням методик розрахунку різання ґрунтів, відділення пласта від загального масиву і переміщення матеріалу з урахуванням особливостей роботи добувних РО у середовищі дрібнодисперсної речовини високої вологості шляхом введення у розрахунки коефіцієнтів, отриманих дослідним

шляхом і приведених у розділі 4, що характеризують середній шар озерних сапропелів.

Нижній шар сапропелю, що міститься під середнім шаром є фактично не дослідженим, через високу щільність та значну глибину залягання. Це потребує особливих РО для розробки та значних затрат енергії. Відповідно собівартість його добування висока. Відомі добувні машини не в змозі добувати такий матеріал.

Серед відомих технічних засобів, на який необхідно звернути увагу як на аналог сучасного добувного модуля, це універсальний багатофункціональний засіб Watermaster Classic виробництва фінської компанії «Аквामек» [62, 63]. Вже випущено 4 покоління машин Watermaster Classic. Остання модель машини Watermaster Classic IV (рис. 3.3) оснащена комплектом стандартних, передбачених виробником пристосувань, зокрема ріжучий насос, що здатен перекачувати наміту пульпу на відстань до 1,5 км, з двома ріжучими головками, одна з яких розрахована на роботу з сапропелем.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд
багатофункціонального самохідного
землевсмоктуючого снаряду модифікації "Watermaster
Classic IV"

В цьому випадку машина може бути обладнана ковшем, ємністю 500л для днопоглиблюючих робіт, що здатен працювати з твердими ґрунтами та сапропелем або ковшем-грейфером ємністю 600л, який може здійснювати поглиблення дна з мінімальним впливом на екосистему водойми. Завдяки уніфікованій виносній стрілі машина володіє великим радіусом дії та легко працює з баржами для завантаження їх матеріалом. Додатковими РО можуть бути граблі для

видалення кореневищ водяних рослин (очерет, осока, вербові рослини, водорості, та ін.), сміття з дна водойми і інших сторонніх предметів та залишків флори і ківш-захват для установки паль, що здатен забивати дерев'яні палі та металеві труби в дно водойми, укріплювати береги та забезпечувати будівництво пристаней і прибережних зон. Усі змінні агрегати швидко та легко монтуються на виносну стрілу завдяки уніфікованій зчіпці.

Недоліком даної машини є висока вартість та дороговартісне обслуговування [62]. Незважаючи на це окремі агрегати і системи можуть стати прототипами для удосконалення і універсалізації запропонованого нами засобу для добування озерних сапропелів.

Відомий також багатофункціональний земснаряд «Амфибия-600» (рис. 3.4), який є російським аналогом фінляндського багатофункціонального самохідного землевсмоктуючого снаряду модифікації «Watermaster Classic» [31].

Недоліком багатофункціонального земснаряду «Амфибия-600» так само як і багатофункціонального самохідного землевсмоктуючого снаряду модифікації «Watermaster Classic IV» є не раціональне використання енергетичної установки в умовах експлуатації земснаряду для потреб сільського господарства.



Рисунок 3.4 – Фото багатофункціонального земснаряду
«Амфібія-600»

Інші сучасні машини, які застосовують для очистки водойм різного походження у переважній своїй більшості вузькопрофільні, малогабаритні або виготовляються в одиничному варіанті.

Таким чином, враховуючи функціональні можливості, конструктивні схеми компоновання вищенаведених існуючих сучасних гідротехнічних засобів, а також опираючись на проведені дослідження та зроблені припущення при дослідження запропонованого засобу для добування середнього шару озерного сапропелю функціональна схема, має вигляд (рис. 3.5).

Технологічний процес запропонованого засобу для добування озерного сапропелю середнього шару з – під води подібний до описаного в п. 2.1.

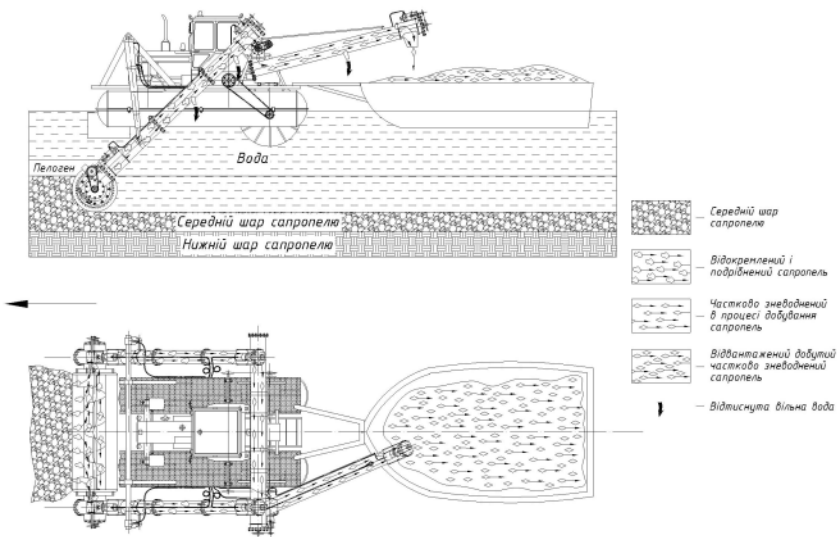


Рисунок 3.5 – Функціональна схема засобу для добування озерного сапропелю

3.2 Моделювання забірних пристроїв та їх робочих органів

Запропонований нами засіб для добування озерних сапропелів містить забірний пристрій фрезерного типу. Такий забірний пристрій забезпечує рівномірне відділення пласта матеріалу від загального масиву, спрямовує його до збирального шнека. При цьому руйнування структури відділеного пласта є мінімальним. Складність проектування подібних РО

полягає в особливості розміщення об'єкта взаємодії (з масивом середнього шару сапропелю) у реальних умовах. В свою чергу, в лабораторних умовах також неможливо відтворити реальний процес добування сапропелю середнього шару за допомогою натурної моделі забірної пристрою. Таке твердження побудоване на нереальності перенесення зрізу середнього шару з водойми у лабораторні умови для проведення досліджень без порушення структури покладів. Моделювання умов озера в лабораторії неможливе, що призведе до отримання неадекватних результатів досліджень. Тому для завершення розрахунків необхідно створювати експериментальний промисловий зразок. Але й у такому випадку отримати точність результатів при відділенні пласта від загального масиву з частковим звільненням сапропелю від води є складним завданням, оскільки сапропель є світлонепроникним матеріалом і таким чином відеофіксування процесу добування під шаром води не можливо.

Враховуючи проведені теоретичні та практичні дослідження, і, взявши до уваги взяті припущення, було розроблено конструктивну схему забірної пристрою (рис. 3.6).

Така схема передбачає, що широкозахватні криволінійні полиці співвісні із забірним шнеком. Вони виконані у формі частин спіралі Архімеда та зафіксовані на бокових дисках, які обмежують зону

захвату забірною пристрою і утворюють замкнутий простір для просування відділеного від загального масиву сапропелю до центра збирального шнека, який обертається в зворотньому напрямку.

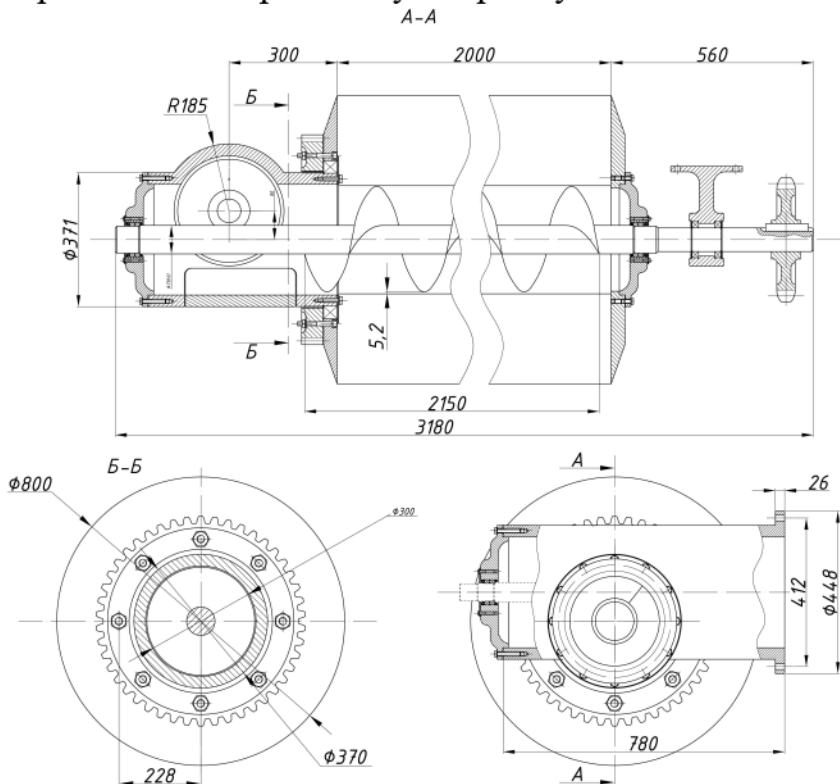


Рисунок 3.6 – Конструктивна схема забірною пристрою засобу для добування озерного сапропелю.

Крутний момент на забірний пристрій передається від редуктора через зубчастий вінець, закріплений на одному з дисків. Трубчастий рукав, розташований на протилежній стороні забірною пристрою забезпечує

перенаправлення відділеного пласта від забірного шека до прес-шнека і, одночасно, здійснює спряжену підтримку забірною пристрою. Конструкція трубастого рукава передбачає наявність ревізійного люка, для перевірки та технічного обслуговування внутрішнього простору даного вузла.

Одним з визначальних параметрів, що впливає на процес добування є розташування криволінійних полиць забірною пристрою відносно осі обертання. Для цього були проведені експериментальні дослідження, зокрема трирівневий багатофакторний експеримент, одним з факторів якого був кутовий параметр, а саме: розташування широкозахватних криволінійних полиць відносно осі обертання забірною пристрою. Більш детально дані дослідження та результати їх проведення розкриті у розділах 3 і 4. Вищевказана конструктивна схема побудована на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень. Такий механізм дає можливість за рахунок його параметрів відділяти пласт середнього шару від загального масиву наступних розмірів (рис. 3.7).

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень, проведених розрахунків, прийнятих допущень щодо геометричних параметрів, їх уточнення було побудовано тривимірну модель забірною пристрою засобу для добування озерних сапропелів із врахуванням геометричних параметрів (рис. 3.8).

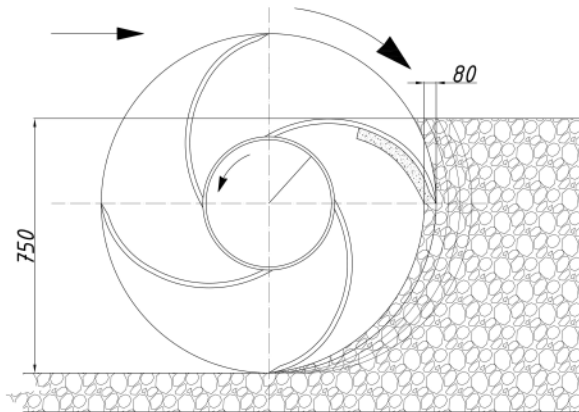


Рисунок 3.7 – Розміри відділяючого пласта забірним пристроєм.

Вказану тривимірну модель було побудовано засобами середовища AutoCAD із зменшенням зображення у 20 разів. Аналіз вказаної моделі показує на технологічність виготовлення окремих деталей забірної пристрою, комплектування РО в цілому.

Однією з основних завдань, які ставились при виконанні даної роботи було зменшення енергозатрат при добуванні сапропелю із збереженням його природних властивостей та мінімізації екологічного впливу на водойму. Тому запропонований забірний пристрій середнього шару обмежений інтенсивністю взаємодії з матеріалом через мінімальні швидкості. Досягнення перенесення середнього шару сапропелю вологістю 80...85% без руйнування твердої фази у ньому сприяє ефективному для використання при виробництві ТОД. Запропонований забірний пристрій

фрезерного типу сприяє переміщенню засобу по водоймі за рахунок врізання робочих поверхонь в масив покладів і не потребує додаткових енергозатрат для незалежного переміщення засобу для добування озерного сапропелю. А виконання криволянійних полиць у вигляді частин спіралі Архімеда мінімізує зусилля їх врізання при відділенні пласта від загального масиву.

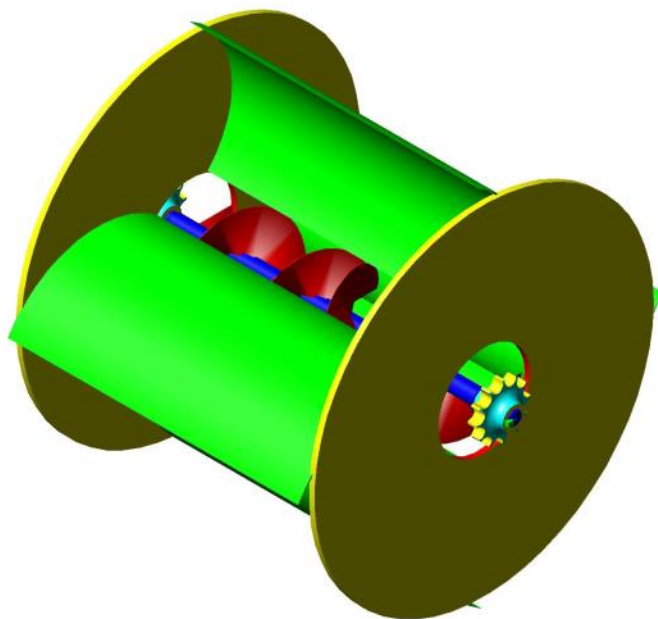


Рисунок 3.8 – Тривимірна модель забірного пристрою засобу для добування озерних сапропелів.

Іншим фактором здешевлення отриманої продукції є відтиск вільної води, яка може бути у

сапропелі внаслідок підйому на поверхню через нещільність у механізмах. Проте визначальним РО запропонованого засобу для добування є забірний пристрій фрезерного типу.

Загальна характеристика запропонованого засобу для добування озерного сапропелю:

- діаметр барабана забірною пристрою $D = 0,8 \text{ м}$;
- діаметр збірною шнека $d = 0,3 \text{ м}$;
- ширина захвату засобу для добування сапропелів $L = 2,0 \text{ м}$;
- кутова швидкість обертання полиць забірною пристрою $\omega = 15 \text{ об/хв}$;
- поступальна швидкість руху засобу $u = 0,3 \text{ м/хв}$;
- товщина розроблювального пласта $H = 0,6 \text{ м}$.
- енергетичний засіб – трактор 1,4 кН.

В свою чергу пневматична технологія добування органічних сапропелів, як матеріалу безпосередньо з якого виробляється продукція (добрива) вимагає створення надійних забірних пристроїв та засобів, які б були пристосовані до всіх видів розробки озерних родовищ сапропелів та не зашкоджали природному навколишньому середовищі. Першочерговим етапом для створення таких засобів є проведення розвідувальних робіт на озерах, з покладами сапропелів, які будуть використовуватись безпосередньо. Розробка попередньо визначених родовищ не можлива без вивчення їх масштабів,

характеру залягання, властивостей, цільового призначення тощо.

Створення альтернативних пневматичних забірних пристроїв передбачає виконання різноманітних конструктивних схем забірних пристроїв, які на думку дослідників-розвідувальників можна було б економічно-доцільно застосовувати.

На основі вище обґрунтованого пневматичного забірної пристрою запропоновано ряд конструкцій інших забірних пристроїв, які можна використовувати на родовищах сапропелів виходячи з висновків встановлених розвідувальними роботами.

За даними конструктивними схемами можливо проектувати машини по добуванню сапропелів безпосередньо для добрив, для відновлення акваторій озер, для промислового використання з дотриманням вимог до добутої сировини, та екологічно безпечними наслідками при цьому підвищуючи продуктивність та ефективність роботи.

Запропоновані конструкції забірних пристроїв з пневматичним розрихлювачем не завжди буде виконувати роботу по добуванню сапропелів на різних родовищах з великими показниками продуктивності. Оскільки здебільшого поклади органічних сапропелів знаходяться у замерзлих озерах, які в свою чергу мають невеликі водні залишки та значні рослинні забруднення.

З метою збільшення продуктивності забірних пристроїв на забруднених рослинністю озерах в комплексі засобів для добування необхідно застосовувати ріжучі фрези, які б розрізали верхній рослинний шар сапропелю при зануренні, а також розрихлювали нижні злежані сапропелеві поклади з метою покращення їх подальшого пневматичного піднімання до надводної поверхні.

Тому пропонується пневматичний забірний пристрій з додатковим фрезерним робочим органом рис. 3.9.

Даний пристрій містить ріжучу фрезу з гострими лезами-лопатями, вмонтовану всередині корпусу, яка приводиться в обертовий рух шляхом потрапляння потоку стиснутого повітря, що виходить з сопел напірного повітрепроводу, на бічну поверхню лопатей. При обертанні фреза механічно розрізає рослинний покрив на частинки та розрихлює поклади сапропелю, захоплюючи їх за рахунок утворення повітряно-сапропелевого завихрення та спрямовує вгору до транспортуючого трубопроводу покращуючи його піднімання.

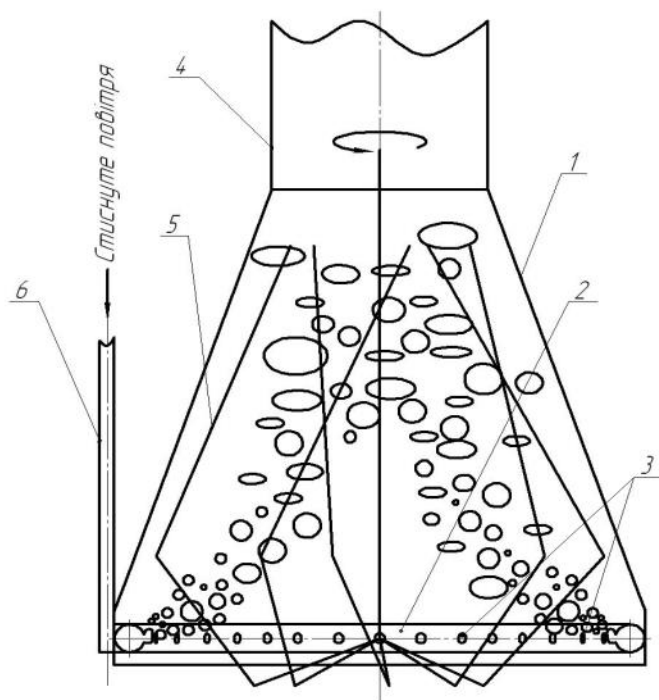


Рисунок 3.9 – Пневматичний збірний пристрій з фрезерним розрихлювачем: 1 – корпус; 2, 3 – напірний трубопровід з соплами; 4 – піднімальний трубопровід; 5 – ріжуча фреза; 6 – магістраль подачі повітря.

Добування сапропелів з підводних родовищ забірним пристроєм відбувається в більшості воронковим методом, з можливим застосуванням траншейного та папільонажного, при цьому даний пристрій оснащений пасивним розрихлюючим апаратом.

Для ведення розробки як воронковим так і траншейним методами добування пропонується конструкція пристрою рис. 3.10. Завдяки удосконаленню змішувача отримали нову конструкцію пневматичного забірної пристрою з рухомою забірною частиною та активним нагнітально-розрихлюючим апаратом, який працює за аналогічним принципом роботи але відрізняється конструктивними особливостями.

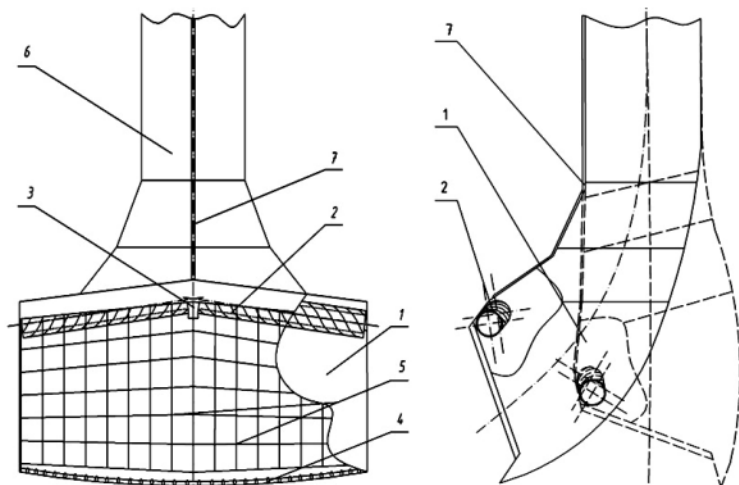


Рисунок 3.10 – Забірний пристрій з активним пневматичним розрихлювачем:

- 1 – корпус; 2 – пневматичний активний розрихлювач; 3 – турбіна; 4 – додатковий розрихлювач; 5 – захисна решітка 6 – піднімальний трубопровід; 7 – магістраль подачі повітря.

Даний забірний пристрій для добування сапропелю містить корпус, який поступово переходить у піднімальний трубопровід і має можливість рухатись у вертикальній (при зануренні) та горизонтальній (при роботі) площинах, пневматичний активний розрихлювач, що являє собою два циліндра з отворами і щілинами виконані у вигляді гвинта з яких подається стиснуте повітря в корпус, турбіну – призначену для приводу, додатковий розрихлювач з соплами, захисну решітку та магістраль подачі повітря.

Конструкція даного пристрою дозволяє збільшувати робочу ширину захвату, а пневматичний активний розрихлювач забезпечує якісне розрихлення та нагнітання покладів у піднімальний трубопровід, оскільки потоки повітря, що виходять через гвинтові отвори утворюють так званий повітряний горизонтальний шнек, що збільшує зону контакту повітря і сапропелю чим підвищується продуктивність.

За аналогічним принципом роботи працює і забірний пристрій рис. 3.11, відрізняється лише пасивним пневматичним розрихлювачем та містить пневматичний транспортуючий нагнітальний пристрій (ежектор) за допомогою якого можливо добувати поклади з великих глибин.

Оскільки максимальна енергія стиснутого повітря витрачається на розрихлення та забір сапропелів, незначна її частина лишається на піднімання покладів. Для забезпечення розробки

сапропелю з великих глибин пропонується встановлення транспортуючого нагнітального апарату в піднімальному трубопроводі, який в свою чергу буде доповнювати і підвищувати виштовхувальну енергію повітря.

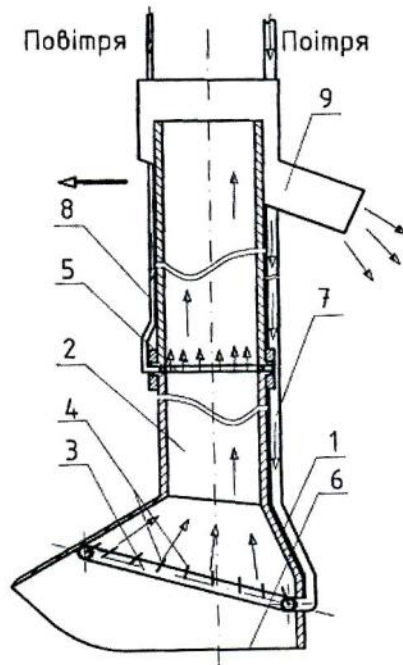


Рисунок 3.11 – Пневматичний забірний пристрій для глибинних робіт: 1 – корпус; 2 – піднімальний трубопровід; 3 – напірний трубопровід; 4 – сопла; 5 – транспортуючий нагнітач; 6 – захисна решітка; 7, 8 – магістралі подачі повітря; 9 – вивідний рукав.

Також для забезпечення папільонажного руху пристрою (поперемінне переміщенні пристрою з ліва

на право і навпаки) при добуванні сапропелю запропонована нова конструктивна схема змішувача рис. 3.12, яка дозволяє підвищити ефективність роботи збільшивши ширину захвату сапропелю за один прохід засобу.

На відміну від воронкового способу розробки родовищ використання запропонованого змішувача підвищує продуктивність, оскільки не враховує час на перевалочні операції по підніманню та перестановці пристрою.

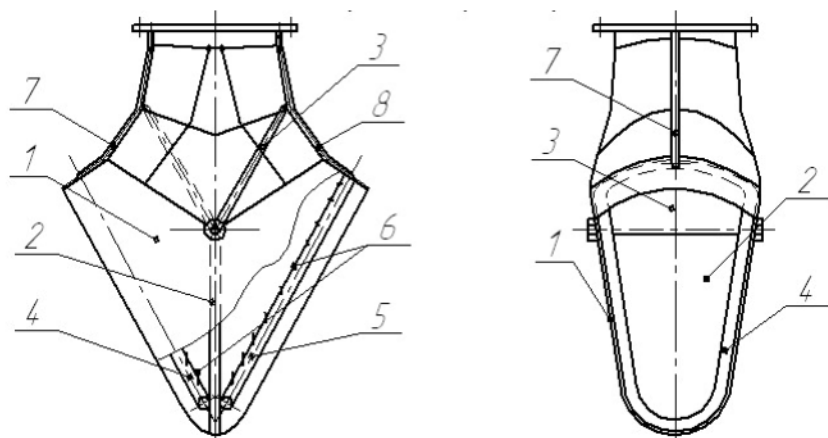


Рисунок 3.12 – Пневматичний змішувач забірною пристрою: 1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – рухома заслінка; 4, 5 – відповідно лівий та правий кільцеві напірні повітропроводи; 6 – сопла; 7, 8 – магістралі подачі повітря.

Застосування даного змішувача забезпечує рівномірну розробку середніх шарів покладів сапропелю, а комплектування піднімальним трубопроводом з ежектором дозволить збільшити глибину розробки.

Запропоновані пристрої характеризуються одночасним виконанням кількох операцій зокрема розрихлення, забір і піднімання покладів сапропелів з підводних родовищ до надводної поверхні. Запропоновані конструкції можуть використовуватися на різних озерних родовищах, пристосовані до різних глибин добування та здатні добувати сапропелі природної вологості.

Запропоновані нові перспективні конструкції машин і робочих органів, які пристосовані до розробки різних типів родовищ сапропелю, будь-якої глибини залягання без побічного втручання у навколишнє середовище, можуть впроваджуватись у виробництво.

3.3 Ефективність використання добутого озерного сапропелю у сільськогосподарському виробництві

Добування сапропелів в переважаючій більшості випадків ведеться в озерах, де розвивається підводний світ – водяна рослинність, риби, молюски. Озера можуть стати резервуарами прісної води. Слід відмітити і те, що кожне озеро унікальне, характеризується специфічною будовою і властивостями сапропелевих відкладів. Тому вибирати

способи добування донних відкладів слід індивідуально для кожного озера.

Серед найбільш розповсюджених технологій добування сапропелів в регіоні Західного Полісся є: землесосно-гідромеханізовані комплекси з обезводненням матеріалу у відстійниках; грейферні (з дна водойми) і ковшові (з-під шару торфу на болотах) екскаватори, встановлені на баржах; експериментальні шнекові механізми та пневматичні чи пневмомеханічні робочі органи. Дані машини можуть використовуватись, як для очищення акваторій озера так і для добування покладів для сільського господарства.

Озерні сапропелі у сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються як тверді органічні добрива (ТОД) вологістю 50...60%. При цьому встановлена норма коливається у межах 40...60 т/га в залежності від сільськогосподарської культури. Відтак максимальна економічна ефективність таких добрив проявляється у радіусі 20км навколо озера. Дослідженнями доведено можливість використання озерного сапропелю також у інших напрямках [96] і, у першу чергу, як складник при компостуванні листостеблових матеріалів сільськогосподарських злакових культур [14, 25].

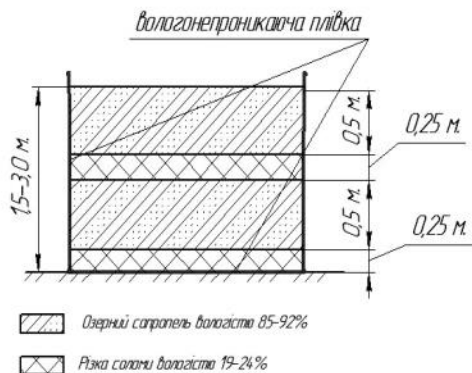
Витримка закладених дослідів більше 90 днів вказує, що чіткий розподіл складників за висотою суттєвого значення не має. Сапропель добре проникає

через солом'яну різку злакових культур. Активні процеси перетворення солом'яної різки в однорідну масу практично відбувається після двомісячного терміну взаємодії складників. Змочування солом'яної різки розчином гноївки сприяє процесам перетворення компосту в ТОД вологістю 50...60%. Щоб витримати дану вологість до моменту внесення у ґрунт необхідно забезпечити утримання хімічно зв'язної вологи у закладених буртах за допомогою поліхлорвінілової плівки.

Серед важливих показників, які сприятимуть у виготовленні запропонованих компостів є температура навколишнього середовища. Досліди проводились при кімнатній температурі, тому можна стверджувати, що така температура сприяє ефективному протіканню даного процесу. Результати проведених досліджень вказують, що товщина шарів солом'яної різки та сапропель має становити 1:3, з метою забезпечення проникності останнього та створення сприятливих умов розвитку грибів (рис. 3.13 а). При цьому тривалість виготовлення ТОД, має становити не менше двох місяців, в залежності від її призначення та подальшого використання. Фізичні властивості таких добрив дозволяють здійснювати їх внесення в ґрунту як поверхнево, так і локально всіма відомими механізованими засобами внесення органічних добрив.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Дослідження з отримання ТОД на основі сапропелю: а – загальний вигляд проведення досліду після 60 днів; б – схема закладання бурта у виробничих умовах

Одними із напрямків виробничого приготування ТОД (рис. 3.13, б), можуть стати пошарове закладання у силосні траншеї солом'яної різки після подрібнення зернозбиральним комбайном та озерних сапропелів природної вологості, але при цьому необхідно ущільнювати дно силосних траншей, для запобігання втрати вологи, яка необхідна для утворення добрив.

Результати проведених експериментальних досліджень вказують, що висота закладання може знаходитись у межах 1,5...3,0м, а забезпеченню появи

біологічних об'єктів у таких компостах сприяє рідка фракція гною ВРХ. На основі проведених досліджень пропонуються геометричні параметри силосних траншей для закладання компостів у виробничих умовах.

З іншої сторони на сільськогосподарських підприємствах України щорічно утворюється близько 45 млн. т гною і посліду, що за поживною цінністю еквівалентно 62% від загального виробництва мінеральних добрив в країні. Країна також має великі запаси сапропелю, найціннішої сировини для виробництва органічних і органо-мінеральних добрив. Ефективним є використання методу виробництва добрив з використанням суміші сапропель+гній [96].

Однак цей величезний потенціал використовується не більше ніж на 25...30%, що пояснюється, в основному, відсутністю економічних і ефективних технологій підготовки рідких і напіврідких відходів тварин і птиці як органічних добрив. Найбільш перспективною, з точки зору отримання агрохімічної (виробництво добрив), екологічної (знезараження та дезодорація) та енергетичної (виробництво палива та електроенергії) ефективності, є технологія переробки комплексів сапропель+гній в анаеробних умовах в спеціальних герметичних реакторах-метантенках, виконаних, як правило, з металу. Завдяки діяльності метаноутворюючих бактерій в безкисневому середовищі при температурі 39...40 або 53...55 °C в реакторі відбувається процес

бродіння суміші сапропелю з гноєм з утворенням горючого газу, основними компонентами якого є метан (60...65%) і вуглекислий газ (35...40%). З 1 т гною вологістю 92% протягом 10...15 діб можна отримати близько 20 м³ біогазу з теплотворною здатністю 23...25 МДж/м³. З цієї кількості приблизно 50% витрачається на підтримку заданого температурного режиму роботи метантенка, інше становить товарний біогаз, який можна використовувати на потреби господарства. Зброджена в метантенку маса являє собою легкозасвоюване рослинами і позбавлене збудників хвороб і насіння бур'янів рідке висококонцентроване органічне добриво, що містить макро- і мікроелементи, амінокислоти і фітогормони, що стимулюють ріст рослин. Це добриво застосовується на ґрунтах всіх типів для овочевих, плодово-ягідних, кормових культур, газонів, квітників, декоративних чагарників і т.п. особливо ефективно застосування зброджених добрив для кореневої і поливальної підгодівлі овочевих та інших сільськогосподарських культур (при 3...4-разовій підгодівлі, але не частіше 1 разу на десять днів), при цьому врожайність підвищується в 2...3 рази.

Також добуті поклади можна піддавати мінералізації природними корисними копалинами та утворювати гранульований продукт (органо-мінеральні добрива ОМД).

Виконавши операцію змішування органічного сапропелю з мінеральними компонентами, подрібнивши дану суміш та застосувавши контактне і конвективне сушіння можна отримати гранульовані ОМД (рис. 3.14.).

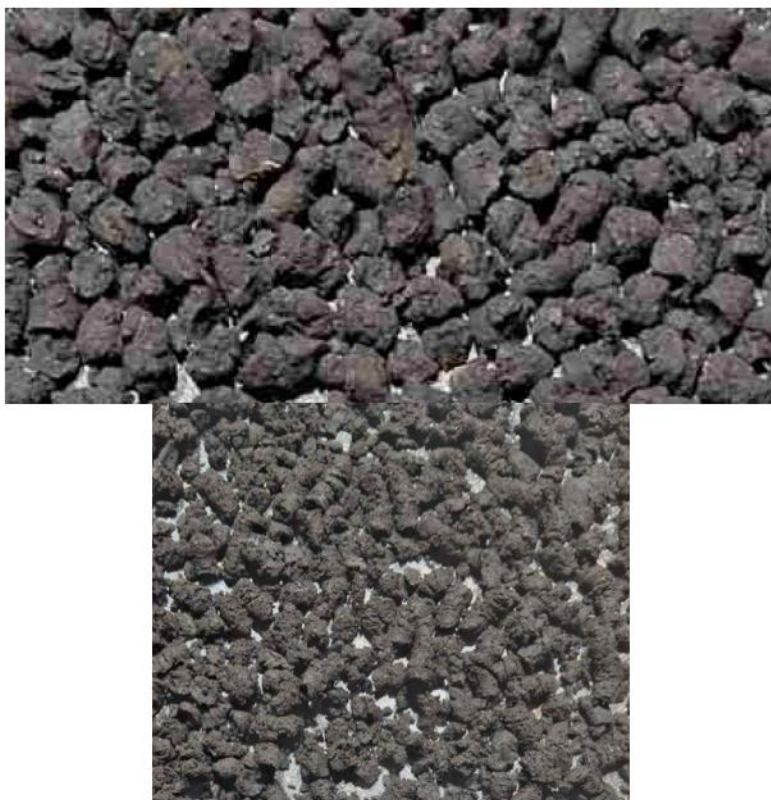


Рисунок 3.14 – Фото гранульованих ОМД на основі сапропелю

Відповідно такий продукт можна отримати використавши гранулювальний комплекс добрив з сапропелю (рис 3.15).

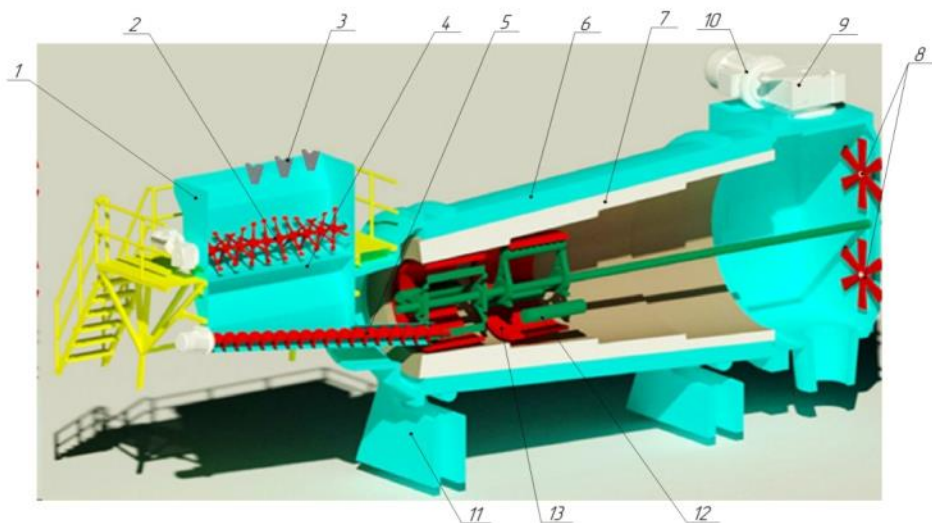


Рисунок 3.15 – 3D модель машини для виробництва гранульованих добрив з органічного сапропелю: 1 – бункер; 2 – мішалка; 3 – дозатори; 4 – заслінка; 5 – шнековий транспортер; 6 – корпус барабана; 7 – сушильна поверхня із керамічним покриттям; 8 – вентилятори; 9 – редуктор; 10 – електродвигун; 11 – опори; 12 – котки; 13 – перфорований циліндр.

Отже в Україні особливу перспективу мають добрива утворені на основі багатолітніх природних органічних сапропелевих накопичень. Основний склад таких добрив слід доповнювати мінеральними

компонентами місцевих родовищ чи сировинними сільськогосподарськими матеріалами. Найвища ефективність таких добрив може бути забезпечена у випадку їх гранулювання та утворення компостів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-прикладної задачі, яка полягає в удосконаленні технології та розробці технічного засобу для добування середнього шару озерного сапропелю з одночасним частковим його зневодненням і використанням у якості складника для виробництва ТОД. Під час її виконання отримані такі висновки та практичні результати:

1. В результаті аналізу попередніх досліджень використання озерних сапропелів у якості ТОД у сільськогосподарському виробництві встановлено, що відомі технології та технічні засоби не забезпечують якісні параметри свіжодобутого матеріалу для подальшого його застосування.

2. Запропоновано конструкцію засобу для добування озерного сапропелю з-під шару води. Визначальними РО, які забезпечують збереження природних властивостей сапропелю після підняття на поверхню є забірний пристрій, обладнаний чотирма криволінійними полицями у формі частини спіралі Архімеда, діаметром 0,8 м і шириною 2 м та гвинтовий прес для відтиску вільної води. Точки ріжучих кромek криволінійних полиць описують криві у вигляді трохоїд. В такому випадку забезпечується умова неруйнування відокремленого пласта та ефект

сприяння переміщення засобу для добування за швидкості 0,3 м/хв.

3. Вперше розроблена методика та експериментальне обладнання для дослідження пресіометричних параметрів озерного сапропелю, до яких віднесено опір зсуву R_{zc} , нормальну силу N_I та зчеплення середовища c . Встановлено, що значення цих величин у межах глибини залягання сапропелю 7...10 м, складають відповідно: $R_{zc} = 4,48...8,06$ Н/м², $N_I = 48,93...87,93$ Н/м², $c = 1,63...2,34$ Н/м², а збільшення площі контакту робочої поверхні під час взаємодії з озерним сапропелем призводить до зростання крутного моменту за лінійною залежністю.

4. Отримано аналітичні залежності для визначення сил, які виникають під час проникнення ріжучої кромки полиць у невагоме в'язке середовище, яким, з певним наближенням, можна вважати середній шар озерного сапропелю.

На основі аналізу переміщення елементарної маси криволінійними внутрішніми поверхнями полиць встановлено, що для використання позитивного ефекту їх взаємодії з сапропелем для руху засобу у напрямку розробки, сумарна рівнодійна всіх складових сили різання становить $R = 10,07$ кН, абсолютна швидкість руху ріжучої кромки робочої поверхні $V_{рк} = 0,1$ м/с, а необхідна потужність для відділення пласта від загального масиву $N = 1,18$ кВт.

5. Встановлення РО для відтиску вільної води з сапропелю на засіб для добування підвищує

ефективність його роботи. Доведено, що якість відтиску можуть забезпечити транспортуючі механізми, які функціонують як гвинтові преси з подвійними стінками у кожусі з внутрішньою перфорацією площею $S = 0,05 \dots 0,10 \text{ м}^2$, коефіцієнтом заповнення гвинта $K_1 = 1$ (незалежно від кута його нахилу) і тиском у межах $50 \dots 150 \text{ кПа}$, оскільки збільшення тиску до $201,8 \text{ кПа}$ не дає позитивного ефекту, а вільна вода відділяється лише у перші 60 с. Зменшення вологості сапропелю від 95 до 85% призводить до збільшення липкості від $0,25$ до $1,25 \text{ кПа}$. За змінного навантаження та часу його дії від 10 до 60 с липкість зростає до $1,00 \text{ кПа}$ і далі стабілізується.

6. Запропоновано програму та методики проведення експериментальних досліджень, розроблено нове устаткування для виявлення чинників, які впливають на якість збереження природних властивостей сапропелю при підйомі на поверхню. Встановлено, що розробку водойм закритого типу карстового походження необхідно проводити з рівнем води не меншим $0,7 \text{ м}$. Аналіз профілю таких озер вказує, що розробці покладів підлягає найбільш продуктивний середній шар з вологістю $79 \dots 90\%$ на глибині до 10 м . Вологість падає із збільшенням глибини, а її значення вказує, що озерний сапропель здатний утримувати до 15% вільної води під час підйому на поверхню. Залежність зміни вологості

органічного сапропелю від глибини залягання покладів близька до прямолінійної.

7. У результаті проведення трьохфакторних експериментів за планом Бокса - Бенкіна було отримано функції відгуків (16) і (17), які дозволяють встановити параметри РО для відокремлення пласта та відтиску вільної води під час подачі сапропелю у баржу. За результатами оптимізації параметрів процесів встановлено раціональні значення досліджуваних факторів для максимально ефективного перебігу процесу добування за липкості озерного сапропелю вологістю 85...90% $E = 0,25$ кПа, частота обертання полиць $n = 0,5$ об/хв, куті, який характеризує форму внутрішньої поверхні полиць (частина кривої спіралі Архімеда) $\alpha = 60^\circ$. Ефективність відтиску вільної води забезпечується тиском на матеріал $P = 150$ кПа, тривалістю відтискання $\tau = 60$ с та площею перфорації стінок, з якими безпосередньо взаємодіє сапропель $S = 0,15$ м².

8. Пошарове компостування подрібнених стеблових матеріалів злакових сільськогосподарських культур, зволжених розчином гноївки ВРХ з озерним сапропелем природного стану у співвідношенні 1:3 протягом двох місяців, за температури навколишнього середовища 25...30°C без перемішування, дозволяє отримати високоякісні ТОД. Отримані добрива володіють сипучістю з кутом природного укусу до 60°, не мають запаху, добре подрібнюються. Відтак їх внесення під час вирощування сільськогосподарських

культур можливе, як традиційно, – поверхнєве, так і локальне, – згідно нових технологій ведення органічного землеробства.

9. Найпоширенішими технологіями добування сапропелів з озер карстового походження є способи для розробки верхнього шару – пелогену. Середній шар сапропелю досліджений недостатньо, але за своїми якісними параметрами викликає найбільший інтерес для використання у сільськогосподарському виробництві. Нижній шар сапропелю практично не досліджується через високу щільність, що унеможливорює добування його відомими технічними засобами.

Проведені дослідження дали можливість удосконалити технологію добування озерного сапропелю з-під шару води та запропонувати технічний засіб з наступними основними параметрами:

- діаметр забірною пристрою $D = 0,8$ м з внутрішнім шнеком $d = 0,3$ м;
- ширина захвату засобу для добування сапропелів $L = 3,18$ м;
- кутова швидкість обертання полиць забірною пристрою $\omega = 15$ об/хв;
- поступальна швидкість руху засобу для добування $u = 1,8$ м/хв;
- товщина розроблювального пласта $H = 0,6$ м;
- енергетичний засіб – колісний трактор кл.1,4.

10. Порівняльний аналіз відомих технологій розробки сапропелевих родовищ вказує на негативний їх вплив на екосистеми озер та прилеглих територій. Проведеними дослідженнями доведено, що розробка середнього шару озерного сапропелю з-під води на мінімальних швидкостях РО дасть можливість отримати високотехнологічну продукцію для подальшого використання у сільськогосподарському виробництві без негативних екологічних наслідків.

Сапропелі органічного походження у сільському виробництві використовують, як правило, у вигляді ТОД. Але властивості вказують на широкі можливості їх застосування у вигляді складника у кормових добавках, виготовленні органо-мінеральних добрив (ОМД), отриманні біогазу, паливних брикетів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блохін В. С. Основні параметри технологічних машин. Ч.1. Машини для земляних робіт / В. С. Блохін, М. Г. Маліч. – К.: Вища школа, 2006. – 407 с.
2. Белянчиков М. М. Механізація тваринництва / М. М. Белянчиков, А. І. Смирнов. – К.: Вища школа, 1980. – 375 с.
3. Бодак В. І. Розробка і дослідження механізмів для добування сапропелів : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Бодак Володимир Іванович – Луцьк, 1996. – 209 с.
4. Булік Ю. В. Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелю : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Булік Юрій Володимирович – Луцьк, 2005. – 135 с.
5. Грабовець В. В. Обґрунтування процесу та засобів зневоднення озерних сапропелів : дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Грабовець Віталій Валерійович – Луцьк, 2011.
6. Деклараційний патент 15225 Україна, МПК Е 02 F 3/88. Пристрій для добування сапропелів. / Цизь І.Є., Дідух В.Ф., Шимчук О.П. - № u 200512720; Заявл. 28.12.2005; Опубл. 15.06.2006, Бюл. №6.
7. Дідух В. Ф. Аналіз засобів для добування сапропелів / В. Ф. Дідух, О. П. Шимчук. // Тези ХХІ-ої науково-технічної конференції професорсько-

викладацького складу. Луцьк – 2006. – С. 105...106. 8 8.

Хомич С.М. Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Хомич Сергій Миколайович. – Тернопіль, 2014. – 200 с

9. Дідух В.Ф. Виявлення зв'язку вільної води в озерних сапропелях / Дідух В.Ф., Шимчук О.П. // Вісник ЛНАУ. – Львів: 2008. – С. 556-561.

10. Дідух В.Ф. Експериментальні дослідження відділення вільної води з озерного сапропелю / Дідух В.Ф., Шимчук О.П., Сацюк В.В., Хлопецький Р.А. // Вісник НУВГП. Зб. наук. пр.: Рівне, 2008. – Вип. 3 (43). – С. 299-304.

11. Дідух В.Ф. Експериментальні дослідження процесу відділення води із сапропелю / Дідух В.Ф., Шимчук О.П. // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Ред.-вид. відділ ЛНТУ: Луцьк, 2006. – Вип. 14. – С. 90-93.

12. Дідух В.Ф. Дослідження добування озерного сапропелю з-під шару води та його використання під час виробництва органічних добрив / В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький, М.М. Поліщук // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей – Вип. 29-30. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2014. – С. 137– 144.

13. Дідух В.Ф. Кінематичний аналіз фрези для добування сапропелю / В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний

міжвідомчий науково-технічний збірник – Вип. 41 (частина I) – Кіровоград: КНТУ, 2011. — 444 с

14. Дідух В.Ф. Вибір методу розрахунку процесу різання середнього шару сапропелю / В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2011. – Вип. 21. – Т.І. – С.110-116.

15. Дідух В.Ф. Дослідження взаємодії криволінійної поверхні з ущільненим шаром сапропелю / В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький, С.Ф. Бабарика // Сільськогосподарські машини. – 2015. – Вип. 32. – С. 62-69.

16. Дідух В.Ф. Перспективи використання озерних сапропелів для виробництва палива / В. Дідух, Р. Хлопецький, О. Степанюк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету [Текст] : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. "Земля України - потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави", 24 - 26 берез. 2010 р., Вінниця. Вип. 42 Т. 4 / Вінницький нац. аграр. ун-т, М-во аграр. політики України. - Вінниця : Видавництво Вінницького національного аграрного університету, 2010. - 174 с.

17. Дідух В.Ф. Технологія виготовлення органічних добрив з використанням озерного сапропелю / В.Ф. Дідух, Р.А. Хлопецький // Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку: матеріали Міжнародної науково-

практичної конференції (м. Дніпропетровськ, 22–23 жовтня 2015). – Дніпропетровськ: РВВ ДДАЕУ, 2015. – 394 с.

18. 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.

19. Капаціла Ю.Б. Розробка і дослідження технологічних процесів багатофункціональних агрегатів для кормовиробництва: дис. кандидата техн. наук: 05.05.11 / Капаціла Юрій Богданович. – Луцьк, 1999. – 138 с.

20. Кошевий Е.А. Довідник по виробництву комбікормів / Е.А. Кошевий. – К.: Урожай, 1986. – 284 с.

21. Кошевий Е.А. Довідник по виробництву комбікормів / Е.А. Кошевий. – К.: Урожай, 1986. – 284 с.

22. Кравець С. В. Сили і параметри фрезерного робочого органа для розробки ґрунту у водному середовищі / С. В. Кравець, О. Л. Романовський, В. Д. Кирикович, А. А. Нечидюк // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. - 2011. - Вып. 63. - С. 78-84

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

24. Павлова І.О. Обґрунтування параметрів шарнірного робочого органу гвинтового конвеєра: дис. ... кандидата. техн. наук: 05.05.05 / Павлова Ірина Олексіївна. – Луцьк, 2006. – 174

25. Патент 23884 України, 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. – № u 200700972; Заявл. 30.01.2007; Опубл. 11.06.2007р., Бюл. № 8.

26. Пат. 71750 А України, МКИ Е21С49/00. Спосіб добування сапропелю з малих водойм / Булік Ю.В., Дідух В.Ф., Грабовець В.В. – № 71750 А; Заявл. 04.12.2003; Опубл. 15.12.2004р. Бюл. № 12.

27. Патент 100742 України, МПК: Е21С 50/00, Е02F 3/88. Добувний модуль озерних сапропелів / Дідух В. Ф., Хлопецький Р. А., Шимчук О. П.; Опубл. 10.08.2015р.

28. Патент 62869 України, МПК: Е02F 3/00. Добувний модуль озерних сапропелів / Дідух В. Ф., Хлопецький Р. А., Усенко М. В., Суховецький А. С.; Опубл. 26.09.2011р.

29. Патент 51204 України, МПК: Е02F 3/88. Добувний модуль озерних сапропелів / Дідух В. Ф., Хлопецький Р. А., Шимчук О. П., Суховецький А. С.; Опубл. 12.07.2010р.

30. Патент 92888 України, МПК: Е02F 3/88. Машина для локального внесення твердих органічних добрив / Поліщук М. М., Тарасюк В. В., Кірчук Р. В.,

Дідух В. Ф., Сацюк В. В., Хлопецький Р. А.; Опубл. 10.09.2014р.

31. Пилипець М.І. Розрахунок параметрів спіралей шнеків гнучких гвинтових конвеєрів / Пилипець М.І., Вітровий А.О. // Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Київ: Видавництво НАУ, 1998. – том. 4. – с. 245-247.

32. Рекомендації по використанню сапропелів для удобрення сільськогосподарських культур. – К., 1986. – с. 4.

33. Ріпецький, Є.Й. Особливості силового навантаження маніпулятора за взаємодії грейфера з матеріалом [Текст] / Є.Й. Ріпецький // Вісник Львівського національного університету. Агро. – Львів. – 2012. Інженерні дослідження №16. – С. 119 – 126.

34. Скоклюк С. Чи буде врятовано озеро Нечимне? / С. Скоклюк // Вісті Ковельщини. – вересень 2005.

35. Ріпецький, Є.Й. Наукова концепція проектування сільськогосподарських грейферних навантажувачів [Текст] / Є.Й. Ріпецький // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць: – Львів: Вид-во РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 127 – 131.

36. Тарасюк В. В. Обґрунтування технології та засобу формування гранул на основі сапропелю. : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Тарасюк Віктор Васильович – Тернопіль, 2012. – 182 с.

37. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – К: НМК ВО, 1992. – 319 с.
38. Хлопецький Р. А. Математичне моделювання руху матеріальної точки по поверхні спіралі Архімеда / Р. А. Хлопецький // Сільськогосподарські машини. - 2015. - Вип. 31. - С. 163-169.
39. Хлопецький Р.А. Методика визначення пресіометричних показників сапропелю / Р.А. Хлопецький, І.М. Ілюшик // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2011. – Вип. 22. – С.224-228.
40. Хлопецький Р.А. Новітні технології та засоби для добування озерного сапропелю з-під шару води / Р.А. Хлопецький // Актуальні проблеми розвитку регіональних АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (26-27 травня 2011р.) / Відп. ред. Т.В. Божидарнік. – Луцьк: РВВ Луцького національного технічного університету, 2011. – 274 с.
41. Хомич С.М. Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Хомич Сергій Миколайович. – Тернопіль, 2014. – 200 с.
42. Шевчук М. Й. та ін. Ефективність сапропелізації ґрунтів в умовах радіоактивного забруднення. // Метод. посібник з організації

проведення НДР в галузі сільськогосподарської радіології. – К., 1992.

43. Шевчук М.И., Бердников А.М. Оценка эффективности сапропелевых удобрений в лизиметрических опытах. // Тез. докл. «Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве». – Мн., 1992. – с. 42–43.

44. Шевчук М. И., Голуб С. Н. Сапропелевые удобрения в условиях радиоактивного загрязнения. // В сб. «Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве». – Мн., 1992. – с. 44.

45. Шевчук М.Й. Агроекологічні аспекти раціонального використання сапропелю в умовах Полісся України. // Тези доповідей «Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє». – Харків – Луцьк, 1993. – ч. 1. – с. 37–40.

46. Шевчук М.Й., Мерленко І.М. Екологічні аспекти застосування сапропелевих добрив. // Тези доповідей «Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє». – Харків – Луцьк, 1993. – с. 95–96.

47. Шевчук М. Й. Озерні сапропелі України/ М.Й. Шевчук, Е.Г. Дегодюк, В.І. Холоша, Б.С. Простер // Збірник технологій і рекомендацій щодо використання сапропелів, у тому числі на забруднених радіонуклідами землях, нормативних актів, довідкових матеріалів. Луцьк.: Надстир'я, 1996. 188 с.

48. Шевчук М.Й. Сапропелі України. Запаси, якість та перспективи використання / Шевчук М.Й. – Луцьк: Надстир'я, 1996. – 383 с.

49. Шевчук М. Й. Агрохімічні та агроекологічні основи добування і використання озерних родовищ сапропелів в сільському господарстві : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук / Шевчук Михайло Йовсипович – К., 1997. – 24 с.

50. Шимчук О.П. Визначення доцільності використання шнека у якості засобу добування сапропелю / О.П.Шимчук, В.А.Матвійчик // Зб. наук. ст., Луцьк: Ред.-вид. Відділ ЛДТУ, 2007. – вип. 15. – с. 345-348.

51. Шимчук О.П. Експериментальні дослідження шнекового пристрою для зневоднення сапропелю / О.П.Шимчук // Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва. Тези XXIII-ої науково-тезнічної конференції професорсько-викладацького складу. – Луцьк, 2008. – с. 171-173.

52. Roman Hlopetskyi. Latest technologies and tools for lacustrine sapropel extraction from the water layer / Roman Hlopetskyi, Olexandr Shymchuck // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture-2014. Vol.16. No.4. – Lublin – RZEW 2014. – P. 255-257.

Міністерство освіти і науки України

**Дідух Володимир Федорович, Цизь Ігор Євгенович,
Хомич Сергій Миколайович, Хлопецький Роман Андрійович**

Наукове видання

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОБУВАННЯ
САПРОПЕЛІВ З-ПІД ШАРУ ВОДИ**

Монографія

Редакційно-видавничий відділ

Луцького національного технічного університету

Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.

Редактор: Р.А. Хлопецький, С.М. Хомич

Комп'ютерний набір та верстка: Р.А. Хлопецький, С.М. Хомич

Підписано до друку . . 2025 р.

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 10,25. Обл.-вид. арк. 10,0.

Наклад 300 прим. Зам. № .

Друк – РВВ ЛНТУ, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.

Дідух В.Ф.

Дослідження та вдосконалення засобів для добування сапропелів з-під шару води: Монографія / В.Ф. Дідух, І. Є. Цизь, С.М. Хомич, Р.А. Хлопецький. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2025. – 141 с.

ISBN 978-617-672-021-8

Монографія присвячена розробці дослідження та вдосконалення засобів для добування сапропелів з-під шару води з одночасним збереженням і відновленні замулених озер. Призначення добутого сапропелю для отримання добрив у сільському господарстві. Проаналізовано технології та засоби для добування органічних сапропелів, які знаходяться під шаром води. Запропоновано нові конструкції машин для очищення озер від сапропелів та технології переробки сировини на продукцію (добрива)

Рекомендується науковцям, аспірантам, студентам та інженерним працівникам, які займаються питаннями добування озерних сапропелів.

УДК 631.3:621:695:553:973(043.3)

ББК: 41.47