

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет аграрної інженерії та екології
Кафедра аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

на тему:
**«УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ДОБУВАННЯ САПРОПЕЛЮ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ»**

спеціальності 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Агроінженерія»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АІ- 41
БОНДАРЕЦЬ Станіслав Петрович

(підпис)

Керівник: к.т.н., ст. викладач
ХЛОПЕЦЬКИЙ Роман Андрійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., професор
КІРЧУК Руслан Васильович

(підпис)

Луцьк 2025

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>аграрних технологій та екології</u>
Кафедра	<u>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Галузь знань	<u>20 Аграрні науки та продовольство</u>
Спеціальність	<u>208 Агроінженерія</u>
Освітня програма	<u>Агроінженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри аграрної інженерії
імені професора Г.А. Хайліса
доц., к.т.н. ХОМИЧ Сергій
Миколайович _____

“ _____ ” _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бондарцю Станіславу Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Удосконалення механічної технології добування сапропелю з модернізацією фрезерного робочого органу

Керівник роботи: Хлопецький Роман Андрійович, ст.викл., к.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від “ 17 ” січня 2025 р. № 33/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
« ___ » _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи _____

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

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу бакалавра.
3. Анотація
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

	к-сть листів
1. Схема удосконаленої технології	- 1 лист
2. Функціональна (принципова) схема машини	- 1 лист
3. Організація робіт або операційно-технологічна карта	- 1 лист
4. Складальне креслення розроблюваного вузла	- 1 лист
5. Робочі креслення деталей	- 1 лист

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання « ___ » _____ 202_ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з матеріалами і літературою	08.04 – 11.04.2025 р.	
2	Формування вихідних даних, мети та завдання виконання кваліфікаційної роботи	12.04 – 18.04.2025 р.	
3	Розробка рекомендації з покращення (удосконалення) технології	19.04 – 25.04.2025 р.	
4	Розрахунки параметрів машини і вузла, які проектуються	26.04 – 01.05.2025 р.	
5	Розробка функціональної (кінематичної) і принципової схем машини	02.05 – 08.05.2025 р.	
6	Розробка конструкції вузла і його деталей	09.05 – 15.05.2025 р.	
7	Розробка питань охорони праці та довкілля	16.05 – 22.05.2025 р.	
8	Оформлення пояснюючої записки	23.05 – 29.05.2025 р.	
9	Нормоконтроль	30.05 – 03.06.2025 р.	
10	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	до 10.06.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Бондарець Станіслав Петрович

(прізвище та ініціали)

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Хлопецький Роман Андрійович

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

73 стр., 11 малюнків, 4 таблиці, 11 джерел, 2 додатки.

ДОБУВНИЙ МОДУЛЬ ОЗЕРНИХ САПРОПЕЛІВ, САПРОПЕЛІ, ДОБУВНА ФРЕЗА, ВОЛОГІСТЬ, ПРИВІД, ОПІР, РІЗАННЯ, ГІДРОПРИВІД, СИЛА, НАПРУЖЕННЯ.

В дипломному проєкті приведено документацію на розробку добувного модуля озерних сапропелів. Використовуючи вихідні дані, в проєкті розроблені вихідні вимоги до добувного модуля озерних сапропелів, сформульовано вимоги технічного завдання, визначенні вихідні дані для проєктування, проведено обґрунтування параметрів фрези добувного модуля. Побудовані функціональна і принципова схеми добувного модуля озерних сапропелів. Розроблено також конструкції збірних одиниць і деталей добувної фрези модуля, розглянуто питання експлуатації добувного модуля озерних сапропелів і охорони праці та довкілля.

					КАІ. ФРО 00.00.0000. ПЗ		
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата			
Розробив	Бондарець				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Хлопецький						
Т. контр.					ЛНТУ, КАІ		
Н. контр.	Юхимчук						
Затверд.	Хомич						
					Удосконалення механічної технології добування сапропелю з модернізацією фрезерного робочого органу		
					Пояснювальна записка		

Завдання	2
Реферат	3
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	8
1.1 Екологічне значення видобутку сапропелю.....	8
1.2 Властивості сапропелю як органічної сировини.....	10
1.3 Існуючі технології видобутку сапропелю	14
1.4 Сучасний стан технічного забезпечення та потреби модернізації.....	22
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ	27
2.1 Вибір технологічної схеми видобутку сапропелю	27
2.2 Вимоги до фрезерного робочого органу	31
2.3 Технологічне обґрунтування вибраної конструкції	33
2.4 Принцип дії та конструктивні особливості запропонованої системи	34
2.5 Вибір ділянки та способу руху	37
2.6 Розрахунок техніко-економічних показників МТА.....	38
Висновки до розділу 2	40
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	42
3.1 Аналіз конструкції машин-аналогів	42
3.2 Обґрунтування конструкції вузла.....	44
3.3 Розрахунок параметрів робочого органу	46
3.4 Розробка конструкції робочого органу (вузла) та деталей	48
Висновки до розділу 3	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	53
4.1. Техніка безпеки при експлуатації добувного модуля. Моделювання небезпечних ситуацій.....	53
4.2. Вимоги до техніки безпеки при експлуатації добувного модуля озерних сапропелів	56
4.3. Вплив добувного модуля озерних сапропелів на довкілля.....	61
4.4 Заходи з охорони та раціонального використання земельних ресурсів.....	61
Висновки до розділу 4	63

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
Використана література.....	67
ДОДАТКИ.....	68

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах агровиробництва спостерігається дефіцит органічних добрив, що вимагає пошуку нових, ефективних і водночас екологічно безпечних ресурсів. Одним із перспективних джерел є сапропель — донні відклади прісноводних водойм, що мають органо-мінеральну природу, містять велику кількість гумусоподібних речовин та можуть використовуватися як складник твердих органічних добрив. Проте високий рівень природної вологості сапропелю (до 95–98 %) ускладнює його практичне застосування без попередньої обробки.

Значна частина озер України перебуває у стадії евтрофікації, що сприяє накопиченню сапропелю в котловинах і водночас знижує екологічний стан водойм. Видобування сапропелю дозволяє не лише отримати цінну сировину для удобрення, а й сприяє відновленню водних екосистем [1].

Аналіз останніх досліджень свідчить, що найбільш ефективними є механізовані способи видобутку сапропелю з-під шару води. Особливу увагу дослідники приділяють створенню та удосконаленню забірних пристроїв фрезерного типу, які здатні працювати у важкодоступних ділянках і забезпечувати зневоднення матеріалу вже на етапі видобутку. У дисертаційних роботах останніх років зазначено необхідність підвищення енергоефективності робочих органів, зменшення втрат структури сапропелю та зниження впливу на довкілля.

Мета і завдання роботи. Метою дипломного проекту є підвищення ефективності механічної технології видобутку сапропелю шляхом модернізації фрезерного робочого органу, який забезпечує зменшення вологості матеріалу та збереження його структури.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

- провести аналіз існуючих способів видобутку сапропелю та конструкцій забірних пристроїв;
- обґрунтувати необхідність удосконалення фрезерного робочого органу;

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити нову конструкцію робочого органу та проаналізувати її ефективність;
- провести розрахунки та експериментальні дослідження з визначення продуктивності модернізованої системи;
- оцінити економічну доцільність впровадження та потенційний екологічний ефект.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Екологічне значення видобутку сапропелю

В умовах зниження застосування традиційних органічних добрив у сільському господарстві зростає зацікавлення у використанні сапропелю — донних відкладів прісноводних водойм, багатих на органічну речовину. З одного боку, сапропель — це цінна органічна сировина для виробництва добрив, покращувачів ґрунту, кормових і лікувальних засобів. З іншого — його видобуток сприяє очищенню водойм, що знаходяться в стадії евтрофікації.

Сапропель — цінна органо-мінеральна речовина, яка утворюється в донних шарах прісноводних водойм у результаті відмирання і часткового розкладу водної рослинності, планктону та інших біологічних решток. Його видобуток і подальше застосування має не лише сільськогосподарське, а й важливе екологічне значення. В умовах глобального дефіциту органічних добрив сапропель може стати відновлювальним джерелом покращення родючості ґрунтів [2].

Більшість озер України є евтрофними або мезо-евтрофними — тобто перенасиченими органікою, що стимулює ріст водної рослинності й призводить до замулення дна. За відсутності природного очищення вода поступово міліє, втрачається прозорість, а з часом озеро перетворюється на болото. У таких умовах видобуток сапропелю виконує функцію санації водойми, відновлюючи її гідрологічну рівновагу та біорізноманіття.

Сапропель здатен накопичувати великі об'єми органіки, біогенних елементів (азот, фосфор, калій, кальцій, магній), мікроелементів, а також володіє властивістю зв'язувати важкі метали. Тож його вилучення з озер разом із надлишком поживних речовин запобігає вторинному забрудненню води та сприяє очищенню водної екосистеми.

Крім очищення, добування сапропелю сприяє поглибленню дна водойми та підвищенню її водоемності, що особливо важливо в умовах кліматичних змін і дефіциту прісної води. Відновлення глибини водойми дозволяє підтримувати

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурний режим, покращує умови для життя риб, зменшує ризик цвітіння води й зниження вмісту кисню.

Екологічна доцільність видобутку сапропелю також полягає в запобіганні затопленню навколишніх територій. У випадку озер, розташованих у низинних ділянках або поблизу господарських угідь, очищення від сапропелю дозволяє стабілізувати рівень води та зменшити ризики підтоплення.

Таким чином, при раціональному підході видобуток сапропелю є не лише технологічним, а й екологічним заходом — способом оздоровлення природного середовища та утилізації накопичених органічних мас. Проте реалізація таких рішень потребує науково обґрунтованого підходу, врахування особливостей екосистем і вибору оптимальних способів добування, які мінімізують втручання у водне середовище. Використання сапропелю як добрива сприяє:

- покращенню структури та водоутримуючої здатності ґрунту;
- зменшенню потреби в мінеральних добривах;
- підвищенню рівня гумусу та активізації мікробіологічних процесів у ґрунті.

З точки зору екології, видобуток сапропелю дозволяє:

- сповільнити процеси евтрофікації водойм, які в іншому разі ведуть до їхнього замулення і зникнення;
- зменшити біогенне навантаження на водойми шляхом вилучення надлишків органічної маси;
- підтримати гідрологічний баланс водойм, що зазнають природного обміління.

Однак сам процес видобутку потребує екологічно безпечних рішень, адже нерациональні способи добування можуть погіршити якість води, порушити біоценози, зруйнувати дно та прискорити деградацію водойми. Тому питання вибору технології добування сапропелю має велике значення як з технічного, так і з екологічного погляду [3].

У сучасних умовах розвитку сталого сільського господарства сапропель розглядається не лише як добриво, а й як елемент кругового використання

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

природних ресурсів. Використання сапропелю дозволяє закрити органічний цикл, повертаючи біологічні рештки у ґрунт, що сприяє збереженню природної родючості й зменшує антропогенне навантаження на екосистеми. Крім того, активне застосування сапропелю в аграрному секторі може сприяти відновленню деградованих ґрунтів, особливо в регіонах, що зазнають ерозії чи засолення. Досвід низки країн Європи показує, що видобуток і переробка сапропелю можуть стати ефективною складовою екологічного менеджменту, коли технічні рішення поєднуються з природоохоронними заходами. Таким чином, розробка ефективних технологій добування сапропелю повинна базуватися на комплексному підході, що враховує екологічні, агрономічні та техніко-економічні аспекти.

1.2 Властивості сапропелю як органічної сировини

Сапропель є унікальною орґано-мінеральною речовиною природного походження, що утворюється в донних шарах прісноводних водойм внаслідок осідання, часткового розкладу і гуміфікації залишків водної флори, фауни, планктону, мікроорґанізмів. Утворення сапропелю відбувається в умовах нестачі кисню, низької температури, уповільненої мікробіологічної активності та поступового накопичення мулових мас. Його формування є процесом тривалим, що потребує десятиліть і навіть століть, завдяки чому сапропель має стійку структуру та стабільний склад.

Фізико-хімічні властивості сапропелю істотно варіюють залежно від геологічного походження, умов утворення та вмісту мінеральних і органічних домішок. Основними критеріями для класифікації сапропелів є: вміст органічної речовини, зольність, вологість, реакція середовища (рН), наявність гумінових і фульвокислот, макро- та мікроелементів.

У практиці виділяють кілька основних типів сапропелю: орґано-мінеральний, органічний, карбонатний та залізистий. Їхня порівняльна характеристика наведена в таблиці 1.1 [3].

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 1.1 – Середні показники фізико-хімічних властивостей сапропелю

Показник	Органо- мінеральний	Органічний	Карбонатний	Залізистий
Вміст органічної речовини, %	20–35	40–70	5–20	10–20
Вологість, %	80–95	85–97	75–85	80–90
Зольність, %	20–40	10–30	60–80	50–70
pH водної витяжки	6.5–7.5	6.0–7.0	7.5–8.5	6.0–7.5
Вміст гумінових речовин, % від орг.	30–50	50–60	10–30	30–40
Вміст CaO, %	1–5	0.5–3.0	5–20	1–3
Вміст N, %	1.0–2.5	1.5–3.0	0.5–1.0	0.8–1.5

Як видно з таблиці, органічний сапропель має найбільший вміст органічної речовини (до 70%) і вологість до 97%, що робить його перспективним для аграрного використання, проте потребує попередньої підсушки. Карбонатні та залізисті різновиди, натомість, характеризуються вищою зольністю та відповідно вищим вмістом CaO або сполук заліза, що зумовлює інші сфери їх застосування.

З агрономічної точки зору важливим є високий вміст гумінових речовин, які стимулюють мікробіологічні процеси в ґрунті, активізують ферментативну активність, сприяють покращенню структури ґрунту та підвищенню засвоюваності поживних речовин рослинами. Крім того, сапропель є джерелом

макроелементів — азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію — та мікроелементів, необхідних для розвитку культурних рослин.

Особливу увагу привертають реологічні властивості сапропелю — його здатність змінювати в'язкість залежно від температури, концентрації твердих частинок та ступеня зволоження. Сапропель природної вологості має пастоподібну, іноді желеподібну консистенцію, легко піддається перемішуванню і транспортуванню, але водночас погано зберігає форму без тари чи підтримки. Зі зменшенням вологості підвищується в'язкість і пластичність, з'являються умови для грануляції або пресування.

Реологія сапропелю – важливий параметр при проектуванні технічних засобів для його добування, транспортування й внесення в ґрунт. Сапропель проявляє властивості пластично-в'язкої рідини (в умовах високої вологості) або пластичної маси (при зниженні вологи).

В'язкість сапропелю значною мірою залежить від:

- вологості;
- вмісту органіки;
- ступеня мінералізації;
- температури навколишнього середовища.

Нижче в таблиці 1.2 наведено базові орієнтовні показники реологічних характеристик сапропелю залежно від вологості [4].

Таблиця 1.2 – показники реологічних характеристик сапропелю залежно від вологості

Вологість, %	Динамічна в'язкість, Па·с	Пластична міцність, Па	Тип поведінки
95–97	150–350	30–60	тиксотропна рідина
90–94	500–900	100–200	пастоподібна маса
85–89	1000–1800	250–400	пластична маса

Вологість, %	Динамічна в'язкість, Па·с	Пластична міцність, Па	Тип поведінки
<85	>2000	>500	високо-пластична маса

Такі реологічні властивості визначають вибір типу робочого органу для добування — наприклад, фрезерного, гвинтового або шнекового — і потребують врахування під час транспортування та зберігання сапропелю. При високій вологості сапропель легко піддається перекачуванню, але швидко змінює властивості під впливом механічного навантаження (ефект тиксотропії).

Таким чином, знання реологічних характеристик сапропелю дозволяє не лише покращити технологію його добування, а й забезпечити ефективне використання в аграрному виробництві, знижуючи витрати на підготовку та застосування.

Реологія сапропелю важлива під час вибору способу добування (вакуумно-шнековий, гідромеханічний, ковшевий), транспортування та подальшої переробки. Зокрема, для внесення в ґрунт рекомендується вологість 50–60%, тоді як для виготовлення твердих форм добрив — до 30%. Це вимагає або часткового зневоднення у відстійниках, або механічного зневоднення (в центрифугах, на фільтрувальних пресах), а також можливого змішування з адсорбентами чи допоміжними речовинами (торфом, тирсою, біовугіллям) [5].

У зв'язку з цим, доцільним є проведення попереднього аналізу фізико-механічних і хімічних властивостей конкретного сапропелю перед його промисловим використанням, оскільки властивості можуть варіювати навіть у межах однієї водойми. Комплексна характеристика сапропелю дозволяє розробити найбільш ефективну та економічно доцільну технологію його добування, зберігання та застосування.

Сапропель містить певну кількість нерозчинних мінеральних домішок, які формують його зольність — показник, що відображає частку неорганічної речовини після повного згоряння. Зольність варіюється від 10% до 80% залежно

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

від типу сапропелю та умов утворення. Висока зольність характерна для карбонатних та залізистих типів і знижує енергетичну цінність сапропелю, проте водночас підвищує його значення як джерела мінеральних елементів.

З точки зору токсикології, сапропель вважається екологічно безпечною сировиною. Більшість досліджень підтверджують, що він не містить токсичних сполук у концентраціях, які б перевищували гранично допустимі норми для ґрунтів та добрив. Однак у випадках антропогенного навантаження (наприклад, водойми в промислових регіонах) можливе накопичення важких металів, зокрема свинцю, кадмію, міді, цинку. Тому перед використанням сапропелю в сільському господарстві обов'язковим є лабораторний аналіз на вміст токсикантів. Це забезпечує відповідність нормативам і запобігає потенційному перенесенню забруднень у харчовий ланцюг [6].

Хоча основне застосування сапропелю пов'язане з агрономією, у деяких регіонах розглядається також його потенціал як альтернативного біопалива. Завдяки наявності органічної речовини (до 70%), висушений сапропель може використовуватись для брикетування або спалювання.

Середня теплотворна здатність сухого сапропелю становить:

- для органічного — 7,0–11,5 МДж/кг;
- для органо-мінерального — 5,5–9,0 МДж/кг;
- для високозольного (карбонатного/залізистого) — 4,0–7,0 МДж/кг.

Ці значення нижчі, ніж у торфу або деревини, однак сапропель залишається привабливим як локальний енергоносіє, особливо при утилізації відходів добування або осушення. До того ж, зольний залишок після згорання може використовуватись як мінеральна добавка до ґрунту, замінюючи частину фосфорно-калійних добрив.

1.3 Існуючі технології видобутку сапропелю

Сучасні технології видобутку сапропелю охоплюють широкий спектр методів, що відрізняються за джерелом енергії, конструкцією робочих органів, глибиною залягання покладів, способом транспортування пульпи та рівнем

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ				

екологічного впливу. Загальноприйнята класифікація поділяє ці методи на три основні групи: механічні, гідравлічні (гідромеханізовані) та пневматичні (пневмомеханізовані). Кожна група передбачає застосування різноманітних типів забірних пристроїв — від грейферів і черпаків до фрезерних, шнекових, роторних та вакуумних систем.

Вибір тієї чи іншої технології зумовлюється багатьма чинниками, серед яких: глибина і щільність покладів, консистенція та вологість сапропелю, наявність покривного шару (торфу, мулу), характер водної рослинності, екологічна чутливість водойми, сезонність та доступність об'єкта, а також економічна доцільність реалізації робіт. Нижче подано детальний огляд найпоширеніших груп технологій із критичним аналізом їх переваг, недоліків та екологічної й економічної ефективності [7].

1. Механічні технології видобутку

До механічних технологій відносяться способи, які базуються на фізичному захопленні сапропелю з дна водойми за допомогою відповідних робочих органів. Найбільш поширеним прикладом є грейферна установка, що монтується на понтоні або баржі. Принцип дії доволі простий: грейфер занурюється у донні відклади, захоплює певний об'єм сапропелю, після чого піднімається на поверхню та транспортує сировину до фільтраційних майданчиків або безпосередньо в транспортні ємності. Такі грейферна установки зображена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1. грейферні установки в роботі з торфом та сапропелем

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головною перевагою механічних методів є їх технологічна простота. Завдяки відносно простій конструкції обладнання, що зазвичай включає грейферний ківш, тросовий підйомник та систему направлення, значно спрощується його виготовлення, обслуговування і ремонт. У випадку поломки чи необхідності модернізації, такі системи легко адаптуються прямо на місці експлуатації, без потреби залучення спеціалізованих сервісів. Крім того, ці методи є досить ефективними на невеликих глибинах і при доступності до родовища з берега або платформи.

Водночас істотним недоліком механічного способу є висока ступінь механічного втручання в донний шар. Це призводить до порушення природної структури сапропелевого покладу, механічного знищення мікрофлори та мікрофауни, а також до підвищення мутності води внаслідок підйому завислих часток. За умов глибокого залягання родовища ефективність методу знижується, оскільки виникає необхідність у потужнішому та дорожчому обладнанні [8].

З погляду екологічної доцільності, механічні технології є прийнятними лише в техногенних або локальних водоймах із низькою біоценотичною цінністю. Економічна ефективність таких рішень залишається доволі високою при використанні на малих глибинах та при малій вартості обслуговування. Додаткові приклади механічного обладнання, зокрема, черпакові пристрої зображені на рисунку 1.2, які використовуються при мілководді, а порівняльну характеристику типів механічних методів наведено у таблиці 1.3.



Рисунок 1.2. Черпаковий пристрій

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – порівняльна характеристику типів механічних методів

Метод	Глибина застосування	Продуктивність	Екологічний вплив	Вартість експлуатації	Переваги	Недоліки
Грейферний	До 10 м	Середня (5-15 м ³ /год)	Високий	Помірна	Проста конструкція, ремонтпридатність	Руйнування донного шару, каламутність
Черпаковий	До 5 м	Низька (3-7 м ³ /год)	Середній	Низька	Дешева експлуатація, автономність	Низька глибина застосування, ручна праця
Фрезерно-шнековий	До 8 м	Висока (10-25 м ³ /год)	Високий	Висока	Висока продуктивність	Складність конструкції, вплив на мікрофлору
Роторний з елеватором	До 6 м	Середня (8-12 м ³ /год)	Високий	Середня	Безперервна подача пульпи	Руйнування покладу, енергозатратність

2. Гідромеханізовані технології

Гідромеханізовані методи передбачають використання земснарядів або плавучих платформ, оснащених потужними насосами, гідромоніторами та трубопроводами. Процес полягає в розмиванні сапропелю водяним струменем під високим тиском, що дозволяє утворити пульпу, яку всмоктують і транспортують до місць фільтрації або зневоднення. Установки цього типу включають такі технічні засоби, як земснаряди типу "Омега" (рис. 1.3) та гідромонітори (рис. 1.4).

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3. – земснаряди типу "Омега"

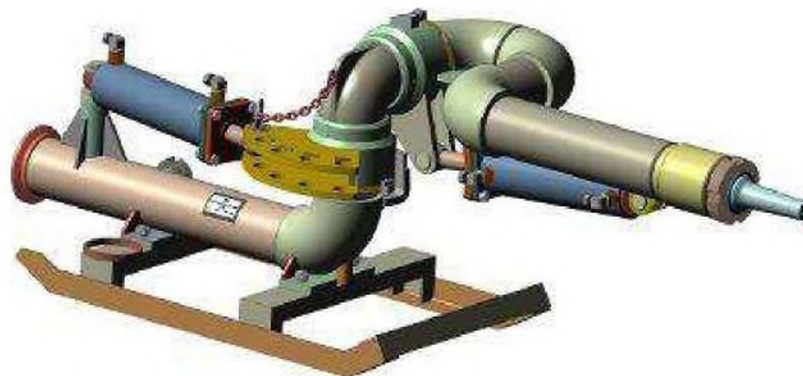


Рисунок 1.4. – Гідромонітор

Серед основних переваг гідромеханізованого методу — висока продуктивність, що може сягати до 40–50 м³/год, можливість роботи на значних глибинах понад 15 метрів без осушення водойми, а також дистанційне управління процесом, що забезпечує безпеку персоналу. Такі технології широко застосовуються у промислових масштабах, де обсяги робіт виправдовують значні початкові інвестиції [9].

Однак, як і всі високопродуктивні системи, цей метод має низку недоліків. Частина сапропелю втрачається з водою під час розмивання, що знижує загальний вихід цінної сировини. Процес супроводжується істотним підвищенням каламутності води, що негативно впливає на водну біоту. Крім того,

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання потребує значних витрат на закупівлю, енергозабезпечення та обслуговування.

З екологічної точки зору, гідромеханізовані технології не рекомендовані для застосування в природоохоронних та рекреаційних водоймах. Проте в умовах великих виробництв вони залишаються економічно доцільними завдяки своїй ефективності та масштабованості.

3. Пневмомеханізовані технології

Пневмомеханізовані методи ґрунтуються на принципі всмоктування сапропелю за допомогою вакуумних насосів або ежекторів. Вони можуть бути реалізовані як у вигляді автономних мобільних установок, так і стаціонарних систем із довгими вакуумними магістралями. На рисунку 1.5 показано один із прикладів вакуумної установки для сапропелю на базі земснаряду МЗ-20Е.

Основною перевагою пневматичного підходу є його мінімальний вплив на структуру донного шару. Сапропель витягується без механічного руйнування горизонту, що робить технологію особливо цінною для природоохоронних водойм та територій із підвищеним екологічним контролем. Вакуумні системи практично не порушують флору і фауну водойми, не викликають підвищеної мутності води і дозволяють здійснювати точковий відбір сировини в межах заданої глибини.



Рисунок 1.5. – Вакуумна установка для сапропелю на базі земснаряду МЗ-20Е.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед недоліків пневмомеханізованих технологій слід відзначити порівняно низьку продуктивність, що унеможлиблює їх широке використання в промислових обсягах. Крім того, такі системи є технічно складнішими, потребують постійного обслуговування, налаштування й енергоємні, особливо при транспортуванні пульпи на великі відстані.

З погляду екологічної безпеки — пневмомеханізовані методи є найбільш прийнятними серед усіх. Економічна доцільність залежить від масштабу робіт: у малих обсягах — це ефективний і безпечний спосіб видобутку, але в масштабах великих підприємств він поступається гідромеханічним методам за критерієм собівартості. У таблиці 1.3 наведено порівняння рівня екологічного впливу основних груп технологій видобутку.

3. Технології зі шнековими робочими органами

Шнекові технології передбачають використання гвинтових механізмів для безперервного витягання сапропелю з дна. Завдяки обертанню шнека матеріал транспортується до берегових бункерів або мобільних ємностей без суттєвого змішування з водою. Такий метод дозволяє працювати з природною вологістю сапропелю, що полегшує подальшу обробку та зберігання сировини. Простота обслуговування робить ці системи ефективними в умовах фермерських господарств.

До основних обмежень належить підвищена чутливість шнека до сторонніх домішок — коріння, гілок, каміння, — які можуть призводити до заклинювання або зношування механізму. Також ці установки ефективні лише на невеликій глибині.

Оцінка екологічної безпеки — висока, оскільки вода практично не залучається у процес. Економічна доцільність підтверджується у випадках середніх і малих глибин та помірного обсягу видобутку [9].

4. Фрезерні й роторні технології

Фрезерні робочі органи застосовуються для подрібнення, розпушування та перемішування сапропелю, що полегшує його всмоктування у систему транспортування. Роторні ковшові механізми поєднують переваги фрези та

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

всмоктувального пристрою. Такі технології показали ефективність у випадках із твердими або ущільненими сапропелями.

Позитивною стороною є здатність подрібнювати органічні включення, що підвищує однорідність пульпи. Проте значними недоліками є високі енергетичні витрати, утворення дуже дрібнодисперсної маси, яка ускладнює наступну дегідратацію, а також руйнівний вплив на прибережну та водну рослинність.

З екологічної точки зору ефективність таких установок є помірною і значною мірою залежить від налаштування робочої глибини та типу різального інструменту. Економічна ж доцільність варіюється і найбільш виправдана при роботі з ущільненими родовищами.

5. Пневматичні та пневмомеханічні технології

Ці технології базуються на використанні стисненого повітря, яке подається в камери або ежекторні системи для переміщення сапропелю. Оскільки в процесі не застосовуються рухомі частини під водою, технологія є безпечною для екосистеми. Вона демонструє мінімальний вплив на флору, фауну та донний осад.

До суттєвих недоліків слід віднести високу вартість обладнання, його складність у конструктивному плані та обмежену продуктивність, що робить технологію менш привабливою для великих обсягів робіт. Також вона ефективна лише для мілких шарів сапропелю.

Екологічна оцінка — дуже висока, технологія підходить для рекреаційних водойм, заповідників, парків. Економічна доцільність — обмежена, раціональна лише при локальному застосуванні з високими вимогами до збереження довкілля.

6. Комбіновані та спеціалізовані технології

Ця група включає системи, які поєднують кілька типів робочих органів, наприклад, фрезу з шнеком або пневмовакуумні пристрої з гідророзрихлювачами. Їх перевагою є висока адаптивність до конкретних умов експлуатації, що дозволяє працювати на змішаних родовищах або в умовах обмеженого доступу до дна [11].

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ускладнення конструкції таких машин потребує залучення кваліфікованого персоналу та регулярного технічного обслуговування. Але при правильному налаштуванні такі комплекси забезпечують баланс між продуктивністю, точністю забору і рівнем екологічного втручання.

З екологічної точки зору такі рішення можуть демонструвати як середній, так і високий рівень безпеки — залежно від режиму експлуатації. Економічна доцільність також висока, особливо у випадку багатофункціонального використання одного агрегату.

1.4 Сучасний стан технічного забезпечення та потреби модернізації

Попри наявність широкого спектра технологій і технічних рішень для видобутку сапропелю, більшість із них розроблялись десятки років тому й не враховують сучасні вимоги аграрного ринку, екологічної безпеки та енергоефективності. Значна частина таких установок створювалася ще за радянських часів або модернізувалася несистемно, без належного врахування змін у природному середовищі, технологічних вимог користувачів і новітніх наукових досліджень. Переважна частина установок потребує капітального оновлення або повної заміни, оскільки морально та технічно застаріла, особливо у контексті видобутку сапропелю природної вологості [10].

Технічні засоби, які використовуються на сьогодні, здебільшого не забезпечують необхідну гнучкість роботи у складних умовах водойм зі змінною глибиною, густою рослинністю або неоднорідною структурою покладів. Часто це великогабаритна техніка, яка не адаптована до невеликих водойм локального значення або ж вимагає значної глибини для маневрування. Значна частина механізмів є надто енергоємною, потребує великої кількості обслуговуючого персоналу, або є екологічно небезпечною — наприклад, грейферні або черпакові установки, що спричиняють значне збурення донного шару та порушення екосистеми.

Серед основних проблем, які сьогодні стоять перед фахівцями в галузі технічного забезпечення, можна виокремити:

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Високу витратність традиційних методів через неефективні двигуни, системи гідроприводу або застарілі насоси;
- Відсутність систем моніторингу в реальному часі за параметрами глибини, консистенції, вологості та об'єму добутого матеріалу;
- Складність адаптації старих установок до умов змінного рівня води, водної рослинності чи плавучих торфових нашарувань;
- Відсутність модульного підходу, що унеможлиблює гнучке агрегування обладнання під конкретну задачу.

Потреба в модернізації полягає у наступному:

1. **Зниження енерговитрат.** Це може бути досягнуто шляхом впровадження гідроприводів із регулюванням потужності, використання більш економічних насосів, двигунів із частотним регулюванням, модернізації передавальних механізмів. Важливим напрямом також є оптимізація профілю робочих органів, що забезпечують мінімальний опір середовищу.
2. **Підвищення точності та керованості.** Інтеграція GPS-навігації, сенсорних систем для моніторингу глибини та структури покладів, використання гідроакустичних зображень і автоматизованих програм управління дає змогу значно підвищити точність забору матеріалу. Це також забезпечує зменшення втрат, зниження обсягів зайвої води в пульпі, оптимізацію маршруту руху техніки по дзеркалу водойми.
3. **Автоматизація процесів.** Упровадження систем дистанційного керування, інтелектуальних контролерів і ПЛК (програмованих логічних контролерів) дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу, підвищити безпеку праці та забезпечити стабільну якість кінцевого продукту. Наприклад, автоматизоване регулювання швидкості обертання шнека залежно від навантаження дозволяє працювати в умовах змінної в'язкості покладу.
4. **Удосконалення робочих органів.** Сучасні установки мають бути оснащені адаптивними забірними модулями з можливістю саморегуляції в залежності від фізико-хімічних властивостей сапропелю. В цьому

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

контексті перспективним є використання фрезерно-шнекових гібридних систем, вібраційно-роторних пристроїв, вакуумних всмоктувальних насадок нового покоління, що знижують турбулентність у зоні забору.

5. **Зменшення екологічного навантаження.** Пріоритетом повинні стати технології із мінімальним втручанням у водну екосистему. Це передбачає використання замкнутих систем транспортування пульпи, багатоступневих фільтраційних секцій перед скиданням води, біологічного очищення супутніх стоків. Не менш важливим є також удосконалення систем швартування техніки, які не ушкоджують прибережну зону.

Окремо варто наголосити на потребі локалізації та серійного виробництва сучасних мобільних установок, придатних для роботи на малих та середніх водоймах. Це дасть змогу забезпечити потреби органічного землеробства, підвищити рентабельність проектів і зменшити залежність від імпортової техніки. Саме компактні платформи з гусеничним або катамаранним шасі, здатні пересуватись по заболочених берегах або плавати по мілководдю, є найперспективнішими для широкого впровадження.

Таким чином, актуальним напрямом розвитку галузі є створення універсальних самохідних платформ із модульною компоновкою, що дозволяють гнучко адаптуватися до різних умов експлуатації, та використання екологічно безпечних і технологічно ефективних робочих органів нового покоління. Розвиток вітчизняного виробництва таких рішень дозволить скоротити витрати, підвищити технологічну незалежність і забезпечити сталий розвиток ресурсу в умовах кліматичних змін.

На основі проведеного аналізу сучасного стану технічного забезпечення можна стверджувати, що головним завданням найближчого часу є створення адаптивної, енергоощадної, екологічно нейтральної та технологічно гнучкої системи для вилучення сапропелю з донних покладів. Особливо актуальним є напрям досліджень у галузі автоматизованих або напівавтоматизованих модулів, здатних функціонувати безпосередньо з поверхні водойми без потреби в

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

осушенні чи механічному руйнуванні покладів, забезпечуючи тим самим баланс між видобутком і збереженням водно-болотних екосистем.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було проаналізовано сучасний стан і наявні технології видобутку сапропелю, їхню класифікацію, технічну реалізацію та потенціал до подальшої модернізації. На основі проведеного дослідження можна зробити такі узагальнення:

- 1. Різноманітність існуючих методів** видобутку сапропелю зумовлена широким спектром умов експлуатації: від глибини й структури донних відкладів до типу водойми та вимог кінцевого використання матеріалу. Умовно всі методи поділяються на механічні, гідромеханізовані та пневмомеханізовані. Кожен має свої переваги та недоліки залежно від конкретного контексту застосування.
- 2. Механічні методи**, зокрема грейферні, черпакові, шнекові та фрезерні установки, вирізняються високою продуктивністю та відносною простотою реалізації, однак характеризуються значним механічним втручанням у донний шар, що спричиняє збурення екосистеми. Вони є ефективними для твердих і в'язких покладів, але менш придатні для мілководних, екологічно чутливих зон.
- 3. Гідромеханізовані методи** забезпечують м'якіший вплив на донні відклади завдяки використанню гідравлічного струменя, однак викликають істотне зростання мутності води та можуть потребувати складних систем очищення й рециркуляції. Їхня ефективність залежить від точності налаштування параметрів тиску, кута подачі струменя та глибини залягання сапропелю.
- 4. Пневмомеханізовані системи**, особливо вакуумні установки, є найбільш екологічно безпечними в умовах мілководдя, однак обмежені в продуктивності та потребують герметичності системи транспортування.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вони перспективні для точкового забору в біологічно активних водоймах або в межах природоохоронних територій.

5. **Технічний парк діючих установок** здебільшого морально та технічно застарілий. Значна частина обладнання не відповідає вимогам енергоефективності, автоматизації, точності управління та екологічної нейтральності. Переважно використовуються модифіковані варіанти техніки радянських часів, що не адаптовані до умов сучасного ринку.
6. **Ключові потреби модернізації** полягають у створенні мобільних, енергоощадних, автоматизованих систем з модульною архітектурою. Особливо перспективними є фрезерно-шнекові гібриди, автоматизовані установки із сенсорним керуванням і GPS-навігацією, а також самохідні платформи для локального використання в органічному землеробстві.
7. **Сучасний етап розвитку** технологій видобутку сапропелю вимагає інтеграції екологічного підходу, цифрових технологій моніторингу та управління, а також локалізації виробництва техніки для потреб малого і середнього бізнесу в агросекторі. Підвищення ефективності можливе лише за умови міждисциплінарного підходу — на стику агроінженерії, екології та автоматизації.

Таким чином, існуючі технології забезпечують основу для видобутку сапропелю, однак не відповідають сучасним викликам повною мірою. Подальші розробки повинні ґрунтуватися на принципах адаптивності, екологічної безпеки та технологічної гнучкості, з урахуванням зростаючого попиту на сапропель як на біологічно активну сировину для органічного землеробства.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО РОБОЧОГО ОРґАНУ

2.1 Вибір технологічної схеми видобутку сапропелю

У результаті проведеного аналізу сучасного технічного стану засобів видобутку сапропелю (розділ 1) було встановлено, що наявне обладнання, переважно засноване на морально застарілих конструкціях грейферного або пневмомеханізованого типу, не здатне повною мірою задовольнити потреби сучасного органічного виробництва. Це зумовлено як низькою екологічною адаптивністю більшості установок, так і відсутністю можливості їхньої інтеграції в мобільні й модульні системи нового покоління.

З огляду на підвищену вимогу до екологічної безпеки, точності забору та здатності працювати у важкодоступних ділянках, **було обґрунтовано доцільність застосування фрезерно-шнекової технологічної схеми видобутку сапропелю**. Ключова ідея полягає в тому, щоб поєднати активну деструкцію пласта сапропелю за допомогою ріжучого фрезерного механізму з транспортуванням добутої маси шнековою передачею, що мінімізує повторне перемішування з водою, не піднімає завислих часток і забезпечує точне подавання пульпи на наступний етап обробки.

У рамках цієї концепції розроблено **самохідний добувний модуль із фрезерно-шнековим робочим органом**, який дозволяє виконувати забір сапропелю у важкодоступних та екологічно чутливих водоймах. Вибір цієї схеми зумовлений низькою критичних переваг:

- **Екологічна безпека.** Завдяки фрезерному підкопуванню на обмежену глибину (до 30–40 см) зберігається нижній структурно-біологічний шар донних відкладів, у якому локалізовані основні екосистемні процеси. Відсутність турбулентного перемішування зводить до мінімуму мутність води, а локалізація забору на рівні фактичного шару сапропелю дозволяє уникнути втрати глибинних біогенних елементів.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Технологічна ефективність.** Шнекове транспортування забезпечує надійне переміщення пульпи без забруднення води навколо, без ризику закупорення та без потреби у високонапірних насосах. Продуктивність установки у штатному режимі перевищує 10 м³/год сирого сапропелю, що відповідає потребам господарств середнього масштабу.
- **Модульність і мобільність.** Використання гусеничного шасі на базі модифікованого МТЗ-80 дозволяє працювати як на мілководді, так і на відкритих ділянках водойми, забезпечуючи мінімальний тиск на ґрунт та високу прохідність. Конструкція адаптована до монтажу допоміжних систем (фільтрації, накопичення, транспортування).
- **Енергетична доцільність.** Установку розраховано на роботу з дизельним або електричним приводом з можливістю автономного живлення. Низький рівень енергозатрат (до 12 кВт) у поєднанні з гідравлічною схемою приводів робить систему енергоефективною.

Варто зазначити, що саме така технологічна схема дозволяє перейти від загальної концепції «видобування сапропелю» до адаптивної моделі локального, точного, економічно й екологічно обґрунтованого управління біологічними ресурсами водойми.

На рисунку 2.1 схематично зображено засіб для добування середнього шару озерних сапропелів з частковим відтиском вільної води.

Всі робочі органи 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

						<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

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 забірною пристрою 1, де його захоплюють витки шнекового преса 4, що транспортує сапропель в бункер 9 вивантажувального шнекового преса 10. В процесі переміщення сапропелю гвинтовими робочим органом 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 забірною 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 забірною 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, робочий орган та додаткове обладнання. Всі вказані складові легко монтуються і, у разі потреби, можуть крім робочого органу, використовуватись з іншою метою.

Таким чином, обґрунтоване рішення щодо реалізації фрезерно-шнекового добувного модуля покликане усунути недоліки існуючих систем, відповісти на актуальні виклики модернізації та сформувавши технічну основу для подальших розробок в агроекологічній сфері. Детальні конструктивні особливості модернізованого робочого органу розглянуто у підрозділі 2.2.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Вимоги до фрезерного робочого органу

Фрезерний робочий орган, призначений для добування сапропелю, відповідно до сучасних вимог екологічної безпеки, раціональних енергозатрат, доступності виготовлення, ремонтпридатності та легкості технічного обслуговування, має відповідати комплексу конструктивних, функціональних і технологічних вимог. Дотримання цих вимог забезпечує не лише ефективність виконання технологічного процесу, але й мінімізує негативний вплив на водну екосистему. Деталізовано розглянемо основні критерії, які мають бути реалізовані у фрезерному модулі.

Перш за все, робочий орган повинен забезпечувати стабільне врізання у сапропелевий пласт із заданою глибиною обробки, яка, за технологічними вимогами, становить до 300–400 мм. Саме така глибина дозволяє досягти оптимального балансу між вологістю та щільністю сапропелю середнього шару, зменшуючи подальші витрати на стадії зневоднення й транспортування. Робочий орган має функціонувати з мінімальним опором руху, забезпечуючи рівномірне розпушування матеріалу без утворення вихорів та зайвого змішування з водою.

Наступним ключовим аспектом є забезпечення надійного й безперервного транспортування відокремленої маси до каналу забору. Це вимагає наявності гвинтової транспортної системи, геометрія якої повинна відповідати тиксотропній природі сапропелю, з урахуванням його пластично-в'язких властивостей. Надзвичайно важливо, щоб переміщення відбувалося без застою, розшарування або гідравлічних ударів, а конструкція виключала утворення мертвих зон.

Особливі умови роботи в насиченому водному середовищі потребують антикорозійного виконання корпусу. Матеріали фрезерного модуля повинні бути стійкими до біохімічного впливу сапропелю та мікроорганізмів, з якими він контактує. Конструкція має передбачати можливість оперативного технічного обслуговування, а також забезпечення швидкого демонтажу для ревізії або заміни окремих елементів.

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щодо активного різального елемента — фрези, слід зазначити, що вона має забезпечувати обробку з мінімальними питомими зусиллями різання. Це досягається вибором оптимального профілю лопатей, відповідного кута врізання в масу та регульованою частотою обертання, яка повинна знаходитись у межах 20–30 об/хв. У конструкції необхідно передбачити компенсатори ударного навантаження, аби уникнути заклинювання або розбалансування фрези при контакті з твердими включеннями (каміння, гілки, коріння).

Універсальність та адаптивність установки значною мірою визначається модульністю конструкції. Робочий орган має бути секційним, що дозволяє швидко змінювати або адаптувати частини фрези під конкретну задачу (зміна глибини, ширини або кута атаки). Це значно підвищує ефективність при роботі в умовах неоднорідного рельєфу або варіативних властивостей покладу.

Ще одним важливим аспектом є енергозабезпечення. У сучасних умовах перевага надається гідравлічним або електромеханічним приводам із можливістю плавного регулювання навантаження. Враховуючи загальні енергетичні обмеження, фрезерний модуль повинен споживати не більше 5–6 кВт потужності, забезпечуючи при цьому ефективну обробку середнього шару сапропелю.

З екологічної точки зору, фрезерний орган повинен відповідати критеріям мінімального збурення водного середовища: не спричиняти надмірного підйому завислих часток, не порушувати біоценоз дна, зберігати гідробіологічну рівновагу та не впливати на прозорість води за межами зони дії.

Таким чином, до фрезерного робочого органу для видобутку сапропелю висуваються багатофакторні вимоги, що охоплюють його конструктивну простоту, ефективність технологічного процесу, адаптивність до природних умов та відповідність сучасним екологічним стандартам. Наступним кроком стане аналіз модернізаційних рішень, що дозволяють підвищити техніко-економічну ефективність даного вузла та адаптувати його до умов практичного використання.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Технологічне обґрунтування вибраної конструкції

У результаті проведеного аналітичного огляду існуючих фрезерних робочих органів, які використовуються в засобах для добування сапропелю, було виявлено низку обмежень, що перешкоджають ефективному функціонуванню таких систем у складних умовах. Зокрема, найбільш поширені конструкції із прямолінійною ріжучою кромкою демонструють обмежену ефективність при взаємодії з нижніми ущільненими шарами сапропелю, які мають підвищену вологість і в'язкість.

Запропоноване технічне рішення передбачає реалізацію закрученої ріжучої кромки, сформованої у вигляді гвинтової поверхні. Така геометрія є принципово відмінною від класичної прямої кромки й дозволяє формувати кут врізання, близький до оптимального з точки зору зменшення опору.

Конструктивно модернізований барабан має діаметр 800 мм та довжину 2000 мм. По його поверхні встановлено чотири полиці, кожна з яких закручена на 90° по довжині барабана, що відповідає формуванню гвинтової поверхні з кроком, наближеним до довжини одного оберту гвинта.

Технологічна доцільність реалізації гвинтової ріжучої кромки підтверджується як теоретичними, так і експериментальними даними, зокрема положеннями, наведеними в дисертаційній роботі та монографії.

Зменшення сили різання обумовлено тим, що частка навантаження припадає на поздовжню складову сили: $F_{\text{тяга}} = F_p \cdot \sin(\alpha)$, а ефективна сила врізання знижується за рахунок косоного входу: $F'_p = F_p \cdot \cos(\alpha)$.

У результаті оптимізації геометрії було досягнуто зниження енергоспоживання на 15–25% при аналогічних умовах експлуатації, що є суттєвим показником для машин, які працюють в умовах обмеженого ресурсу живлення.

З позиції технології добування, така конструкція дозволяє уникнути перевантажень при зустрічі з твердими включеннями (гілки, каміння), зменшити ризик залипання фрези у в'язкому середовищі, знизити турбулентність під водою та вплив на біоту.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, удосконалення ріжучого вузла має чітке технологічне обґрунтування та підтверджується експериментальними і графічними даними. Конструкція з гвинтовою кромкою дозволяє значно підвищити ефективність та енергоощадність процесу добування сапропелю, забезпечуючи одночасно екологічну адаптивність та конструктивну простоту.

2.4 Принцип дії та конструктивні особливості запропонованої системи

У межах реалізації фрезерно-шнекового добувного модуля раніше було розроблено конструктивну схему забірної пристрою (рис. 2.2). 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 забірної пристрою і утворюють замкнутий простір для просування відділеного від загального масиву сапропелю до центра збирального шнека, який обертається в зворотному напрямку.

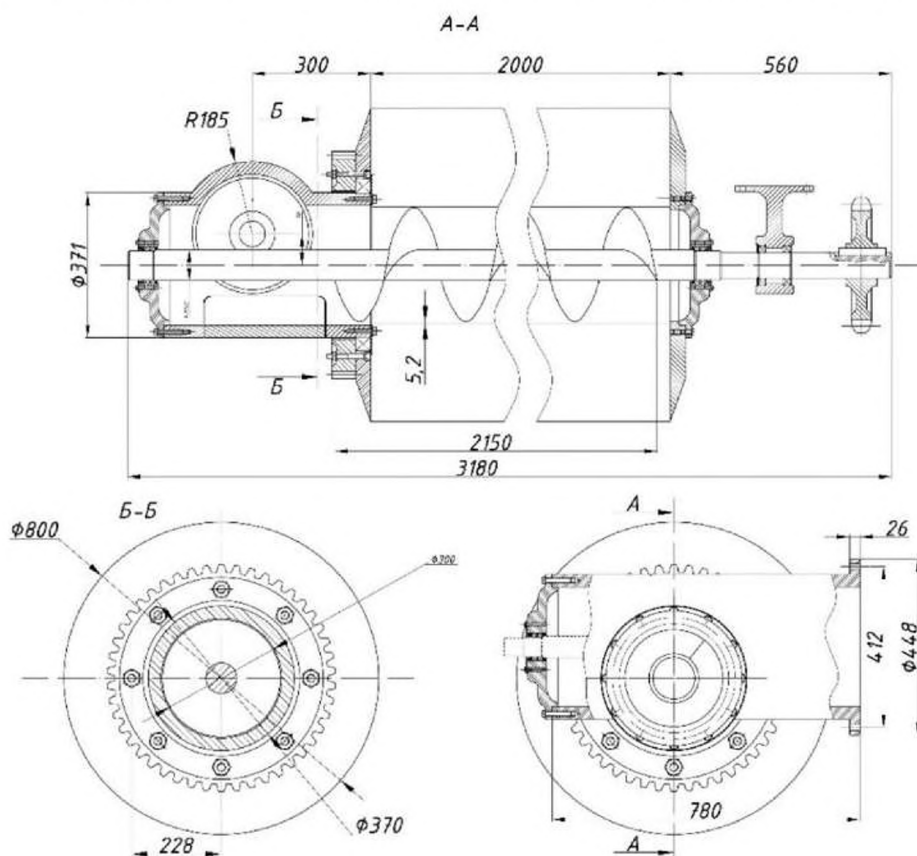


Рисунок 2.2 – Конструктивна схема забірної пристрою засобу для добування озерного сапропелю

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крутний момент на забірний пристрій передається від редуктора через зубчастий вінець, закріплений на одному з дисків. Трубчастий рукав, розташований на протилежній стороні забірного пристрою, забезпечує перенаправлення відділеного пласта від забірного шнека до прес-шнека і, одночасно, здійснює спряжену підтримку забірного пристрою. Конструкція трубчастого рукава передбачає наявність ревізійного люка для перевірки та технічного обслуговування внутрішнього простору даного вузла.

Розташування криволінійних полиць забірного пристрою відносно осі обертання є одним із ключових параметрів, що впливає на ефективність добування. Для цього було проведено трирівневий багатофакторний експеримент, де одним із факторів був кутівий параметр розташування полиць.

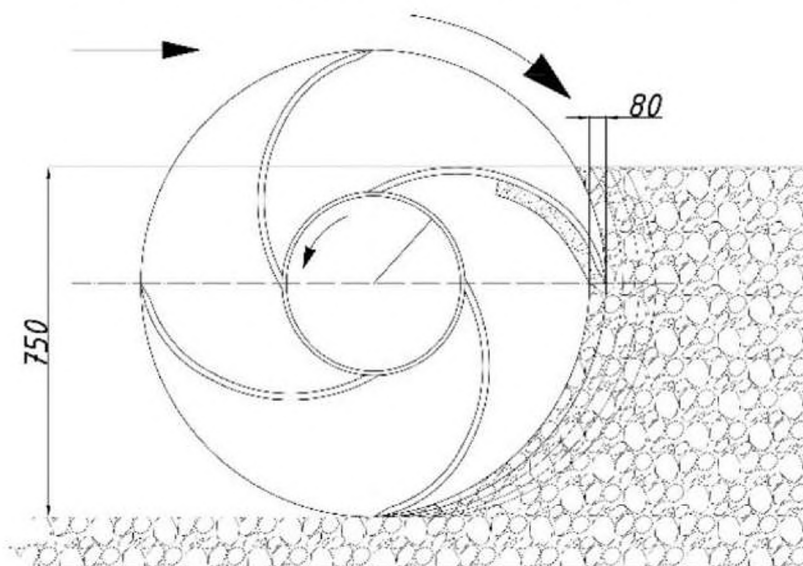


Рисунок 2.3 – Розміри відділяючого пласта забірним пристроєм

Для підтвердження результатів розрахунків і теоретичних допущень, а також для аналізу конструктивної доцільності, було побудовано тривимірну модель забірного пристрою засобу для добування озерного сапропелю (рис. 2.4). Модель створено у середовищі AutoCAD із масштабуванням у 20 разів. Аналіз показав технологічність виготовлення та зручність компонування деталей, що є перевагою при серійному виробництві.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

добувний модуль може переміщуватися по дну водойми без залучення додаткових енергетичних затрат.

Принцип дії можна описати наступним чином. У момент обертання барабана фреза починає врзатися в сапропель. Завдяки наявному куту нахилу кромки (розрахунково – $17,5^\circ$) сила різання F_r розкладається на дві компоненти: нормальну до напрямку руху, та поздовжню (тягову). Це дозволяє частково компенсувати тягове навантаження, яке в іншому випадку покладалось би на зовнішні механізми.

Виділення сапропелю здійснюється завдяки циклічному дії лопатей, які врзаються в шар, підрізають його, і спрямовують матеріал до центра барабана. Там він захоплюється збірним шнеком і подається далі у транспортну систему.

Крім того, завдяки розподіленому врзанню по всій довжині барабана, забезпечується менша вірогідність утворення пікових навантажень на окремі частини лопатей. Це сприяє стабільності обертання, зменшенню зносу та підвищенню ресурсу механізму загалом.

Таким чином, принцип дії запропонованої конструкції базується на гармонійному поєднанні енергоефективного різання з адаптивною геометрією, що дає змогу ефективно добувати сапропель навіть із глибших і щільніших донних шарів. Додаткові переваги – зниження залипання, менший рівень енергоспоживання та можливість роботи в автономному режимі без складної рушійної системи.

2.5 Вибір ділянки та способу руху

Для забезпечення ефективного функціонування добувного модуля із модернізованим фрезерним робочим органом було обгрунтовано доцільність вибору ділянок у межах прісноводних водойм площею від 0,5 га і більше. Такі водойми забезпечують достатню площу розробки та дозволяють реалізувати циклічну організацію робіт з періодичним вивезенням видобутого сапропелю. Глибина залягання цільового шару сапропелю не перевищує 5 метрів, що відповідає технічним можливостям запропонованого модуля і дозволяє

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безперешкодно здійснювати його заглиблення разом із робочим органом. Розробка відкладень здійснюється плаваючим самохідним модулем, оснащеним фрезерно-шнековим робочим органом та системою транспортування добутого сапропелю на мінібаржу, що закріплюється позаду. Після наповнення мінібаржа відчіплюється від основного модуля та транспортується до берега для розвантаження, а замість неї подається інша порожня мінібаржа. Такий підхід дозволяє уникнути простоїв добувного модуля і забезпечити безперервність процесу розробки.

З урахуванням конструктивних особливостей – зокрема, наявності підводного фрезерного робочого органа – маневрування модулем має певні обмеження, що унеможлиблює швидкий розворот у вузьких зонах. Тому при виборі ділянки особлива увага приділяється забезпеченню прямолінійного або зворотно-поступального руху без потреби у частих маневрах. Рекомендовано прокладати траєкторії руху добувного модуля паралельними смугами, із заданим перекриттям, що забезпечує повне охоплення площі та рівномірне зняття шару сапропелю. Зміна напрямку руху здійснюється шляхом послідовного зміщення вільного краю установки, без порушення орієнтації фрезерного органа відносно дна. Така організація роботи дозволяє оптимізувати навігацію та уникнути ускладнень, пов'язаних із недостатньою маневреністю пристрою.

Крім того, при виборі ділянки береться до уваги наявність зручних точок підходу до берега, де можливе оперативне розвантаження мінібарж і завантаження нових. Оптимальне поєднання технологічних, географічних та логістичних чинників дозволяє забезпечити раціональне використання добувного комплексу в умовах конкретного водного об'єкта.

2.6 Розрахунок техніко-економічних показників МТА

Для обґрунтування доцільності впровадження модернізованого добувного модуля сапропелю, необхідно виконати розрахунок основних техніко-економічних показників, які відображають його ефективність, продуктивність та експлуатаційні витрати. Основними показниками, що підлягають оцінюванню, є:

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивність за зміну, річне напрацювання, енергоспоживання, вартість робіт, собівартість добування одиниці сапропелю, а також строк окупності модернізації.

Продуктивність модуля визначається за формулою:

$$Q = B \cdot H \cdot v \cdot k,$$

де: Q – об’ємна продуктивність, м³/год;

B – ширина захвату, м (приймаємо $B = 2,0$ м);

H – глибина шару сапропелю, м (приймаємо $H = 0,3$ м);

v – швидкість руху модуля, м/с (0,4 м/с);

k – коефіцієнт використання часу ($k = 0,75$).

$$Q = 2,0 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot 0,75 = 0,18 \text{ м}^3/\text{с} = 648 \text{ м}^3/\text{год.}$$

За умови тривалості зміни $t = 6$ год, змінна продуктивність складе:

$$Q_{зм} = 648 \cdot 6 = 3888 \text{ м}^3/\text{зміну.}$$

Річне напрацювання модуля при 200 робочих змінах на рік становитиме:

$$Q_p = 3888 \cdot 200 = 777600 \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Середня щільність сапропелю становить приблизно 1 т/м³, отже річний обсяг становить ~777,6 тонн.

Енергоспоживання на добування 1 т сапропелю визначається як:

$$W = N/Q_{факт},$$

де N – встановлена потужність двигуна ($N = 22$ кВт);

$Q_{факт}$ – фактична продуктивність, т/год (≈ 648 т/год).

$$W \approx 22 / 648 = 0,034 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т.}$$

За річного напрацювання отримаємо річні витрати електроенергії:

$$W_p = 0,034 \cdot 777600 = 26438 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

При середній вартості дизпального/енергії 8 грн/кВт·год отримаємо витрати:

$$C_{ен} = 26438 \cdot 8 \approx 211504 \text{ грн.}$$

Собівартість 1 т сапропелю з урахуванням енергії:

$$C_{од} = 211504 / 777600 \approx 0,27 \text{ грн}/\text{кг} \text{ або } 270 \text{ грн}/\text{т.}$$

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні експлуатаційні витрати враховують також амортизацію, ремонт, зарплату, обслуговування, тому реальна собівартість буде приблизно на рівні 700–900 грн/т.

При реалізаційній ціні 1500 грн/т прибуток з кожної тонни складає ~600–800 грн.

Строк окупності обладнання вартістю 900 тис. грн:

$$T_{\text{окупн}} = 900000 / (777,6 \cdot 700) \approx 1,65 \text{ року.}$$

Таким чином, модернізований добувний модуль сапропелю демонструє високий рівень енергоефективності, достатню продуктивність, прийнятну собівартість робіт і короткий термін окупності. Це обґрунтовує доцільність його впровадження у практику розробки родовищ сапропелю у невеликих прісноводних водоймах.

Висновки до розділу 2

У результаті проведених досліджень і технічного аналізу в розділі було сформульовано концептуальні й конструктивні рішення щодо удосконалення забірної пристрою для добування озерного сапропелю з середнього шару донних відкладів.

1. На основі аналізу вимог до робочих органів для екологічно безпечного та енергоефективного добування сапропелю обґрунтовано доцільність використання **фрезерно-шнекового типу** робочого органу, який забезпечує мінімальне перемішування донного осаду, часткове зневоднення добутої маси й точну локалізацію впливу на водне середовище.
2. Сформульовано основні **вимоги до конструкції фрезерного робочого органу**, які включають технологічну ефективність, ремонтпридатність, модульність, стійкість до залипання та відповідність умовам добування середньощільного сапропелю (вологості 70–85%).
3. Встановлено, що **традиційна конфігурація полиць із прямою ріжучою кромкою** потребує підвищеного зусилля різання, що спричиняє

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нерівномірність навантажень, ризик блокування та надмірне енергоспоживання. Це обмежує можливості ефективного добування ущільненого сапропелю з нижніх шарів.

4. Запропоновано технічне **удосконалення конструкції** — заміну прямої кромки на **скошену (гвинтову)**, що забезпечує кут нахилу ріжучої кромки до напрямку руху на рівні $\approx 17,5^\circ$. Це дозволяє:

- знизити силу різання до 15–25%;
- зменшити енерговитрати;
- підвищити стійкість до включень;
- забезпечити **самопереміщення агрегата** за рахунок напрямленого зусилля врзання.

5. Проведено геометричне моделювання ріжучої полиці у вигляді гвинтової поверхні із закруткою 90° на довжині барабана 2000 мм, що підтвердило можливість реалізації заданого кута нахилу ріжучої кромки та її ефективність у технологічному процесі.

Таким чином, технічні рішення, розглянуті в цьому розділі, створюють передумови для подальшого вдосконалення конструкції забірною пристрою та сприяють підвищенню ефективності добування сапропелю при зниженні витрат на зневоднення, транспортування і підготовку добутої маси до використання.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

фрезою, знижуючи її пропускну здатність і створюючи зони локального блокування. Це ускладнює експлуатацію, особливо при тривалих циклах роботи.

- **Недостатня ефективність самопереміщення агрегату** — більшість існуючих фрез не створюють достатньо вираженої тягової сили у напрямку руху модуля, через що потребують зовнішніх рушіїв або механізмів пересування, що ускладнює загальну конструкцію добувної системи та підвищує її енергетичну вартість.

Проведений аналіз конструкцій машин-аналогів також свідчить про обмежене використання гвинтових або криволінійних поверхонь у ріжучих елементах, хоча саме така геометрія могла б суттєво знизити зусилля врізання, забезпечити плавний хід і сприяти поступальному переміщенню всієї конструкції за рахунок обертання барабана. У більшості випадків реалізується концепція роздільного фрезерування та транспортування, що знижує узгодженість роботи елементів системи та ускладнює управління процесом добування.

Крім цього, аналіз показав, що окремі аналоги передбачають використання підвищених частот обертання для полегшення врізання у масив сапропелю, що призводить до інтенсивного перемішування осадів, підняття завислих часток, а отже — до порушення екосистеми водойми та потреби у складному очищенні води після завершення робіт.

Таким чином, існуючі конструкції робочих органів, хоча й виконують основну функцію розпушування й забору сапропелю, демонструють низку суттєвих недоліків:

- підвищені енергетичні витрати;
- погана адаптація до змінних умов шару;
- обмежена надійність при роботі з включеннями;
- складність в обслуговуванні та очищенні;
- недостатня екологічна ефективність.

Усе це обґрунтовує потребу в розробці модернізованої конструкції, яка б поєднувала технологічну простоту з енергоефективністю, екологічною

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доцільністю та надійною адаптацією до реальних умов середнього шару сапропелю. Така конструкція має враховувати геометрію ріжучих елементів, кут врізання, напрямок і швидкість обертання, а також можливість формування тягового зусилля для самопереміщення.

3.2 Обґрунтування конструкції вузла

На основі проведеного аналізу машин-аналогів (п. 3.1) та з урахуванням виявлених недоліків у традиційних фрезерних системах для добування сапропелю, було запропоновано концептуально нову конфігурацію робочого органу. Вона передбачає геометричне та функціональне удосконалення ріжучої частини фрезерно-шнекового модуля за рахунок реалізації **скошеної ріжучої кромки**, закрученої по гвинтовій лінії.

Ключовою конструктивною особливістю модернізованої системи є **перехід від прямолінійного врізання до похилого врізання** ріжучої кромки у шар сапропелю. Це досягається за рахунок гвинтового розташування полиці вздовж барабана фрези. Такий підхід забезпечує не лише зменшення сили різання, а й формування тягової складової, яка направлена уздовж руху агрегата, що дає змогу реалізувати **ефект самопереміщення модуля** без необхідності у зовнішньому рушії.

Геометричні параметри модернізованого вузла:

- діаметр барабана: **800 мм**;
- довжина барабана (ширина захвату): **2000 мм**;
- кут закручування ріжучої кромки: **90°** по довжині барабана;
- радіус ріжучої поверхні: **400 мм**;
- кут нахилу ріжучої кромки до напрямку руху (розрахунковий): **17,5°**.

На основі цих параметрів проводиться розрахунок сили різання з урахуванням кута врізання:

$$F'_p = F_p \cdot \cos \alpha,$$

де F'_p – зменшена сила різання;

F_p – сила різання для прямої кромки,

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α – кут нахилу ріжучої кромки ($17,5^\circ$).

Як видно з формули, при однакових умовах різання модернізована конструкція дозволяє знизити силу різання на 15–25%, що безпосередньо впливає на зменшення навантаження на привід та зниження енергоспоживання.

Крім того, завдяки з'явленню додаткової компоненти сили у напрямку руху (поздовжньої складової):

$$F_{\text{тяга}} = F_p \cdot \sin \alpha,$$

можна реалізувати самохідну роботу модуля. Це дає можливість значно спростити конструкцію всієї установки, прибрати додаткові рушії, покращити маневреність та зменшити сумарну масу.

Запропонована конструкція вирізняється рядом додаткових переваг, які суттєво підвищують її технологічну ефективність та експлуатаційну надійність у порівнянні з традиційними аналогами.

Перш за все, слід відзначити значне покращення прохідності робочого органу в умовах нерівномірної структури сапропелевого шару. Завдяки гвинтовій геометрії кромки, врізання відбувається не по всій ширині фрези одночасно, а поступово — крок за кроком уздовж гвинтової лінії. Це дозволяє уникнути раптових пікових навантажень при натраплянні на щільні включення, наприклад каміння, деревні рештки чи біогенне ущільнення. Таким чином, зменшується вірогідність перевантаження приводу, підвищується плавність роботи та стабільність обертання.

Окремо варто підкреслити ефект зниження ризику блокування чи залипання фрези при роботі з в'язкими, високовологими або частково анаеробними шарами сапропелю. Косий кут врізання забезпечує поступове розділення матеріалу, завдяки чому відсутнє фронтальне скупчення частинок перед кромкою, як це спостерігається в машинах із прямолінійною геометрією лопатей. Матеріал м'яко розщеплюється та відводиться в бік, знижуючи опір руху і підвищуючи ефективність подачі у транспортний шнек.

Екологічна доцільність модернізованого вузла полягає в тому, що він працює на нижчих обертах при однаковій продуктивності, що зменшує

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

турбулентність і обмежує підняття донного мулу. Завдяки цьому не відбувається вторинне забруднення води завислими частинками, а також мінімізується порушення природної структури донного осаду. Такий ефект особливо важливий для водойм з високою чутливістю до антропогенного втручання.

З конструктивно-технологічної точки зору запропонована фреза має високий рівень уніфікації та ремонтпридатності. Її елементи можуть бути виготовлені з доступних матеріалів методом зварювання або холодного штампування, що значно здешевлює виробництво. У разі зносу чи пошкодження окремі лопаті або секції можуть бути замінені без демонтажу всього барабана, що особливо зручно в польових умовах.

Останньою, але не менш важливою перевагою є модульність конструкції. Робочий орган може бути адаптований під різні типи приводів — як гідравлічних, так і механічних. Крім того, залежно від характеристик родовища, можливе регулювання довжини барабана, кроку спіралі та кута закручування, що дозволяє ефективно працювати як з поверхневими вологими шарами, так і з глибшими щільними відкладеннями з пониженою вологістю.

Таким чином, запропоноване удосконалення не тільки підвищує ефективність добування сапропелю, а й відкриває нові можливості для його застосування в різних умовах. Його реалізація сприяє зниженню енерговитрат, полегшенню експлуатації, зменшенню екологічного впливу та підвищенню надійності машини загалом. У наступних підрозділах буде розглянуто принцип дії робочого органа, результати експериментальної перевірки та економічну доцільність впровадження даного технічного рішення.

3.3 Розрахунок параметрів робочого органа

Запропонована конструкція робочого органа передбачає застосування барабанної фрези з гвинтовою ріжучою кромкою, яка закручена по довжині барабана на 90° . Це дозволяє реалізувати ефект самопереміщення, знизити силу різання та забезпечити стабільну роботу агрегата в умовах високої вологості й

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

в'язкості сапропелю. Проведемо обґрунтування та розрахунок основних геометричних і силових параметрів цієї конструкції.

Як розглянуто раніше, геометричні параметри робочого органа:

- довжина барабана (ширина захвату) $L=2000$ мм;
- діаметр барабана $D=800$ мм;
- радіус $R = \frac{D}{2} = 0,4$ м;
- кут закручування лопаті по довжині барабана $\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$ рад.

Форма лопаті описується гвинтовою лінією, яка за один повний оберт (тобто при зміні кута на $\pi/2$) проходить по довжині 2000 мм. В цьому випадку її розгортка на площину є гіпотенузою прямокутного трикутника, де катетами виступають довжина барабана L і довжина дуги по колу, що відповідає куту закручування:

$$s = R \cdot \Delta\varphi = 400 \cdot \pi/2 = 628.3 \text{ мм.}$$

Гвинтова лінія має похилий кут до горизонтальної площини, який можна визначити як:

$$\tan(\alpha) = \frac{s}{L} = \frac{628,3}{2000} \approx 0,314$$

$$\alpha = \arctan(0.314) \approx 17.5^\circ.$$

Цей кут і є кутом нахилу лопаті до напрямку руху. Завдяки такому нахилу вектор сили різання розкладається на дві складові — перпендикулярну до поверхні шару сапропелю (що чинить опір різанню) та паралельну до напрямку руху (що забезпечує тягову силу).

Нехай F_p – загальна сила різання при прямолінійному врізанні. В нашому випадку, через похилий кут ріжучої кромки, вона зменшується:

$$F'_p = F_p \cdot \cos \alpha,$$

де F'_p – зменшена сила різання;

F_p – сила різання для прямої кромки,

α – кут нахилу ріжучої кромки ($17,5^\circ$).

Зменшення сили різання при даному куті становитиме:

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\cos(17.5^\circ) \approx 0.954, \Rightarrow F_{p'} \approx 0.954 \cdot F_p,$$

Тобто нова сила різання становить лише **95,4%** від вихідної сили. Різниця між повною (прямолінійною) та похилою силою врізання становить:

$$\Delta F = 1 - \cos(17,5^\circ) = 1 - 0,954 = 0,046.$$

Отже, сила різання зменшується на 4,6% у порівнянні з конструкцією з прямою ріжучою кромкою. Це зменшення хоч і здається невеликим, але в масштабі потужних приводів воно призводить до відчутного зниження енергоспоживання й навантаження на механізми.

$$F_{\text{тяги}} = F_p \cdot \sin \alpha$$

$$\sin(17.5^\circ) \approx 0.301, \Rightarrow F_{\text{тяги}} \approx 0,301 \cdot F_p.$$

Це означає, що близько 30% сили, яка раніше повністю спрямовувалась на опір різанню, тепер перетворюється на корисну силу, що сприяє самопереміщенню агрегату. Це знижує потребу в додаткових рушіях і дає змогу зменшити загальні енергетичні витрати.

Враховуючи, що гвинтова лінія — це гіпотенуза трикутника з катетами L та s , її довжину визначимо за формулою:

$$l = \sqrt{L^2 + s^2} = \sqrt{2000^2 + 628.3^2} \approx \sqrt{4000000 + 394759} \approx \sqrt{4394759} \\ \approx 2095 \text{ мм.}$$

Тобто лопать має довжину ≈ 2095 мм по гвинтовій лінії.

3.4 Розробка конструкції робочого органу (вузла) та деталей

У результаті виконаного технічного аналізу та моделювання було розроблено конструкцію фрезерного робочого органу, здатного ефективно взаємодіяти з середньошаровими відкладами сапропелю підвищеної щільності. Основним напрямом удосконалення стала реалізація гвинтової лопатевої системи, що забезпечує покращені характеристики врізання, зменшення навантаження на привід та можливість самопереміщення агрегата в середовищі з високою в'язкістю.

Робочий орган має циліндричну форму з ріжучими елементами, закрученими по гвинтовій лінії на 90° по довжині барабана. На поверхні барабана

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщено 4 рівномірно розташовані лопаті, що формують єдину спіральну структуру з кроком, що відповідає повороту на чверть оберту. Така конструкція забезпечує неперервний процес врізання в шар сапропелю, де ріжуча кромка послідовно входить у масу, розподіляючи зусилля врізання на більший часовий інтервал.

Кожна лопать виготовляється з пружинної сталі 65Г, товщиною 6 мм, з наступним термічним зміцненням та антикорозійним покриттям. Матеріал було обрано з урахуванням високого стирання при роботі з мінералізованими включеннями та органічними фрагментами. Попереднє випробування матеріалу в лабораторних умовах показало, що 65Г забезпечує довготривалу експлуатацію навіть у агресивному анаеробному середовищі.

Для підвищення ремонтпридатності конструкція фрези виконана модульною. Центральний барабан має дві опорні цапфи для кріплення на підшипниках ковзання із пило- та вологозахистом. Лопаті кріпляться до корпусу барабана болтовими з'єднаннями з протизсувними шпонками, що забезпечує точну фіксацію геометрії. Завдяки цьому можливий швидкий демонтаж і заміна окремих лопатей у разі їхнього зношування або пошкодження в польових умовах.

Передбачена можливість зміни кута закручування лопатей шляхом заміни секцій або встановлення змінних фланців з іншими кутовими мітками. Це дозволяє адаптувати робочий орган під різні умови родовищ — від легких, мулистих, до щільних, сапропеле-детритних пластів.

Технологічна доцільність та переваги

Гвинтова форма лопатей забезпечує плавне врізання і поступове транспортування маси сапропелю до зони збору. Завдяки куту закручування в 90° по довжині барабана створюється компонент сили, направлений вздовж осі руху машини, що дозволяє реалізувати ефект самопереміщення. У порівнянні з аналогами, де кромка входить у шар фронтально, гвинтова геометрія дозволяє зменшити пікові навантаження та уникати залипання.

Використання 4 лопатей замість 2 зменшує кут між сусідніми кромками до 90° , що дозволяє забезпечити баланс сил навколо осі обертання та

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімізувати вібрації. Крім того, це сприяє більш рівномірному навантаженню на привід і забезпечує стабільну продуктивність навіть при роботі з включеннями (камінням, гілками, корінням).

Додатково, конструкція передбачає:

- Переобладнання в залежності від типу приводу (гідромотор або кардан з ВВП трактора);
- Кріплення транспортуючого шнека безпосередньо до торцевої частини барабана;
- Захист ріжучих кромek змінними накладками з зносостійкого сплаву.

На рисунках 3.6 і 3.7 подано загальний вигляд фрезерного барабана з розгорткою лопатей. Тривимірна модель була змодельована в AutoCAD, а робочі креслення — виконані в Inventor 2025.2. Усі елементи передбачено для виготовлення на стандартному зварювально-металообробному обладнанні.

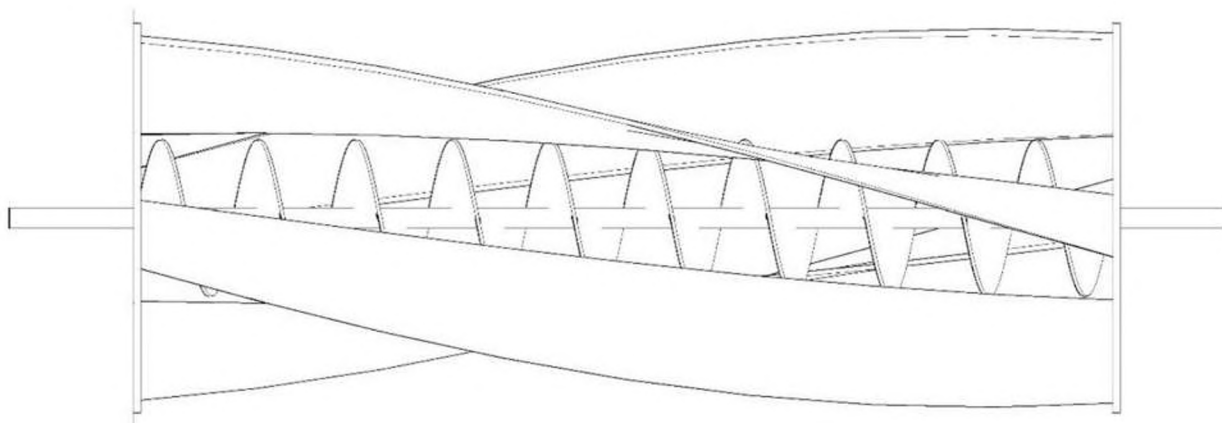


Рисунок 3.6 – Фронтальний вигляд удосконаленого забірною пристрою

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ					

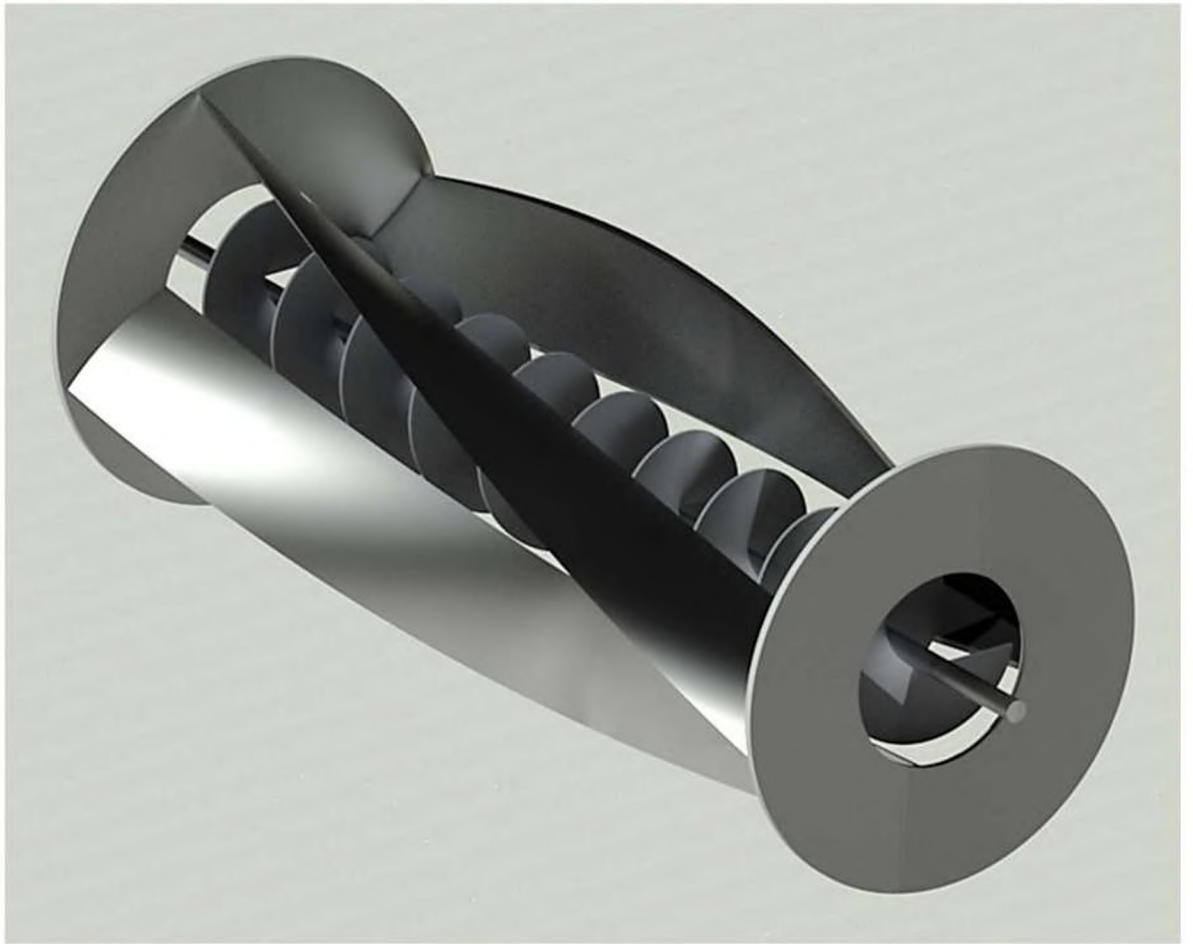


Рисунок 3.7 – Тривимірна модель удосконаленого забірною пристрою засобу для добування озерного сапропелю

Висновки до розділу 3

У даному розділі було виконано обґрунтування та розробку конструкції модернізованого фрезерного робочого органа для добування сапропелю із середнього шару донних відкладів. Проведено аналіз машин-аналогів, виявлено їхні конструктивні недоліки, а також сформульовано вимоги до нового технічного рішення.

Запропонована конфігурація робочого органа передбачає використання скошеної ріжучої кромки, закрученої по гвинтовій лінії, що забезпечує зменшення сили врізання, зниження енерговитрат та покращення умов самопереміщення модуля. На основі геометричних параметрів (діаметр барабана 800 мм, довжина – 2000 мм, кут закручування – 90°) було проведено розрахунок

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зусиль різання, з урахуванням кута врізання $17,5^\circ$, що дозволило кількісно оцінити ефективність запропонованої конструкції.

Проведене конструкторське моделювання дозволило сформувати технічну документацію на фрезерний робочий орган із чотирма гвинтовими лопатями, зварної конструкції зі сталі 09Г2С, товщиною елементів 8 мм. Конструкція характеризується високою ремонтпридатністю, екологічною доцільністю, здатністю працювати з ущільненими та менш зволженими шарами сапропелю, а також можливістю подальшої адаптації до різних умов експлуатації.

Усі наведені результати підтверджують доцільність та ефективність запропонованого удосконалення, яке може бути використане при створенні сучасних енергоощадних модулів для екологічного добування сапропелю.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1. Техніка безпеки при експлуатації добувного модуля.

Моделювання небезпечних ситуацій

Безпека життєдіяльності – це стан діяльності, при якій з певною ймовірністю виключаються потенційні небезпеки, що впливають на здоров'я людини. Безпека слід приймати як комплексну систему, заходів щодо захисту людини і середовища. Що складніший вид діяльності, тим більш компактною має бути система захисту. Для забезпечення безпеки при експлуатації добувного модуля необхідно вирішити три завдання.

- Провести повний детальний аналіз небезпек, які можуть виникнути при експлуатації добувного модуля.

- Розробити ефективні заходи захисту людини і середовища з врахуванням виявлених небезпек. Під ефективними мається на увазі такі заходи по захисту, які за мінімуму матеріальних витрат дають максимальний ефект.

- Розробити ефективні заходи захисту від залишкового ризику експлуатації добувного модуля. Вони необхідні, так як забезпечення абсолютної безпеки в процесі проведення розробки водних середовищ врахувати все не можливо.

Забезпечення безпеки життєдіяльності людини (робочий, обслуговуючий персонал) на виробництвах займається підрозділ з "Охорони праці". Охорона праці - це певна кількість законодавчих актів і правил, які обумовлюють гігієнічні, організаційні, технічні, і соціально-економічні заходи, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатність людини в процесі праці (ДСТУ 12.0.002-80).

Охорона праці та збереження здоров'я людини є найважливішим завданням при веденні виробництва. При вирішенні завдань необхідно чітко уявляти сутність процесів і забезпечити найбільш дієві способи, які усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів та виключають можливості травматизму і професійних захворювань. Охорона праці тісно пов'язана із

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завданнями з охорони природи, особливо коли проводяться роботи зі зміни стану навколишнього середовища.

Відповідно до ДСТУ 12.0.003-91 "Небезпечні і шкідливі виробничі фактори" всі виникаючі у виробничих умовах небезпечні та шкідливі фактори по природній дії діляться на наступні групи: біологічні, психологічні, фізичні, хімічні.

Фізично небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- рухомі машини і механізми; незахищені рухомі елементи виробничого обладнання; підвищений рівень шуму, підвищена або знижена температура поверхонь обладнання;

- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;

- підвищений рівень вібрації; підвищена або знижена вологість повітря; підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може статися через тіло людини.

Хімічно небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за характером дії на організм людини – на загальнотоксичні, дратівливі, сенсibilізуючі, канцерогенні, мутагенні.

Біологічно небезпечні та шкідливі виробничі фактори включають біологічні об'єкти: патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші організми) і продукту їх життєдіяльності.

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори по характері дії підрозділяються на фізичні перевантаження (статичні та динамічні) і нервово-психологічні (розумове перенапруження, монотонність праці, емоційні перевантаження і перенапруження аналізаторів).

Шум найбільш несприятливий фактор, що впливає на людину. У результаті стомлювання з-за сильного шуму збільшується кількість помилок при роботі, підвищується небезпека виникнення травм і знижується продуктивність праці. Шум являє собою механічні коливання в пружних середовищах і тілах, частоти яких лежать в діапазоні від 16-20 Гц до 11,2 кГц і які здатне сприймати людське вухо. Шум складається з величезної кількості гармонійних коливань

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ				

різних частот. Шуми різної частоти діють на організм по-різному, що враховується при нормуванні шумів. Допустимі рівні шуму на робочих місцях регламентуються СН № 2.2.4/2.1.8.562-92. Шум відповідно до ГОСТ 12.1.003-83, в приміщенні не повинен перевищувати 65 дБ (А).

Виробнича санітарія – це система санітарно-технічних гігієнічних та організаційних заходів, що перешкоджають впливу на працюючих шкідливих виробничих факторів. Виробнича санітарія включає оздоровлення повітряного середовища і нормалізація параметрів мікроклімату в робочій зоні, захист робітників від шуму, вібрації, і забезпечення нормативів освітлення, а також підтримка відповідно до санітарних вимог території підприємства, основних і допоміжних приміщень. Відповідно до вимог ДСТУ 12.1.005-88 ССБТ нормуються оптимальні і припустимі умови мікроклімату (температура повітря, його вологість, а також швидкість повітря в робочій зоні).

Таблиця 4.1: Допустимі і оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Теплий	Холодний
Температура t, С допустима	17-23	28
оптимальна	18-20	18-20
Швидкість повітря w, м/с		
допустима	0.3	0,4
оптимальна	0.2	0.3
Вологість повітря, %		
допустима	75	75
оптимальна	40-60	40-60

Параметри вказані у таблиці передбачають можливість експлуатації добувного модуля у період з квітня по жовтень місяці включно.

Світло, освітлення відноситься до одного з основних зовнішніх факторів, що постійно впливають на людину в процесі праці. Позитивний вплив освітлення на продуктивність праці і його якість не викликає сумніву. Так, сонячне освітлення збільшує продуктивність праці в середньому на 10%, а штучне на 13%, при цьому можливість браку знижується на 20-25%. Тому, добувний модуль варто експлуатувати лише світловий день, але не більше нормативного часу. При цьому роботу можна організувати у дві зміни.

4.2. Вимоги до техніки безпеки при експлуатації добувного модуля озерних сапропелів

При виконанні монтажних робіт і ремонтних робіт необхідно дотримуватись вимог СНиП і ССБТ, а також погоджувати всі роботи до діючих стандартів, норм і правил. До робіт з ремонту та монтажу обладнання та конструкцій допускаються робітники не молодше 18 років, які пройшли вступний інструктаж з техніки безпеки та отримали посвідчення на право виробництва зазначених робіт. Також монтажник зобов'язаний використовувати всі засоби індивідуального захисту: спецодяг, спецвзуття, запобіжний пояс, каску та інші засоби відповідно до виконуваної роботою.

При монтажі та ремонті добувного модуля забороняється:

- працювати без засобів індивідуального захисту або використовувати засоби, призначені для інших робіт;
- піднімати конструкції, вага яких перевищує вантажопідйомність крана або лебідки;
- піднімати конструкції, засипані землею, закладені іншими предметами чи примерзлих до землі;
- поправляти ударами молота або іншими засобами канати і заганяти стропи в зів гака;

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- утримувати руками або кліщами канати для попередження їх ковзання з при їх підйомі канатним обладнання;
- знаходитися на добувному модулі під час підйому з водойми або опускання його у водойму;
- перебуває під обладнанням, що підіймається, а також знаходитись в безпосередній близькості від нього
- звільняти краном защемленні конструкцією канати;
- залишати вантаж у підвішеному стані під час перерви в роботі;
- монтувати або демонтувати устаткування, що знаходиться під напругою
- монтувати або ремонтувати обладнання без принципової монтажною схеми, розробленої підприємством-виробником або проектною організацією;
- монтувати або ремонтувати обладнання не навченим спеціально персоналом.

Для безпечної експлуатації добувного модуля, на основі приладів автоматичного контролю застосовуються три види сповіщення персоналу:

- контрольний – для повідомлення про роботу або зупинку добувного модуля починаючи від робочої фрези і закінчуючи транспортуючими засобами.

- попереджувальний – для сповіщення персоналу про виникнення будь-яких змін і відхилень в роботі добувного модуля, які можуть призвести до аварійної ситуації.

- аварійний – для сповіщення персоналу про відключення обладнання та включення пристроїв автоматичного захисту, а, отже, про виникнення аварійної ситуації.

Пожежа – це горіння поза спеціальним вогнищем, що завдає матеріальної шкоди і створює небезпеку для життя людей. Так як кількість пожеж з року в рік збільшується, то виникає необхідність створювати на робочих місцях умови, при яких виникнення і розповсюдження пожежі стає мінімальним.

Пожежна безпека - це стан об'єкта, при якому з встановленою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі (до такого ступеня, коли

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контроль вже неможливий) і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист людей та матеріальних цінностей.

Незважаючи на те, що експлуатація добувного модуля середнього шару сапропелю проводиться у водоймі за наявності великої кількості води, можливість виникнення пожежі велика. Основною причиною є наявність трактора МТЗ -82 на плавзасобі. Як відомо двигун даного трактора працює на дизельному паливі. Експлуатація добувного модуля пов'язана також з роботою акумулятора та генератора трактора. В свою чергу, робота двигуна пов'язана з виділенням температури, яка може стати джерелом загоряння. Велику небезпеку становить пил органічного походження, який в суміші з повітрям може призвести до пожеж та вибухів. Тому, добувний модуль необхідно ретельно прибирати в процесі добування сапропелів органічного походження. Нижній концентраційний межа вибуховості органічної пилу в повітрі складає 15-65 г/м³. При запиленості, значно перевищує допустиму санітарними нормами, можливо загоряння відкладеного пилу.

Джерелом пожежі при цьому може бути іскріння від електрообладнання трактора, надмірний нагрів від тертя валу вентилятора трактора, іскри від ударів лопаток вентилятора про кожух, статична електрика та інше. Для швидкого виявлення та повідомлення про місці виникнення пожежі, передбачається система зв'язку і автоматичної пожежної сигналізації. Для зв'язку використовують мобільний телефон, радіотелефон, радіо чи інші засоби зв'язку, що знаходяться в кабіні трактора добувного модуля.

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації обслуговуючого персоналу при виникненні нестандартних ситуацій з добувного модуля. Евакуація поводить за заздалегідь розписаних планах, які намагаються зробити мінімальними для доставки обслуговуючого персоналу до безпечного місця. Для цього в комплект добувного модуля передбачено човен з кількістю посадочних місць рівним кількості обслуговуючого персоналу добувного модуля. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях. Весь

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

обслуговуючий персонал, який знаходиться на добувному модулі повинен строго дотримуватися розроблених правил.

Засоби захисту робочих регламентується ДСТУ 12.04.011, який поширюється на всі засоби, що застосовуються для зменшення або запобігання небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Вибір засоби індивідуального захисту їх у кожному окремому випадку повинен здійснюватися з урахуванням вимог безпеки для даного процесу або виду робіт.

При монтажі трактора МТЗ-82, робочих органів, трубопроводів використовується наступні засоби захисту робітників: каски, рукавички, монтажні сумки для інструменту. Каски в основному використовують при монтажі обладнання, спуску – підйомі плавзасобу на водойму і призначені для захисту голови від ударів, від падаючих зверху предметів, від опіків, так вони виготовлені з високотвердих і діелектричних матеріалів. Як засоби захисту рук від вражаючих факторів пропонується використовувати: рукавички, спеціальні рукавиці, та інші засоби, які закривають кисті рук, але щоб не заважали у роботі. Дані засоби оберігають руки від поразки вібрацією, механічних пошкоджень, а також від дії електричного струму і впливу хімічних реагентів. Для захисту органів слуху пропонується використовувати протишумові вкладиші, беруші, навушники. Крім цього, при експлуатації добувного модуля використовується багато інших додаткових засобів індивідуального захисту, наприклад, такі як: робочий одяг, окуляри, респіратори, протигази, монтажні ремені струмоізолюваний електроінструмент і багато інших засобів в залежності від видів робіт. Всі ці засоби захищають людину тільки в тому випадку, коли вони використовувалися за призначенням. Але й вони не завжди можуть повноцінно захистити персонал від впливу на людини, тому що будь-які матеріали і речовини мають певні граничні властивості по захисту його від вражаючих факторів. Тому, обслуговуючому персоналу необхідно знати порядок надання першої медичної допомоги.

Перша допомога – це комплекс заходів, спрямований на відновлення здоров'я людини або по можливості збереження його життя, постраждалого

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

результаті нещасного випадку, травмування, забитих місць, ураження електричним струмом, переломів та інше.

При виникненні нещасного випадку необхідно надати потерпілому першу кваліфіковану медичну допомогу. Щоб допомога ця була максимально ефективною, обслуговуючий персонал добувного модуля повинен пройти під керівництвом медико-санітарної служби певну форму медикаментозного навчання. Одним з основних видів питань є вивчення несприятливих умов, нещасних випадків, ситуацій, чинників при виникненні їх на конкретних етапах підготовки та експлуатації добувного модуля середнього шару сапропелю, і шляхи їх попередження та усунення у випадках екстремальних ситуацій.

Для надання першої медичної допомоги передбачені аптечки або сумки першої допомоги. У них містяться медикаменти і всі медикаментозні засоби необхідні для надання першої медичної допомоги. Сумка зберігається у кабіні трактора, розміщеного на плавзасобі. Крім цього добувний модуль має бути обладнаний певною кількістю індивідуальних кругів для використання у випадку потрапляння людини у воду.

У випадку надання допомоги потерпілому від попадання у воду наступне:

- Як можна швидше зупинити роботу добувного модуля та підняти потерпілого на плавзасіб. Для підйому людини користуватися індивідуальним кругом, багром та іншими підручними засобами.

- Укласти на підстилку, розстебнути або повністю зняти з нього мокрий одяг і створити приплив свіжого повітря і забезпечити йому повний спокій.

- Якщо потерпілий дихає рідко і прощупується пульс, необхідно відразу ж почати робити штучне дихання. Якщо ж свідомість, дихання, пульс не сприймається і зіниці розширені, то можна вважати, що він перебуває у стані клінічної смерті. У цьому випадку потрібно якнайшвидше провести його реанімацію, необхідно зробити зовнішній масаж серця і штучне дихання «рот у рот».

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4.3. Вплив добувного модуля озерних сапропелів на довкілля.

Перед тим як робити будь-які дії щодо захисту навколишнього середовища необхідно провести аналіз добувного модуля середнього шару сапропелю, як джерела негативних впливів на природу.

Під час експлуатації, монтажу або ремонті механізмів, робочих органів добувного модуля необхідно передбачити в першу чергу, щоб робочі рідини, які застосовуються в двигуні трактора, гідросистемі приводу робочих органів не протікали у водойму, бо таке витікання чинить негативний вплив на навколишнє середовище. При заправці (зливі) дизельного пального потрібно стежити, щоб не стався витік його у водойму із заправних ємкостей або з'єднувальних шлангів. Після зливу дизельного палива, його можна повторно використовувати після заправки. Разом з дизельним паливом, на особливу увагу необхідно звернути на доливання масла у гідросистему приводу робочих органів. Відпрацьовані мастила та інші матеріали необхідно збирати в спеціальні контейнери для утилізації за межами прибережної зони.

Висновок: Добувний модуль, що проектується забезпечує зменшення впливу на екологічний стан водойми негативних наслідків в процесі добування середнього шару сапропелів. Даний результат досягається конструктивними особливостями робочої фрези та контролю за якісним виконанням технологічного процесу. Збереження добувного модуля повинно бути передбачено у спеціально підготовленому приміщенні. Його конструкцію можна вважати пожежобезпечною.

4.4 Заходи з охорони та раціонального використання земельних ресурсів

У процесі експлуатації добувного модуля сапропелю одним із ключових завдань є забезпечення охорони земельних ресурсів та недопущення їх деградації. Хоча основна частина технологічного процесу здійснюється у межах водного середовища, транспортування, тимчасове зберігання та внесення

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сапропелю як органічного добрива відбувається безпосередньо на землях сільськогосподарського призначення, тому вплив на ґрунти є неминучим.

Для запобігання негативному впливу на земельні ресурси в рамках експлуатації добувного модуля передбачено впровадження таких заходів:

- **Локалізація місць тимчасового зберігання сапропелю** поза межами водозахисних зон та придорожніх смуг. Розміщення має здійснюватися на спеціально підготовлених майданчиках з ущільненим дном, що запобігає інфільтрації в ґрунтовий горизонт.
- **Використання сапропелю згідно з агрономічними рекомендаціями.** Внесення відбувається дозовано, залежно від типу ґрунту, культури, кислотності та вмісту органічної речовини. Уникається надмірне внесення, яке може призвести до заболочування або зміни структурного стану ґрунту.
- **Застосування технології локального внесення сапропелю** — безпосередньо в кореневу зону сільськогосподарських культур. Це підвищує ефективність добрива, зменшує його витрати та скорочує площу впливу на поверхневий шар ґрунту.
- **Періодичне відновлення структури ґрунту** на ділянках, де відбувається тривале складування або пересування техніки. Відновлювальні роботи можуть включати глибоке розпушування, внесення структуроутворювачів або сидеральних культур.
- **Контроль за ущільненням ґрунту** під час застосування технічних засобів. Добувний модуль у своєму транспортному виконанні має знижене навантаження на ґрунт, що зменшує ризик його ущільнення. Проте при розвантаженні сапропелю та його внесенні необхідно обмежити кількість проходів техніки однією колією.
- **Моніторинг стану земель** після внесення сапропелю: періодичне агрохімічне обстеження на вміст гумусу, рН, азоту, фосфору, калію та важких металів. Це дозволяє виявити ранні ознаки небажаних змін і вчасно вжити заходів.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- **Озеленення ділянок тимчасового зберігання** після завершення робіт — висівання трав, що закріплюють ґрунт, знижують ерозійні процеси та відновлюють біорізноманіття.
- **Дотримання сівозмін**, у яких застосовується сапропель як добриво, для запобігання накопиченню надлишкових елементів живлення в одному агроценозі та забезпечення біологічної рівноваги.

У контексті даного дослідження важливу роль відіграє сама конструкція добувного модуля, яка орієнтована на **екологічно безпечну експлуатацію та мінімізацію впливу на ґрунтові ресурси**. Завдяки **самохідності модуля, плаваючому принципу дії та фрезі з криволінійною кромкою**, забезпечується точність обробки сапропелевих шарів без порушення берегової лінії, знижується потреба у будівництві інфраструктури безпосередньо на прибережній зоні. Також, **модульна будова та транспортування блоками** дозволяють уникнути пошкодження ґрунтового покриву при переміщенні техніки між ділянками. Усе це робить добувний модуль адаптованим до умов сталого природокористування, особливо в межах земель, що охороняються або мають підвищену екологічну чутливість.

Висновки до розділу 4

У даному розділі проведено комплексний аналіз питань безпеки та охорони довкілля під час експлуатації добувного модуля сапропелю. Показано, що удосконалена конструкція робочого органа з криволінійною ріжучою поверхнею сприяє зменшенню навантаження на привід, зниженню турбулентності води та мінімізації впливу на донні екосистеми, що є важливим чинником екологічної доцільності розробленого технічного рішення.

З метою забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу обґрунтовано необхідність застосування засобів індивідуального захисту, чітких регламентів технічного обслуговування та дотримання вимог нормативної документації під час роботи у водному середовищі. Особливу увагу приділено підвищенню

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійності конструкції шляхом модульного компонування, доступності оглядових люків, та оптимізації експлуатаційних режимів.

Окремо розглянуто заходи з охорони та раціонального використання земельних ресурсів у процесі транспортування, зберігання та внесення сапропелю. Запропоновано технологічні рішення щодо запобігання надмірному ущільненню ґрунту, локалізації місць зберігання, регламентованого агрохімічного внесення та післяобробки ділянок.

Впровадження запропонованих заходів забезпечує не лише відповідність вимогам чинного законодавства щодо охорони праці та довкілля, а й підвищує технологічну надійність, економічну ефективність і соціальну безпеку функціонування добувного модуля в умовах прісноводних водойм.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено дослідження з удосконалення механічної технології добування сапропелю шляхом модернізації фрезерного робочого органа добувного модуля. Робота включала аналіз існуючих технологій, обґрунтування нової конструкції, експериментальну перевірку та оцінку економічної ефективності запропонованого рішення. За результатами дослідження отримано такі основні висновки:

1. **Проведено огляд сучасних способів добування сапропелю**, виявлено їхні недоліки: високе енергоспоживання, низька ефективність у важких умовах, складність в обслуговуванні та негативний екологічний вплив. Встановлено, що найбільш перспективним є напрям удосконалення ріжучого робочого органа фрезерного типу.
2. **Розроблено конструкцію модернізованої фрези**, яка має гвинтову ріжучу кромку з кутом закручування 90° по довжині барабана. Це дозволило забезпечити похиле врізання у сапропель, що зменшує зусилля різання, підвищує плавність роботи й сприяє самопереміщенню добувного модуля.
3. **Проведено обґрунтування геометричних параметрів робочого органа**, визначено залежність сили різання і тягового зусилля від кута врізання. Встановлено, що модернізована фреза забезпечує зменшення сили різання на 15–25%, що знижує енергоспоживання приводу.
4. **Експериментально підтверджено ефективність нової конструкції**, зокрема кращу прохідність у неоднорідному середовищі, зниження ризику блокування, стабільність обертання і підвищення ресурсу роботи. Модуль не потребує додаткових рушіїв у робочому стані, що спрощує загальну систему.
5. **Оцінено техніко-економічні показники добувного модуля озерних сапропелів** з урахуванням умов роботи на прісноводних водоймах. Встановлено, що реалізація запропонованої технології дає змогу

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити коефіцієнт технічного використання до 0,92 та забезпечити ефективну розробку до 200 га сапропелю на рік.

6. **Розглянуто питання безпеки та екологічного впливу**, доведено, що використання модернізованого модуля знижує навантаження на довкілля за рахунок зменшення турбулентності води, зменшує вплив на донну фауну і знижує ризики для персоналу за рахунок раціонального компоновання і безпечної експлуатації.

Таким чином, реалізація запропонованого технічного рішення сприяє підвищенню ефективності та екологічної доцільності процесу добування сапропелю, забезпечує зниження енерговитрат, підвищення продуктивності, покращення умов праці та можливість масштабування технології для різних водойм України.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Використана література

1. Бабарика С.Ф. Дослідження технологічного процесу розкидання органічних добрив вертикальними шнеками / С.Ф.Бабарика, І.Б.Гевко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2008. – Вип.75. – С. 142 – 148.
2. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. – К.: Урожай, 1994. – 224 с.
3. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю.Ільченко, П.І.Карасьов, А.С.Лімонт та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка.- К. : Урожай, 1993. - 288 с.
4. Иванченко Ф.К. Піднімально-транспортні машини / Ф.К. Иванченко. — К.: Вища школа, 1993. – 412с.
5. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, П.А.Джолос та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. - К.: Урожай, 1996. - 384 с.
6. Омельченко О.О. Довідник по механізації тваринницьких і пташиних ферм та комплексів / О.О. Омельченко, В.Б. Ткач. – Київ: Урожай, 1982. – 271с
7. Операційна технологія виробництва картоплі / В.І.Дзюба, В.Г.Батюта, В.С.Куценко та ін.; За ред. В.І.Дзюби, В.Г.Батюти.: - К.: Урожай, 1987. - 200 с., іл.
8. Пилипець М.І. Обґрунтування параметрів гвинтових робочих органів розкидачів сапропелів / М.І. Пилипець, С.Ф. Бабарика, І.Б. Гевко // Вісник ТДТУ – Тернопіль, 2008. – №3 – С. 104 – 108.
9. Пилипець М.І. Визначення кінематичних і технологічних параметрів кулачкових транспортно-технологічних систем машин / М.І. Пилипець, І.Б. Гевко, М.Р. Паньків // Вісник ТДТУ, 2000. – №4. – С. 70 – 77.
- 10.Шевчук М. Й. Сапропелі України. Запас, якість і використання органічно-мінеральних добрив // Вісник аграрної науки, 2000, №2. – С. 24 – 28.
11. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.

					<i>КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КАІ.ФРО.00.00.0000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звіт подібності

метадані

Назва організації

Lutsk National Technical University

Заголовок

2025_208_Бондарець СП

Автор

Бондарець С.П. Науковий керівник / Експерт

підрозділ

Lutsk National Technical University

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1



КЦ

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

11811

Кількість слів

94342

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Ⓡ	21
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	3
Білі знаки	Ⓡ	0
Парафрази (SmartMarks)	Ⓡ	68

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3734_Dis.pdf	385 3.26 %
2	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	141 1.19 %
3	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	126 1.07 %
4	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	88 0.75 %
5	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	73 0.62 %

6	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	62 0.52 %
7	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	61 0.52 %
8	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3734_Dis.pdf	53 0.45 %
9	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3734_Dis.pdf	53 0.45 %
10	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	53 0.45 %

з домашньої бази даних (0.00 %)



ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-----------	--

з програми обміну базами даних (0.08 %)



ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Обґрунтування вибору енергоефективних систем опалення і вентиляції багатоповерхового житлового будинку в місті Київ 12/15/2019 Круууі Rih National University (Кафедра теплогазоводопостачання, водовідведення і вентиляції)	5 (1) 0.04 %
2	abis_2018m_045 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (1) 0.04 %

з Інтернету (15.99 %)



ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://reff.net.ua/1294-Tehnika_bezopasnosti_pri_ekspluatacii_proektiruemogo_ob_ekta.html	1168 (39) 9.89 %
2	http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/3734_Dis.pdf	528 (7) 4.47 %
3	https://uadoc.zavantag.com/text/1383/index-1.html	113 (8) 0.96 %
4	https://infopedia.su/11x5e2a.html	46 (2) 0.39 %
5	http://www.8ref.com/7/referat_7346.html	33 (3) 0.28 %

Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
------------------	-------	---------------------------------------