

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR FORECASTING, ADJUSTMENT, AND CONTROL OF AIRLIFT SAPROPEL EXTRACTION MACHINES

S. Khomych*, I. Tsyz, R. Khlopetskyi, S. Yukhymchuk, I. Zakharchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

The article presents an analytical overview demonstrating the feasibility of using pneumatic (airlift) sapropel extraction machines designed to obtain organic sapropel raw material – a fundamental component in the production of fertilizers for organic farming. The section State of the Art and Problem Statement highlights the shortcomings of the existing mechanical adjustment and control systems of such machines, which are often inefficient and prone to operational failures. Since pneumatic sapropel extraction systems have proven to be energy-efficient and environmentally sustainable in obtaining organic raw materials and are currently undergoing active modernization, a comprehensive automated system was proposed as the result of this research. The developed system simultaneously performs several functions — it forecasts, adjusts, and controls the machine's operating process. The system determines and configures the optimal technological parameters of the workflow and automatically monitors, modifies, and manages them depending on the unpredictable characteristics and properties of the sapropel deposit. It also forecasts potential changes in the operating process and structural loads that may lead to machine failure, thereby preventing such occurrences. The paper presents a block diagram illustrating the sequence of processes for forecasting, adjustment, and control of airlift sapropel extraction machines, as well as the layout of information and control devices that implement the operational process. The proposed system will increase the efficiency of machine operation, ensure uniform extraction of sapropel layers, and provide high-quality raw material with minimal impact on the aquatic ecosystem.

Key words:

system,
forecasting,
adjustment,
control,
machine,
device,
working process

Article history:

Received 08.08.2025

Accepted 10.10.2025

*Corresponding author:

smhh@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi51.1899

To cite this article:

Khomych, S., Tsyz, I., Khlopetskyi, R., Yukhymchuk, S., & Zakharchuk O. (2025). Development of an Automated System for Forecasting, Adjustment, and Control of Airlift Sapropel Extraction Machines. *Agricultural Machines*, 51, 48-55. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1899>

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ, НАЛАШТУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ ЕРЛІФТНИХ САПРОПЕЛЕДОБУВНИХ МАШИН

С.М. Хомич*, І.Є. Цизь, Р.А. Хлопецький, С.Ф. Юхимчук, І.В. Захарчук

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна



АНОТАЦІЯ

У матеріалах статті представлено проаналізовану інформацію де вказано доцільність застосування пневматичних (ерліфтних) сапропеледобувних машин, які призначені для отримання органічної сапропеллової сировини, що є базовим елементом при виробництві добрив для ведення органічного землеробства у сільському господарстві. В розділі стан питання і постановка проблеми висвітлено проблематику, механічної системи налаштування і управління робочим процесом машини, яка є малоефективною та часто призводить до втрати роботоздатності. Оскільки пневматичні сапропеледобувні засоби зарекомендували себе, як енегроефективні та екологоощадні у отриманні органічної сапропеллової сировини та перебувають на стадії вдосконалень, то результатом їх модернізації було запропоновано комплексну автоматизовану систему, яка одночасно виконує кілька функцій, а саме прогнозує, налаштовує і управляє робочим процесом машини. Система підбирає та налаштовує технологічні значення найефективніших параметрів робочого процесу і автоматично контролює, змінює і управляє ними в залежності від непередбачуваних характеристик і властивостей розроблюваного родошища а також передбачає зміни робочого процесу і навантаження на конструкцію машини, які можуть призвести до виходу її з ладу та унеможливує дане явище. У роботі наведена схема блоків, за допомогою якої виконуються комплекс процесів прогнозування, налаштування і управління ерліфтними сапропеледобувними машинами та схема розміщення інформаційно-контролюючих пристроїв, що реалізують робочий процес. Дана система підвищить ефективність виконання робочого процесу машини, дозволить рівномірно розробляти шари покладів сапропелю і добувати якісну сировину з мінімальним впливом на порушення екосистеми водного об'єкта.

Ключові слова:

система
прогнозування,
налаштування,
управління,
машина,
засіб,
робочий процес

Історія публікації:

Отримано 08.08.2025

Затверджено 10.10.2025

*Автор для листування:

smhh@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi51.1899

Цитувати цю статтю:

Хомич, С.М., Цизь, І.Є., Хлопецький, Р.А., Юхимчук, С.Ф., & Захарчук, О.В. (2025). Розробка системи автоматизованого прогнозування, налаштування і управління ерліфтних сапропеледобувних машин. Сільськогосподарські машини, 51, 48-55. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1889>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На території України зосереджено близько 10% прісноводних озер Європи (*Хільчевский 2022*). Більшість з цих озер піддаються евтрофії (тобто старіють і втрачають можливість самофункціонування). Дані озера заповнені природними відкладенням, переважно органічного типу. Ці природні накопичення (поклади, корисні копалини) являються сапропелями, що є цінним сировинним матеріалом, який застосовують у будівельній галузі, медицині, сільському господарстві тощо.

З кожним роком процеси накопичення сапропелів у водоймах зростають, і як наслідок озера перетворюються на чагарники та болота. Тільки на території Західного Полісся України таких водойм є більше 80, проте з року в рік їх кількість збільшується.

Згідно інформації, (*Програма дій, 2000*), припинити інтенсивну евтрофікацію озер дозволяє лише людське втручання у природу за допомогою науково-обґрунтованих технологій, машин та засобів. Тому, розробка заходів із протидії природного евтрофіювання прісноводних озер є досить актуальною для сьогодення, а обґрунтування доцільності використання нових технологій і машин для добування є своєчасною.

Варто зазначити, що кожне евтрофіюване озеро має індивідуальні властивості, це спричиняє проблеми розробки покладів та передбачає нестабільний робочий процес відновлювальних робіт, тому дослідження стану водного об'єкта, складання карти родовища за умовами розташування, визначення властивостей сапропелів є першочерговим етапом перед початком добувального процесу.

З відомих різновидів сапропелів (*Цизь, 2023; Мольчак, 1998, Електронний ресурс*), найефективнішими є органічні, здебільшого вони приносять користь в сільському господарстві, їх використовують для вдосконалення біогенного родючого шару ґрунту (*Цизь, 2023*), та у якості добрив. Добрива на основі органічних сапропелів знайшли своє застосування на малопродуктивних і виснажених землях вони стабілізують або збільшують вміст гумусу, що відновлює родючість ґрунту (*Мольчак, 1998; Шевчук, 2012*). Для виготовлення таких добрив необхідно застосовувати лише оброблені органічні сапропелі з вмістом органіки понад 60%. Однак існує проблема у забезпеченні сільського господарства таким сапропелем, вона пов'язана із складністю технології їх добування з підводних родовищ та невизначеністю енергоефективної технології обробки.

До існуючих новітніх машин і засобів, які добувають органічні сапропелі (сировину) для сільського господарства та, які забезпечують найменші енергетичні затрати з найбільшими показниками продуктивності і якості отриманої сировини є ерліфтні (пневматичні) добувні засоби, що розробляють родовища з під шару води (*Хомич, 2014*). Сюди ж слід віднести і пневматичне трубопровідне обладнання для транспортування добутих покладів до берегової лінії. Дані машини мають просту конструкцію, та є найбільш перспективним з точки зору мінімізації енергетичних витрат на отримання сапропелевої сировини для добрив (*Хомич, 2017*). Забезпечують виконання технологічного процесу за найменшого впливу на порушення екосистеми водного об'єкта та найбільшої якості отриманої сировини.

Що стосується якості сировини, то дані машини здатні добувати сапропелі у природному стані із збереженням поживно-цінних мікроелементів для ґрунту, тобто стані при якому озерні поклади зневоднюються та обробляється з найменшими затратами. Тому, вдосконалення даних машин і обладнання є перспективою у отриманні вискоєфективних альтернативних добрив. простоти технології і конструкції машини

Принцип роботи ерліфтних засобів заснований на використанні енергії стисненого повітряного потоку, а різновиди конструкцій та технологій відрізняються між собою змішувачами (робочими органами) та способами розробки родовищ.

Так як геометричні параметри різновидів конструкцій є науково обґрунтованими, а їх робочий процес залежить від зміни технологічних параметрів (глибини залягання, глибини розробки, робочого тиску, структури руху суміші у піднімальному трубопроводі, властивостей сапропелю, властивостей родовища, способу переміщення, відхиленні від горизонталі, тощо) (*Хомич, 2017*), то для високопродуктивного режиму роботи необхідно запропонувати автоматизовану систему управління та швидкого налаштування режимних параметрів робочого процесу машини з прогнозуванням продуктивності і енергетичних витрат, яка могла б забезпечити отримання якірної сировини в непередбачуваних умовах та запобігти проблемам і загрозам.

Мета дослідження – розробка системи автоматизованого прогнозування, налаштування і управління робочим процесом ерліфтних сапропеледобувних машинах для отримання якісної сировини, збільшення продуктивності та унеможливлення поломок за непередбачуваних характеристик і властивостей розроблюваного родовища.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Оскільки пневматичні сапропеледобувні машини перебувають на стадії випробувань то в умовах їх налаштувань та підборі раціональних конструктивних параметрів машини, необхідно максимально точно забезпечити виконання робочого процесу. Це досить складно відтворити механічним, зв'язком між робочими органами та механічною ланкою системи управління.

Ступінь складності виконання робочого процесу при сталих конструктивно-геометричних параметрах машини, в першу чергу залежить від швидкості підбору технологічних показників, що формують робочий процес; властивостей матеріалу, які можуть відрізнятися з глибиною та площею розміщення і параметрів родовища; нерівномірності розташування шарів за глибиною розробки; якістю та призначення отриманої сировини, тощо.

Для налаштування ефективного та безперервного режиму роботи пневматичних сапропеледобувних машин і забезпечення його стабільності, необхідно створювати нові та модернізувати існуючі автоматичні системи управління, які можуть в процесі роботи корегувати і налаштовувати робочий процес на максимально продуктивний, передбачати і унеможлилювати перевантаження машини та одночасно прогнозувати і попереджати про загрози і поломки. Що стосується пневматичних (ерліфтних) сапропеледобувних машин, то подібні системи, в них взагалі відсутні, машини оснащені лише механічними чи гідравлічними органами керування з запобіжними пристроями.

Тому розробка системи автоматичного управління, прогнозування, налаштування, контролю і керування машиною з елементами діагностування, та засобами безпеки є досить своєчасною.

Для формування автоматизованої системи використовували синтез подібних процесів, а для оцінки її роботоздатності значення з запропонованих залежностей.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В реальних умовах роботи коригування робочого процесу відбувається механічним регулюванням експлуатаційних показників машини та зміною положення робочих органів і обладнання, тому перехід на автоматизований процес дасть можливість зменшити час на налаштувальні операції та швидко переналаштуватись на новий режим роботи. При цьому потрібно дотримуватись взаємопропорційності між конструктивними параметрами висоти (довжини) пристрою, тиском та глибиною розробки покладів, таким чином, щоб забезпечувати норму об'ємного повітряності, яка рекомендується в межах $0,2...0,3 < \varphi_n < 0,6...0,8$ (Хомич, 2014), а з розрахункових міркувань оцінюється пропорційним відношенням об'єму повітря V_n у повітросапропелевій суміші об'ємом V .

$$\varphi_n = V_n / V, \text{ м}^3 \quad (1)$$

Це важливо, для того щоб за рахунок зміни геометричних параметрів пристрою та режимних параметрів робочого процесу забезпечувати поршневу (снарядну, пробкову) (Хомич, 2014; Кононенко 2009), тобто максимально продуктивну, структуру руху висхідного потоку суміші з повітря та органічного сапропелю.

Для забезпечення високопродуктивного виду структури повітросапропелевої суміші необхідно дотримуватись параметрів відносного занурення, яке має забезпечуватись автоматичним зануренням пристрою та збільшення його висоти, за збільшення робочого тиску подачі повітря до робочого органу, згідно поглиблених умов розташування підводного родовища. Або ж автоматично зменшувати зону занурення пристрою і його довжину, якщо розміщення середнього шару сапропелю знаходиться на мінімальній відстані від водного дзеркала та зменшення робочого тиску подачі повітря до робочого органу, згідно прогнозованих умов розташування сапропелю. Тут варто враховувати і показники відхилення пристрою від горизонталі на кут не більше 10° . Для поршневого виду структури висхідного руху у піднімаючому трубопроводі показник відносного занурення повинен становити $0,4 < \alpha_s < 1,0$ та оцінюватись залежністю згідно (рис. 1):

$$\alpha_3 = \frac{H}{H+h} = \frac{h_6 + h_c + h_n}{h_3 + h_m + h_p}, \quad (2)$$

де h – геометрична висота розташування пристрою над поверхнею води, м;

H – глибина добування сапропелю, м;

h_3 – висота змішувача м;

h_m – довжина піднімального трубопроводу радіусом r , м;

h_p – висота розташування вивідного рукава над піднімальним трубопроводом, м;

h_6 – товщина водного дзеркала водойми, м;

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

h_n – товщина шару пелогену, м

H_Σ – габаритний розмір пристрою, м.

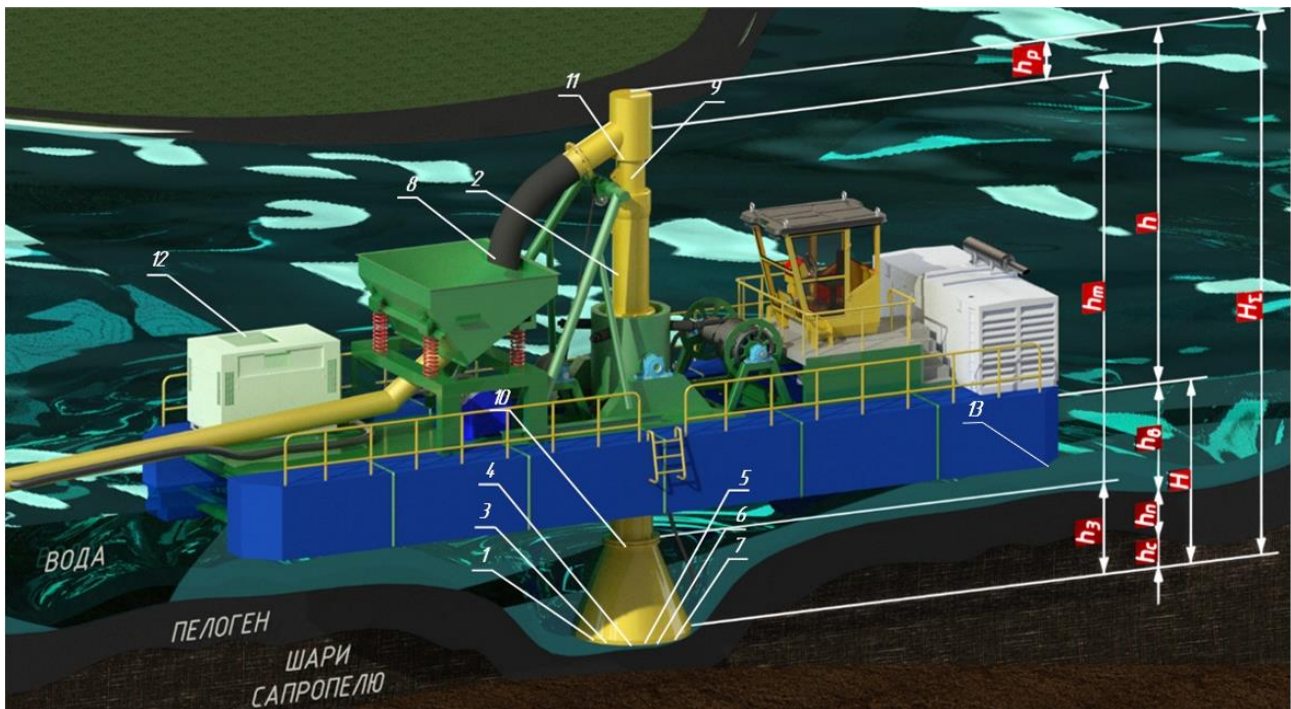


Рис. 1 – Схема ерліфтного засобу для добування сапропелю із зонами розміщення інформаційної апаратури: 1 – для втрат повітря у змішувачі, 2 – для зміни режиму руху у піднімальному трубопроводі, 3 – для глибини розробки, 4, 5, 6, 7, – для визначення в'язкості, щільності, липкості, вологості сапропелів, 8 – для визначення продуктивності, 9 – для відхилення від горизонту, 10, 11 – для визначення початкового та кінцевого повітрявмісту, 12 – для подачі стиснутого повітря, 13 – для сканування рельєфу дна

Однак, для забезпечення усталеного робочого процесу за рекомендованого повітрявмісту та відносного занурення слід враховувати і контролювати глибину розміщення покладів та сумарну геометричну висоту (довжину) добувального засобу, що описується залежністю (3). Оскільки глибина добування залежить від глибини розміщення середнього шару покладів, яка є нерівномірною.

$$h + H = h_3 + h_m + h_p = h + h_6 + h_c + h_n = H_\Sigma, \quad (3)$$

За рахунок непередбачуваних властивостей родовища, де поклади розміщені пошарово і мають неоднакову глибину залягання та товщину шару, слід прагнути до рівномірного видобування шарів покладів органічного сапропелю. Це в свою чергу призводить до корегування (збільшення та зменшення) глибини занурення засобу залежно від товщини шару. Справитись з такою проблемою без автоматизації робочого процесу та прогнозування режиму розробки досить складно, тому така проблема призводить до добування не якісної сапропелевої сировини.

Також важливу роль відіграє і спосіб переміщенні засобу (траншейний, воронковий, папільонажний, змішаний) тут розробку можна проводити за вертикально розміщеного засобу з максимальним відхилення від горизонту 10° . Збільшення кута нахилу викликає можливість виходу повітря із змішувача в середовище родовища та втрати функціонування пристрою.

Слід зазначити, що механічне керування ерліфтною системою може привести до неправильно підібраних параметрів робочого процесу машини та призвести до виходу її з ладу. Так наприклад за недостатнього повітрявмісту може утворитись явище «захливання» пристрою (Хомич, 2014), цей процес уособлює обвал покладів у піднімальному трубопроводі і втрату транспортування матеріалу. При збільшеному повітрявмісту є ризик виходу повітря за межі корпусу змішувача або ж утворенні іншого режиму руху за якого знизиться продуктивність. При розробці покладів за збільшених глибин необхідно враховувати збільшення повітрявмісту, а при розробці нерівномірних шарів постійно опускати та піднімати пристрій. Тому автоматизація ерліфтного засобу та процесу добування органічного сапропелю є досить своєчасною.

Так як, межі головних закономірних параметрів є досить великі, то для їх оптимального підбору необхідно автоматизувати робочі органи і автоматично регулювати технологічні параметри робочого процесу та за допомогою збору даних від кожного робочого вузла машини забезпечити добування якісної сировини за високопродуктивного робочого процесу. Також необхідно відштовхуватись від сталих вихідних даних конструкції забірної пристрою, наприклад діаметру піднімального трубопроводу, висоти змішувача, кількості робочих органів висоти зумпфу тощо. Збір даних повинен проводитись за допомогою встановлених датчиків та показників, а пульт керування повинен їх генерувати та давати потрібні завдання.

До апаратури, яка може здійснювати передачу даних та керувати сапропеледобувною машиною слід віднести, автоматичні запобіжники, манометри, приймачі, датчики завдань і сигналів, аналізатори, термометри, механізмами рівня (врівноваження), аерометри, навігатори, глибиноміри, контролери, регулятори, реле, показники тощо. Дані механізми можуть працювати в комплексі та мати спільні завдання.

Запропоновані пристрої та апаратура при взаємодії одна з одною формує автоматичну систему управління робочими процесом машини, і одночасно виконує функції прогнозування і діагностування, забезпечуючи безперервний робочий процес машини з передбаченням і попередженням перевантажень та поломок. Пропоновані зони розміщення апаратури та приймачів системи автоматизованого прогнозування, налаштування і управління зображені на (рис. 1).

Так наприклад для забезпечення оптимального робочого процесу, сигнали системи налаштування в робочому режимі та режимі пуску, попереджатимуть робочий процес про збільшення глибини добування, підвищення густини і щільності залягання сапропелів, зменшення або збільшення об'ємної маси, тощо. Сигнали та апаратура для виконавчого процесу передбачають та попереджають про навантаження на піднімальний трубопровід, допустимі норми відхилення пристрою від вертикалі, робочий тиск в системі.

З іншої сторони передані сигнали та завдання будуть автоматично переналаштовувати робочий процес на ефективні режими роботи. Такі процеси можна назвати попереджувально-діагностичними, через те що, апаратура передбачатиме ймовірні перевантаження машини, що призводять до несправностей, та автоматично ліквідуватиме їх переналаштувавшись на кращий робочий режим. Попередження будуть стосуватись, втрат повітря у змішувачі, узгодження відносного занурення, зміни повітрявмісту у змішувачі та піднімальному трубопроводі, зміну режиму руху у піднімальному трубопроводі, збільшенні чи зменшенні глибини розробки, зниження чи підвищення в'язкості, щільності, липкості, вологості сапропелів тощо, які в кінцевому результаті також будуть відображатись на продуктивності машини. Відповідно конструктивні параметри пристрою пов'язані з продуктивністю будуть мати стабільні значення та не піддаватись коригуванню.

Дані відповідних параметрів будуть прогнозувати кількість наробітку машини за зміну робочого часу, містити налаштувально-діагностичні процеси, обирати та регулювати ефективні параметри і режими роботи, запобігати зношенню і спрацюванню робочих і допоміжних органів. При цьому також відбуватиметься контроль добування якісного сировинного матеріалу для сільського господарства та забезпечуватимуться сприятливі фактори, які забезпечуватимуть мінімальні екологічні наслідки для природи.

В такому випадку для швидкого переналаштування, стабілізації чи прогнозування робочого процесу буде функціонувати програмно-технічний комплекс, який складається з блоків (рис. 2).

Задані та передбачувані вихідні параметри будуть спрямовувати команди та сигнали у відповідні блоки, які будуть передавати їх через апаратуру до кожного вузла (агрегату) і навпаки. Останні будуть отримувати наказ, виконувати поставлене завдання та генерувати нові передбачувані завдання чи стабілізувати процес.

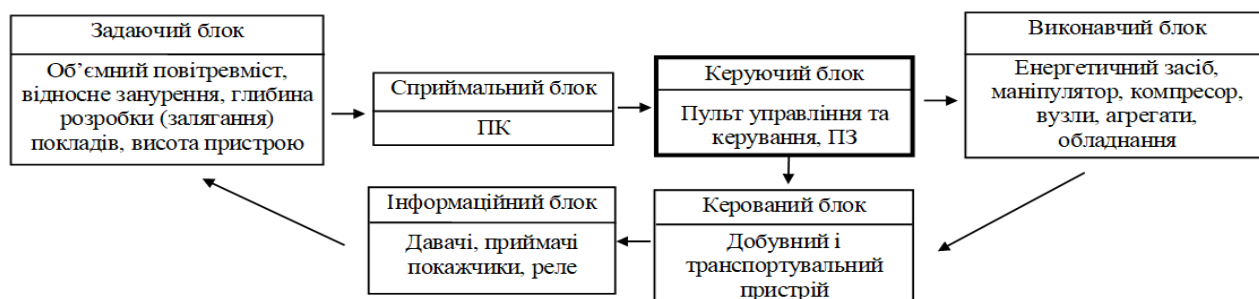


Рис. 2 – Структурна схема взаємодії блоків автоматичного прогнозування, налаштування і управління ерліфтними сапропеледобувними машинами

За запропонованою схемою буде функціонувати програмне забезпечення сформоване на основі багатокритеріальної оцінки та розрахункових конструктивно-технологічних параметрів робочого процесу добувної машини.

Відповідно інформаційні датчики будуть розміщуватись у робочих зонах та вузлах виконавчого і керованого блоку, передаватимуть завдання через задаючий блок до сприймального та інформуватимуть і встановлюватимуть оптимальні режим робочого процесу добувного засобу. За рахунок даного автоматизованого процесу відбуватиметься добування якісної сапропелевої сировини та унеможливлуватимуться поломки машини.

ВИСНОВКИ

На сьогодні застосування ерліфтних машин при добуванні органічного типу сапропелю, для сільського господарства являється високоефективним способом розробки родовищ. Вдосконалення таких машин спрямоване на розвиток автоматизованих процесів налаштування, управління, прогнозування. Представлений програмно-технічний комплекс покращить роботу машини та зменшить затрати часу на підготовчі процеси за рахунок швидкого налаштування та переналаштування робочого процесу розробки підводних родовищ сапропелів у непередбачуваних умовах їх залягання та розташування.

Дана система підвищить ефективність робочого процесу машини дозволить рівномірно розробляти шари покладів сапропелю і добувати якісну сировину з мінімальним впливом на порушення екосистеми водного об'єкта.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Хільчевський В.К. (2022) Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища // (Features of the hydrography of Europe: rivers, lakes, reservoirs) Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. № 4(66). DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.1>
2. Програма дій «Порядок денний на XXI століття» («AGENDA 21»): ухвалена конференцією ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-Жанейро (Саміт «Планета Земля» 1992 р.). Agenda for the 21st Century (AGENDA 21): adopted by the UN Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro (Earth Summit 1992). – Kyiv: Intelsfera, 2000. – 360 p.
3. Цизь, І.Є., Дідух, В.Ф., Голій, О.В., Хвесик, В.О., & Голій, В.О. (2023). Дослідження впливу сапропелю природної вологості на урожайність сої за екстремальної нестачі вологи (Study of the effect of natural humidity of sapropel on the growth of soybeans under extreme moisture shortage). Сільськогосподарські машини, 49, 22-30. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1013>

4. Мольчак Я.О. (1998) Деградація ґрунтів та шляхи підвищення їх родючості / М.М. Мельнічук, І.В. Андрощук, В.М. Заремба. Soil degradation and ways to increase their fertility – Настир'я. – С. 230.
5. Шевчук М.Й. (1996) Сапропелі України: Запаси, якість та перспективи використання / Sapropels of Ukraine: Reserves, quality and prospects for use / ААНУ, Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського. - Надтир'я, 1996. - 383 с
6. Хомич С.М. (2014) Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю Justification of the parameters of the intake device for sapropel extraction дис. ... к.т.н.: 05.05.11. Тернопіль. – С 190 с.
7. Хомич С.М. (2017) Технологічні основи пневматичного добування озерного сапропелю Technological basics of pneumatic extraction of lake sapropel / С.М. Хомич, І.С. Цизь, В.А. Павлік // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: Наук. журнал. - Вип. 1.(8) – Луцьк. С. 144-149.
8. Кононенко А.П. (2009) Експериментальні підтвердження впливу виду структури водоповітряного потоку на енергоємність ерліфта / Experimental confirmation of the influence of the type of water-air flow structure on the energy intensity of airlift // Вісник СДУ. Суми: -. – С. 34-42.
9. Електронний ресурс <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/19628-rezerv-deshevoi-orhaniky-sapropel.html>