

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Обґрунтування параметрів та дослідження
роторного плуга для роботи в умовах ерозійної
небезпеки**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Малегіна Анастасія Сергіївна

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище,
ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

Малегіній Анастасії Сергіївні _____.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та дослідження роторного плуга для роботи в умовах ерозійної небезпеки

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження 3. Програма і методика досліджень 3. Результати досліджень 4. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 5. Результати досліджень 6. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконала
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконала
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконала
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконала
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконала
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконала

Студентка

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Малегіна А.С. Обґрунтуванням параметрів та дослідження роторного плуга для роботи в умовах ерозійної небезпеки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У першому розділі представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

У другому розділі Обґрунтовано модель функціонування роторного плуга

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У четвертому розділі Виконано аналіз результатів математичного моделювання і польових досліджень

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці.

У шостому розділі приведено розрахунок техніко-економічних показників. Розроблена конструкція дозволяє знизити експлуатаційні витрати по зрівнянню з базовою.

Машинописного тексту____, малюнків____, таблиць____, містить джерел використаної літератури_____ і має графічної частини____ листів

Малегіна А.С. Огляд існуючих способів основного обробітку ґрунту
А.С Малегіна // The 4th International scientific and practical conference «Modern science: trends, challenges, solution» (13-15,2025), Liverpool, United Kingdom. 31-34 p.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Особливості прояву водної ерозії на схилових землях.....	10
1.2. Технології і засоби механізації захисту ґрунтів від ерозії на схилах..	11
1.3. Протиерозійні гідротехнічні споруди, технології і засоби механізації їх будівництва і експлуатації на схилових землях	13
Висновки.....	24
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУЮЧОГО АГРЕГАТУ	25
2.1. Обґрунтування типу транспортуючого робочого органу і технологіко-конструктивної схеми машини для будівництва протиерозійних валів на схилах.....	25
2.2. Кінематичні і динамічні дослідження руху ґрунту по поверхні лопатки.....	27
2.3. Проектування підкопуючого робочого органу	38
2.4. Проектування відрізного ножа.....	44
Висновки.....	50
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	51
3.1. Задачі і характеристики об'єктів експериментального дослідження.....	51
3.2. Методика і апаратура експериментального дослідження.....	52
3.3. Об'єм і умови проведення досліджень.....	56
Висновки.....	57
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ВИПРОБУВАНЬ	58
4.1. Енергоємність процесу транспортування ґрунту роторним плугом-метальником.....	58
4.2. Визначення дальності переміщення і розкидання ґрунту.....	60

Висновки.....	62
5. ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБІТ З РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛІВ НА СХИЛАХ.....	64
Висновки.....	68
6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	69
Висновки.....	72
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	73
БІБЛІОГРАФІЯ.....	76
ДОДАТКИ	81

ВСТУП

Одним з головних напрямків практичної роботи і наукових досліджень в напрямку раціонального природокористування є послідовне проведення робіт по підвищенню родючості земель, особливо за рахунок здійснення засобів по захисту ґрунтів від ерозії.

Значні втрати, що спричиняють ерозію ґрунтів, свідчать про неправильне використання земельних угідь, низькому рівні агротехніки. В результаті змиву і розмиву ґрунтів затоплюються водойми, міліють річки, забруднюється зрошувальна система. По даним досліджень і землекористування в Україні з 34 млн. га орних ґрунтів піддаються водній ерозії 83%, в тому числі змивання ґрунту становить 39,3%.

Кожен рік втрати ґрунту під дією змиву талих вод складають: з полів під паром -10... 475 т/га; з полів зайнятих кукурудзою і картоплею - 4... 464 т/га; з полів зайнятих зерновими культурами 3... 58 т/га при допустимому річному змиві ґрунту 3 т/га на сірих опідзолених і до 5 т/га на чорноземних ґрунтах. Все це говорить про те, що боротьба з водною ерозією є однією з головних задач культури землеробства.

Не дивлячись на широке застосування ґрунтозахисних прийомів і протиерозійної техніки, приріст еродованих земель досяг 3 млн. га. Це свідчить про неправильну практику проектування протиерозійних заходів, і про те, що поки надії які покладались на систему протиерозійних машин не виправдались.

Одна з основних вимог захисту ґрунту від ерозії зводиться до того, що на шляху водних потоків повинні бути будь які споруди, що зменшують енергетичний ресурс цих потоків.

За останній час на території України отримали широке розповсюдження протиерозійні вали-тераси які споруджують виймально-насіпними і насіпними способами, використовуючи при цьому грейдери, скрепери, бульдозери і т.п. і так як дана землерийна техніка не створювалась для виконання робіт по створенню валів-терас, то її використання на деяких технологічних операціях недостатньо ефективно.

В зв'язку з цим виникла необхідність у використанні, вдосконаленні технологічного процесу і розробці високопродуктивної землерийної машини безперервної дії з пошаровим різанням і поперечним переміщенням ґрунту.

В дійсний час на Україні широко пропагандують контурно-меліоративну систему землеробства, яка передбачає будівництво протиерозійних валів-терас і має високу еколого-економічну ефективність. Оскільки для спорудження валів-терас в теперішній час використовують землерийну техніку (бульдозери, скрепери, грейдери), а також плуги та інші машини, якими не вдається виконати високоякісну відсіпку і формування волого затримуючих валів з необхідними параметрами, то системою машин започатковується створення більш продуктивної спеціальної машини для насипки валів-террас. Це і підтверджує необхідність наукової розробки даної проблеми.

Об'єкт дослідження. Роторно-лопатева машина для виконання земляних протиерозійних робіт на схилах.

Мета. Покращення якості виконання земляних протиерозійних робіт і зниження питомих затрат енергії шляхом транспортування ґрунту роторно-лопатеvim плугом-метальником.

Задачі досліджень:

1. Обґрунтувати конструктивно-технологічну схему машини пошарового різання з транспортуючим агрегатом ґрунту роторного типу.
2. Визначити вплив геометричних і кінематичних параметрів машини на її технологічні показники.
3. Здійснити геометричне моделювання робочих поверхонь підкопуючого органу, транспортуючої лопаті, і поверхні ножа.
4. Експериментально підтвердити ефективність роботи засобів транспортування ґрунту.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Особливості прояву водної ерозії на схилових землях

Територія України включає в себе 42,56 млн. га сільськогосподарських угідь, в тому числі 34,36 млн. га орних ґрунтів, 1,16 млн. га сінокосів і 7,05 млн. га пасовищ. Таким чином, резерву земель для сільськогосподарського виробництва в країні практично немає, а за даними останніх досліджень на Україні нараховуються 9,28 млн. га еродованих земель.

Як відомо, змив і розмивання ґрунту відбуваються при наявності різниці у висотних відмітках місцевості.

На Україні сформувався рельєф висот: Волино-Подільської, Азово-придніпровської, Донецької, а також Українських Карпат і Кримських гір. Їх характеризує сильна розчленованість, глибокий вріз балочної мережі, природній поверхневий стік, наявність схилів значної крутизни.

Ґрунтовий покрив України спричиняє суттєвий вплив на розвиток ерозійних процесів.

Найбільшу ступінь еродованості мають чорноземи на важких глинах, чорноземи і дернові ґрунти. Так найбільше значення збільшення площі еродованих земель відбулося в областях, розташованих в цих районах – Донецькій, Дніпропетровській, Харківській та Волинській областях.

Одним з факторів, що чинять суттєвий вплив на розвиток ерозійних процесів, є клімат. Найбільшу роль грають зливові опади. На Україні у всіх фізико-географічних зонах добовий максимум опадів в період року змінюється від 150 до 199 мм, в гірських районах, а також на висотах (Волинської, Подільської, Донецької і Приазовської) – до 200 мм і більше, що пов'язано із збільшенням турбулентності вологих мас в умовах розчленованого рельєфу. Випадіння підвищеної (більше 70 мм) кількості опадів в період доби має негативні для народного господарства наслідки – затоплення територій, розмив ґрунтів сільськогосподарських угідь і т.п.

Суттєвий вплив на розвиток ерозійних процесів спричиняє добова зміна температури в період весняного танення снігу, а для ранньої весни на території України характерна нестійка погода: буває різке похолодання, що обумовлене вторгненням холодних повітряних мас, до травня спостерігаються заморозки, іноді випадає сніг. Сильні вітри (особливо в Степовій зоні) сприяють формуванню нерівномірного снігового покриву. При таненні концентруються значні потоки води, які сильно змивають і розмивають ґрунт на підвітряних схилах. Крім того, сходження снігу з полів закінчується на 15..20 днів раніше повного відтавання ґрунту (тобто в період її низької інфільтраційної спроможності), що сприяє розвитку ерозійних процесів.

Ці та інші данні свідчать про те, що сукупність факторів кліматичних і ґрунтових умов, а також рельєф сприяють розвитку водної ерозії в багатьох її районах, і є основою для розробки технологій і засобів механізації захисту ґрунтів від ерозії на схилах.

1.2 Технології і засоби механізації захисту ґрунтів від ерозії на схилах

Найбільш доступними і швидкоокупними є агротехнічні заходи, які діляться на три групи:

- 1) створення водо затримуючих ємностей;
- 2) збільшення водопроникності ґрунту;
- 3) підвищення ерозійної стійкості поверхні ґрунту.

Заходи першої групи передбачають утворення різних місткостей, що заповнюються водою. Однак такі заходи є малоефективними і сприяють зменшенню інфільтраційної здатності ґрунтів і зменшення потужності рихлого шару ґрунту на дні ємностей, а також із-за мікроерозії бортів.

Одним з важливих заходів по регулюванню поверхневого стоку, що відноситься до другої групи є глибока оранка впоперек схилу. Найбільший

вплив на питоме скорочення стоку дає глибина оранки в діапазоні 22-33 см, а при подальшому її збільшенні темп скорочення стоку стає менше.

Аналогічний вплив на регулювання поверхневого стоку дає оранка з ґрунтозаглибленням.

Напрямок оранки також грає значну роль в зменшенні стоку. Оранка впоперек схилу зменшує стік води на 5-6 мм і зменшує змив ґрунту в 1,5-2 рази.

Одним з перспективних заходів боротьби із стоком води і змивом є щілювання. Щілювання можливо проводити як після збирання так і по посівах озимих і пропасних культур і багаторічних трав, а також на природних кормових ділянках. Для здійснення цих заходів найкращим вважається щілиноріз ЩП-3-70. Він має прикочуючі котки, які виключають глибо утворення вздовж щілин, а також змінні робочі органи.

До третьої групи агротехнічних заходів відносяться прийоми, що підвищують ерозійну стійкість поверхні ґрунту. На території Степової зони, найбільше розповсюдження отримує такий захід, як безполицева обробка ґрунту. При плоскорізній обробці сніг краще затримується і рівномірно розподіляється на поверхні поля в порівнянні з полиневою оранкою. В результаті ґрунт менше промерзає, що сприяє її зволоженню до 70 см, а це на 20-25 більше, ніж при полицевій оранці. До того ж, при плоскорізній обробці на поверхні ґрунту зберігається від 60 до 90% стерні, що знижує ерозійну силу дощу і змив ґрунту знижується в 2,5 рази.

Для глибокої безполицевої оранки застосовують плоскорізи глибокорозпушувачі КПГ-250, КПГ-2-150, ПГ-3-100, ПГ-3-5, а на ущільненому ґрунті крім знарядь чизельного типу можливе використання робочих органів ПРН-3100, що встановлені на рамі плуга. Для обробки особливо ущільнених і важких ґрунтів рекомендують використовувати агрегат з активними робочими органами фрезерного типу АКР-3,6.

Аналіз приведених і вихідних результатів показує, що досягнення повного ефекту від застосування протиерозійних заходів при комплексному їх

використанні. В тому випадку, якщо протиерозійна організація території разом з протиерозійними агротехнічними, лісо-, лукомеліоративними заходами не можливо зупинити водну ерозію ґрунтів, то їх доповнюють гідротехнічними спорудами.

1.3. Протиерозійні гідротехнічні споруди, технології і засоби механізації їх будівництва і експлуатації на схилових землях

В умовах надлишкового зволоження на схилах крутизною більше 3° затримати поверхнєве стікання води (особливо в багатоводні роки без простих гідротехнічних споруд неможливо, що дає змогу вважати гідротехнічні споруди важливою складовою протиерозійного комплексу заходів).

По характеру взаємодії з поверхневим стоком гідротехнічні споруди можуть бути:

- водозатримуючими;
- водонаправляючими;
- водовідвідними;
- донними.

Сільськогосподарські угіддя диференціюють по групах використання, що є найважливішим елементом проектування при контурно-меліоративній організації території.

Підрозділяють сільськогосподарські угіддя на три групи:

- 1) нееродовані і слабо еродовані орні землі на схилах до 3° ;
- 2) середньозмиті, слабо- і сильно змиті з нахилом $3-7^\circ$;
- 3) схили крутизною більше 7° .

На орних ґрунтах, що відносяться до першої групи, створюють вали-тераси з пологими відкосами, що обробляються, а на межі між першою і другою групами – вали-дороги з задернілими нижніми відкосами. На землях, що відносяться до другої групи, створюють вали-тераси з крутими задернілими відкосами, а на ділянках з нахилом більше 7° - ступінчасті тераси.

Оскільки до першої групи земель відносяться орні ґрунти, то на них влаштовують вали тераси із схилами, що обробляють. В залежності від забезпеченості рослин вологою вони можуть бути контурні (смугове затримання вод поверхневого стоку) і нахиленими (відведення стоку в гідрографічну мережу).

Створюють такі вали-тераси за допомогою плугів загального призначення з заорюванням вала з верхньої і нижньої сторін. Ширина обробленої смуги в кожную сторону від осі вала складає 15 м.

При крутизні нахилу більше 3° (друга група земель) вал-терасу наорюють в основному з верхньої сторони. Для формування крутого відкосу роблять 5-6 проходів плугом взвал, а потім обробляють з одної сторони з оборотом пласта вниз по схилу. При цьому з'являється холостий прохід агрегату, який використовують для ущільнення тіла вала рушіями трактора.

Оскільки терасування проводиться з холостими заїздами агрегату, затрати часу на власне терасування зменшуються.

Дослідниками УкрНІИ механізації і електрифікації сільського господарства запропоноване спорудження валів-терас, котре передбачає поряд з плугом використання бульдозерів, скреперів, грейдерів, екскаваторів.

Однак, за даними ИМЕСХ УААН, використання такої землерийної техніки на яких технологічні операції будівництва валів-терас не достатньо ефективно. Так, наприклад, для виконання такої операції, як зняття родючого шару ґрунту із смуги об'ємом 3000 м^3 бульдозером Д-493 А при експлуатаційній надійності $40 \text{ м}^3/\text{год}$. потрібно 10,7 машино змін. До недоліків використання бульдозера при виконанні даної технологічної операції слід віднести те, що зворотній рух бульдозер виконує вхолосту, а багатократні проходи його насипної смуги ущільнюють і деформують ґрунт.

Оскільки дана землерийна техніка не створювалась для виконання робіт по створенню валів-терас на схилах, а такі технологічні операції, як зняття родючого шару займає значний її об'єм, то виникає потреба у

високопродуктивній землерийній машині безперервної дії з пошаровим різанням і поперечним переміщенням ґрунту.

Застосування металників дозволяє підвищити експлуатаційні якості землерийних машин за рахунок скорочення габаритних розмірів і маси транспортуючих агрегатів, а також ліквідувати розрив між продуктивністю ріжучих і транспортуючих органів, що створює умови для створення невеликої за розмірами, високопродуктивної і маневреної машини, яка в порівнянні з землерийними машинами, обладнаними іншими транспортуючими органами, найбільше підходить для роботи на схилах.

Нижче наведемо класифікацію основних типів металників:

Стрічкові

- з прямолінійною стрічкою;
- з увігнутою стрічкою.

Роторно-лопатеві

- лопатеві барабани;
- з лопатями на валу ротора.

Дискові (горизонтальні)

- гладкі;
- з радіальними ребрами;
- конусні.

Металник з гладкою прямолінійною стрічкою являє собою стрічковий транспортер довжиною близько 1,5 м. За рахунок слабкого зчеплення матеріалу з швидкорухомою короткою стрічкою, ці металники не забезпечують необхідних швидкостей метання, що викликає розсіювання матеріалу. Тому металники цього типу не можуть бути рекомендовані в якості транспортуючих органів землерийних машин.

Для пришвидшення розгону матеріалу на стрічці і отримання ущільненого струменя в стрічкових металниках додатково до основної робочої стрічки встановити ще одну стрічку, яка притискає матеріал до основної ведучої стрічки. Схема такої конструкції приведена на рис.1.1.

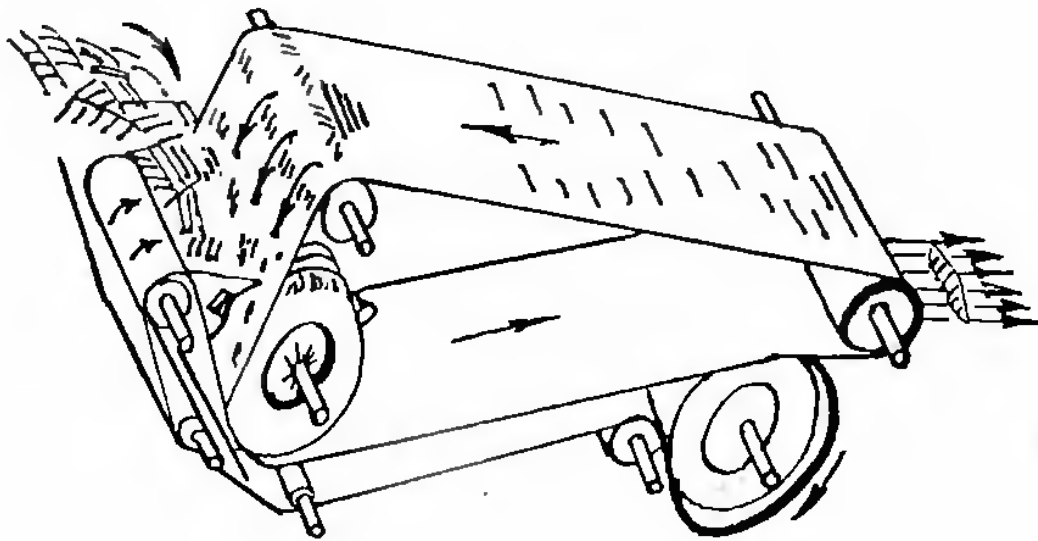


Рисунок 1.1 - Метальник з притискною стрічкою

Принцип дії метальника з притискною стрічкою складається з наступного: матеріал захоплюється одночасно двома рухомими стрічками; стрічки надають матеріалу швидкість, викидають його з метальника направленою стрічкою. Дальність і висота метання легко регулюється.

Одним з недоліків метальника з притискною стрічкою є обмежена пропускна здатність. При потраплянні твердих включень ґрунту або каменя, величина яких більше зазору між стрічками. Можливе заклинювання і псування стрічок, що знижує надійність машини.

Таким чином, для високопродуктивних землерийних машин постійного різання, що працюють на розробці ґрунтів з можливими включеннями каменів, ці машини не використовують.

Самим поширеним типом стрічкових метальників є метальники з увігнутою стрічкою. Схема такого метальника приведена на рис. 1.2.

В роботі вказується на те, що такі метальники при порівняно малих розмірах і масі здійснюють викидання ґрунту з великою швидкістю (15-20 м/с). При цьому струмінь матеріалу на виході з метальника є нерозривним, а

частки мають однакову швидкість за величиною і напрямком, що забезпечує прицільне метання ґрунту на відстань до 30-40 м.

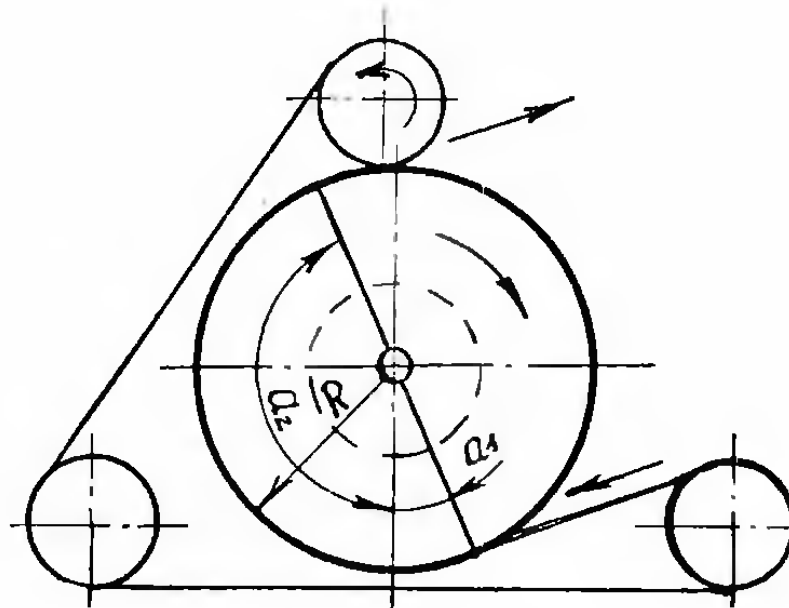


Рисунок 1.2 - Схема металника з увігнутою стрічкою

Однак такий тип металників конструктивно складно наблизити до режиму робочого органу і для забезпечення роботи здатності необхідно між ріжучим і транспортуючим робочими органами встановлювати спеціальні живильні пристрої, що значно ускладнює конструкцію машин, збільшує її габарити, знижує надійність.

З метою усунення цього недоліку була розроблена конструктивно-технологічна схема металника, що поєднує в собі рухомий стрічковий кожух з лопатевим барабаном (рис.1.3).

Робочий орган виконано у вигляді барабана, що складається з диска і кільця, що з'єднанні по твірній лопатями які направлені всередину, а нижню частину кожуха огинає металевий нерухомий кожух, який спряжений з підкопуючи-транспортуючим робочим органом.

Ґрунт підрізується ножем, подається в порожнину барабана і під дією власної маси і відцентрової сили притискається до нерухомого кожуха, а потім переходить на рухому стрічку.

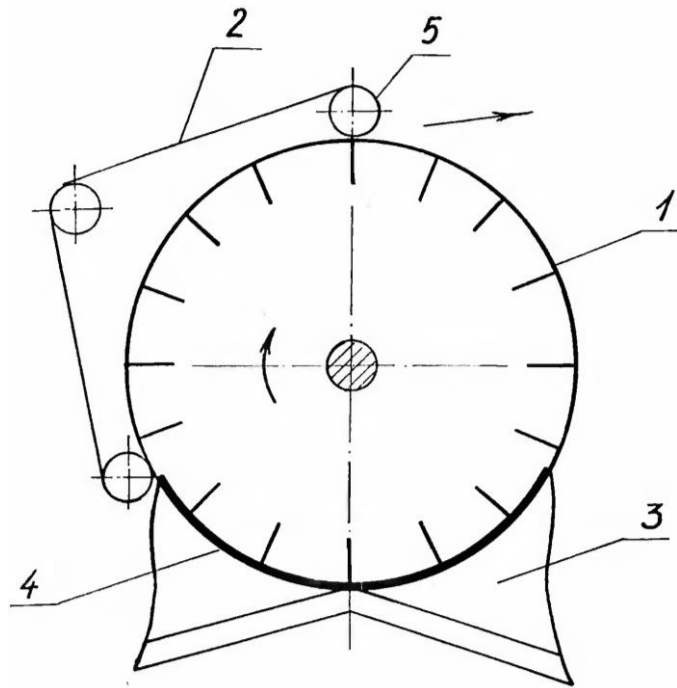


Рисунок 1.3 - Лопатевий роторний металеньник з рухомим стрічковим кожухом

Рухаючись разом зі стрічкою, ґрунт по досягненні кінцевого ролика, викидається з ротора. Кінцевий ролик може бути встановлений в різні положення, забезпечуючи задану дальність і висоту метання.

В ході експериментальних досліджень, крім зниження енергоємності, був отриманий компактний потік ґрунту. Однак, враховуючи те, що ґрунт подавався в осьовому напрямку, відбувалося потрапляння її між стрічкою і нижнім роликом, а також під напором ґрунту, стрічка зсувалася з нижнього ролика, що тягло за собою зупинку агрегату і пошкодження стрічки.

До того ж конструктивне виконання такого типу металеньників може бути тільки з верхнім викиданням, що значно знижує експлуатаційні якості машини.

Одним з факторів, що забезпечують незначне застосування роторних металеньників в якості транспортуючих органів землерийних машин є розсіювання ґрунту.

З метою усунення цих недоліків В.П. Трянин запропонував конструкцію

метальника (рис.1.4), що обладнаний обичайкою параболічної форми, розмикач, а кожен механізм примусового розвантаження виконаний із зв'язаної з одним кінцем гнучкого полотна стопорної пластини і пружини, яка закріплена на спиці, а радіальні спиці виконані телескопічними, при цьому рухома частина має стопорний важіль для взаємодії зі стопорною пластиною.

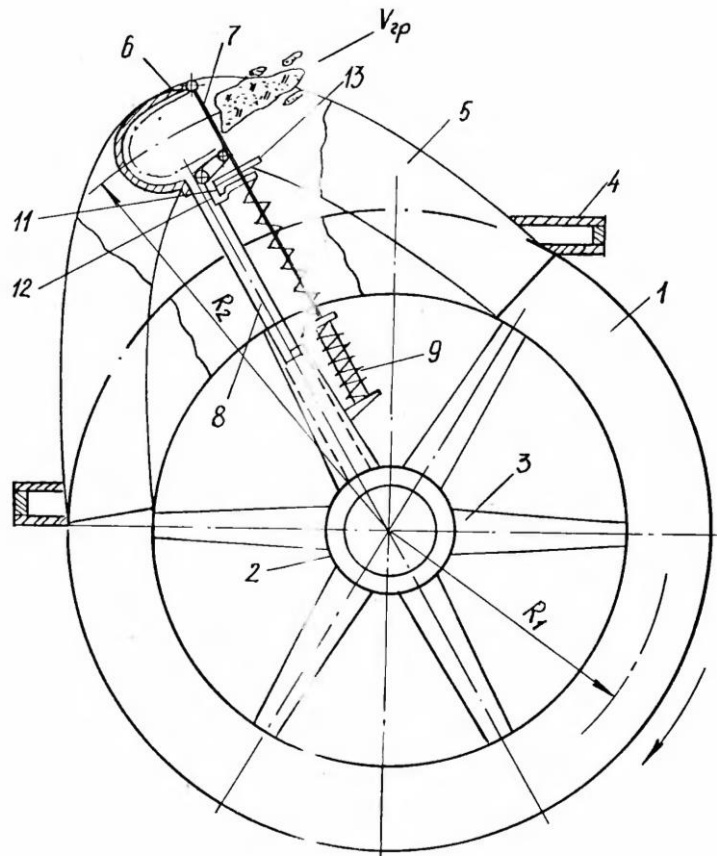


Рисунок 1.4 - Метальник з обичайкою параболічної форми

1 – кільце; 2 – маточина; 3 – спиці; 4 – рама; 5 – обичайка; 6 – транспортуючі елементи; 7 – гнучке полотно; 8 – телескопічний важіль; 9 – пружина; 10 – стопорна пластина; 11 – стопорний важіль; 12 – пружина; 13 – розмикач.

В процесі роботи ґрунт захоплюється транспортуючим елементом 6, притискаючи гнучке полотно 7 до його стінки. В зоні завантаження важіль 8 схований в середину спиці 3, стопорний важіль 11 знаходиться в зачепленні з пластиною 10. Ґрунт транспортується в зоні розвантаження по колу радіусом R . Після розгону ґрунту до кола ротора важіль 8 починає переміщуватись

в радіальному напрямку, розтягуючи пружину 9. В зоні викидання, коли важіль 8 висунутий до кінця, розмикач 13 ковзає по стопорному важелю 11, який звільняє пружину 10, а гнучке полотно 7 за рахунок сил інерції укладається в транспортний елемент 6 і цикл повторюється.

Конструкція такого ротора була розроблена, однак, із-за складності виготовлення і низької надійності в роботі, особливо на ґрунтах з каменистими включеннями, широкого розповсюдження в землерийних машинах не знайшла.

Показники роботи роторних металників з значній мірі залежать від параметрів форми і положення розвантажувальної лопатки.

Приведені результати дослідження різних форм розвантажувальних лопаток (рис. 1.5), в ході яких встановлено, що найкращі результати по компактності і дальності польоту ґрунту дають лопаті, що відхилені в сторону обертання (рис. 1.5, б).

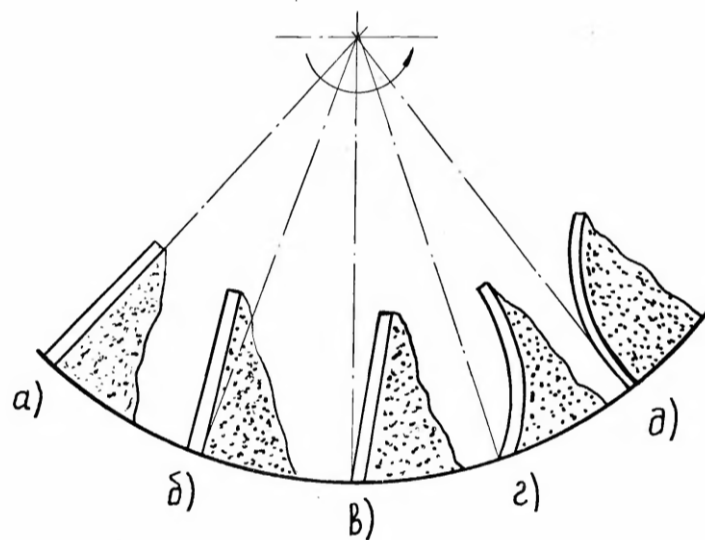


Рисунок 1.5 - Різні форми перетину лопатей

Лопаті з криволінійним профілем, зображені на рис 1.5, (г і д), не дали очікуваних результатів. Так, наприклад, при формі лопаті типу (г) порція ґрунту в момент вильоту мала однаковий напрямок швидкості. Однак, величина швидкостей часток була різною і ця відмінність досягала значної

величини, враховуючи це при польоті такої порції ґрунту мало місце розшарування.

С.Г. Фарковим запропонований роторний металник ґрунту, кожна лопать якого виконана з пластини, що має форму сектора круга з отвором в центральному куті і симетрично розташованими на периферійній частині криволінійними вирізами (рис. 1.6).

До недоліків такої форми лопатки можна віднести те, що дана форма не забезпечує оптимальної відносної швидкості руху ґрунту, так як прямолінійна ділянка відхилена в сторону обертання ротора, а її криволінійний кінець, спряжений з прямолінійним, викликає різку зміну напрямку руху і втрату відносної швидкості, чим збільшується час розвантаження лопаті, а, відповідно, знижується прицільність металника ґрунту.

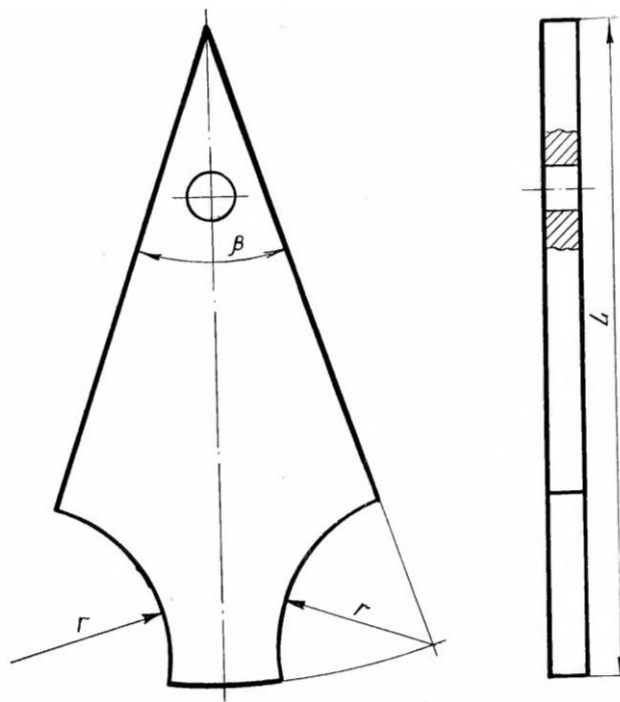


Рисунок 1.6 - Лопать роторного металника ґрунту

Підкопуючі робочі органи повинні забезпечити крім зрізання ґрунту його переміщення по поверхні підйому і подачу до металника, що потребує обґрунтування його робочої поверхні.

В ході досліджень встановлено, що плоский ніж погано врізувався в щільний ґрунт, а також мало місце значне зміщення ґрунту в бокові валики.

У циліндричного ножа при куті різання вище 25° збільшувався опір ґрунту перемішуванню, пов'язане з боковим затисканням ґрунтового потоку. При цьому більшому затисканню піддавались нижні шари потоку, що обумовлюється властивостями самої циліндричної поверхні, яка встановлена під кутом до напрямку руху.

Якщо замість циліндричної поверхні застосувати конічну (рис. 1.7), то ефективність ножа значно збільшиться.

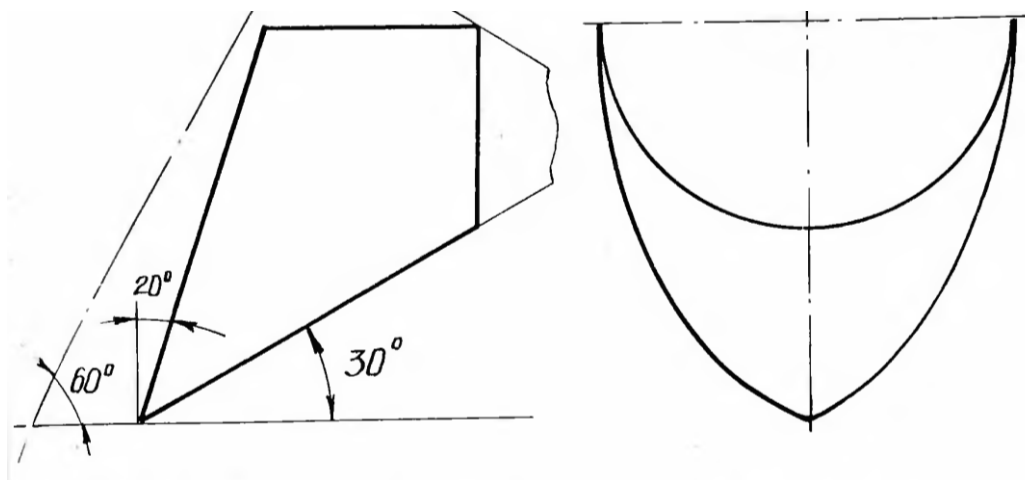


Рисунок 1.7 - Робочий орган совкового типу з конічною поверхнею підйому для грейдера Д-437А

В цьому випадку поперечний стиск ґрунтового потоку різко зменшується, що говорить про переваги застосування в якості транспортуючої поверхні конічної, а не циліндричної. Мінімальне значення умовного опору копання таким робочим органом менше, ніж плоским приблизно в 1,6 рази при висоті підйому 0,4 м і в 2,2 рази при висоті підйому 0,3 м.

Авторами Н.Н. Нагорним, Н.Г. Нечитайло розроблений підкопуючий робочий орган у вигляді одноосьової лінійної поверхні, вісь якої співпадає зі спинкою лемеша, при цьому задній обріз направляючих виконаний по кривій дузі кола (рис. 1.8).

Такий робочий орган достатньо добре поєднується з роторним металником і після зрізання ґрунту залишає рівну поверхню поля.

З метою ефективного заповнення між лопатевого простору, а також ж метою виключення його забивання в ГСКТБ ПО «Одессапочвомаш», при розробці металника СМ-500 були застосовані відрізнi ножі, закріплені на валу ротора.

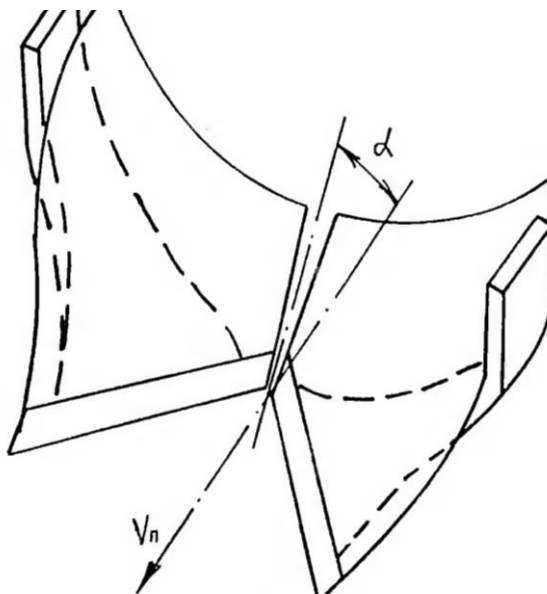


Рисунок 1.8 - Робочий орган, виконаний у вигляді одноосьової лінійної поверхні

Під час досліджень встановлено, що відрізнi ножі працювали недостатньо ефективно. Причина незадовільної роботи заключалась в тому, що ріжучі кромки ножів і кути встановлення до лінії різання були необґрунтовані, а також бокові поверхні були виконані у вигляді площин, що знижувало їх транспортуючі властивості. В результаті чого відбувалося зминання ґрунту цими площинами супроводжувалося удару, що в значній мірі збільшувало динамічні навантаження на машину, а також підвищувало енергоємність процесу різання.

На сучасному етапі впровадження ґрунтозахисної контурно-меліоративної системи землеробства і враховуючи швидкий розвиток

ерозійних процесів необхідно здійснювати будівництво протиерозійних гідротехнічних споруд в максимально стислі строки і з високою якістю виконання технологічних операцій. Враховуючи особливості виконання технологічних операцій будівництва протиерозійних валів-терас на схилах, а також техніку, що при цьому використовується, необхідно розробити високопродуктивну землерийну машину, що відповідає агротехнічним вимогам.

Висновки

В дійсний час на Україні широко пропагандують контурно-меліоративну систему землеробства, яка передбачає будівництво протиерозійних валів-терас і має високу еколого-економічну ефективність. Оскільки для спорудження валів-терас в теперішній час використовують землерийну техніку (бульдозери, скрепери, грейдери), а також плуги та інші машини, якими не вдається виконати високоякісну відсипку і формування волого затримуючих валів з необхідними параметрами, то системою машин започатковується створення більш продуктивної спеціальної машини для насипки валів-террас. Це і підтверджує необхідність наукової розробки даної проблеми.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУЮЧОГО АГРЕГАТУ

2.1. Обґрунтування типу транспортуючого робочого органу і технологічно-конструктивної схеми машини для будівництва протиерозійних валів на схилах

В результаті співставлення техніко-економічних показників деяких типів землерийних машин, обладнаних різними транспортуючими робочими органами з вихідними даними до обґрунтування конструктивно-технологічної схеми для насипки валів-терас, було встановлено, що умовам продуктивності і дальності транспортування ґрунту найбільш повно відповідають землерийні машини з транспортуючим робочим органом, що виконаний у вигляді механічного метальника.

З класифікації метальників, видно, що землерийні машини можуть бути обладнані метальниками двох типів:

- стрічковими;
- роторно-лопатевими.

Оскільки, як відмічалось вище, найбільш розповсюдженим типом стрічкових метальників є метальники, що поєднують в собі рухомий стрічковий кожух з лопатевим барабаном, такий тип метальників підлягає подальшій оцінці.

Роторно-лопатеві метальники з нерухомим, металевим кожухом може бути виконаний у вигляді лопатевих барабанів з лопатями на валу ротора, і також підлягає подальшій оцінці.

Оцінку того чи іншого механічного метальника приведемо за критеріями:

1. Високою продуктивністю і можливістю конструкції виключити холості проходи агрегату;

2. Можливість реалізації в конструкції ефективного з'єднання подаючого і транспортуючого робочих органів;
3. Надійності і безперервності технологічного процесу транспортування ґрунту;
4. Забезпечення мінімальної питомої енергоємності процесу транспортування ґрунту;
5. Забезпечення потрібного розподілення ґрунту, що переміщується.

На основі раніше розроблених агротехнічних вимог і з врахуванням висновків, була розроблена конструктивно-технологічна схема навісної роторно-лопатевої машини для насипки протиерозійних валів-терас на схилах (рис. 2.1).

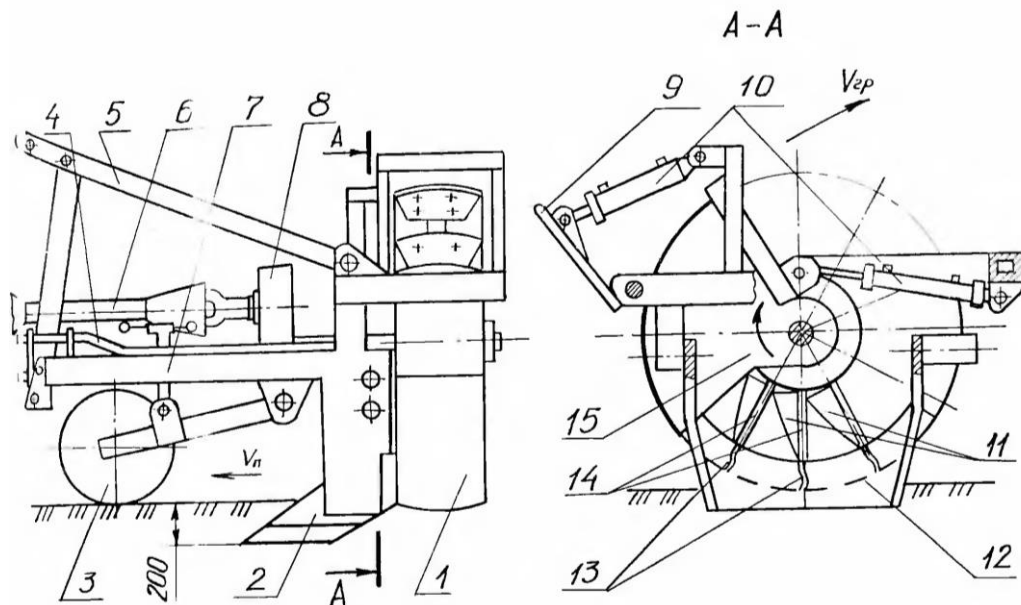


Рисунок 2.1 - Конструктивно-технологічна схема експериментальної роторно-лопатевої машини для насипки валів-терас: 1 – ротор; 2 – підкопуючий робочий орган; 3 – опорний каток; 4 – гідросистема; 5 – навіска; 6 – карданна передача; 7 – рама; 8 – редуктор; 9 – направляючий щит; 10 – гідроциліндри; 11 – відрізнi ножі; 12 – днище; 13 – розвантажувальні лопаті; 14 – важелі; 15 – рухомий кожух.

Однак, як відмічалось раніше, в роботах, якість виконуваних робіт роторно-лопатеvim металником в значній мірі залежить від форми і

положення розвантажувальної лопатки, відрізних ножів і режиму роботи агрегату.

2.2. Кінематичні і динамічні дослідження руху ґрунту по поверхні лопатки

Дослідженнями встановлено, що основною причиною розсіювання ґрунту при роботі метальника є нерівномірність потоку ґрунту при виході з метальника.

З аеродинаміки відомо, що на коефіцієнт опору повітря впливає відстань між тілами, що рухаються один за одним в повітряному середовищі. Якщо ця відстань менша п'ятикратного лінійного розміру часток, то опір повітря їх польоту близький до опору суцільного струменя, що є першою умовою оптимальної дискретності порції ґрунту, що транспортується. Вона забезпечується вибором відстані між лопатками ротора із збереженням нерівності:

$$\frac{\pi D_H}{5_z} < h_{zp} \quad (2.1)$$

де D_H - зовнішній діаметр ротора, м;

z - число лопатей, шт.;

h_{zp} - лінійний розмір порції ґрунту на лопаті.

Другим фактором, що впливає на розсіювання ґрунту, є різниця у величині швидкостей шарів ґрунту на виході з метальника, а також різні напрямки швидкостей руху цих шарів.

Таким чином важливе місце в технологічній схемі метальника займає транспортуючий робочий орган (розвантажувальна лопатка), від функціонування якої залежить продуктивність машини, енергоємність технологічного процесу і якість виконуваних робіт.

В зв'язку з цим необхідно обґрунтувати геометричні параметри лопатки, які забезпечать безперервний і щільний потік ґрунту, що

транспортується, для чого розглянемо рух ґрунту під час розвантаження лопатей роторного металника. Процес розвантаження ускладнюється тим, що ґрунт відрізняється фізико-механічними властивостями і при теоретичному аналізі процесу розвантаження будемо вважати, що транспортуємо порція - пісок з вмістом «фізичної глини» менше 5%, що відповідає ґрунтам степової зони.

Розглянемо особливості розвантаження радіальної лопатки.

При підході порції ґрунту до розвантажувального вікна умови сходу його часток відрізняються і порція ґрунту, що транспортується однією лопаткою може бути умовно розділена на три зони (2.2).

В першій зоні (рис. 2.2,а) частки ґрунту, що знаходяться в безпосередній близькості до кожуха ротора, при сходженні мають тангенційну швидкість V_e обертання ротора і незначну радіальну швидкість V_r , що обумовлена наявністю утримуючих сил внутрішнього тертя.

Абсолютна швидкість цих часток буде визначати верхню межу траєкторії польоту часток.

Частки другої зони (рис. 2.2,б) сходять так же, перевищуючи силу внутрішнього тертя, але проходять більший шлях, набуваючи більшу відносну швидкість при тій же тангенційній швидкості.

Основна маса порції ґрунту утворює третю зону (рис. 2.2,в) в якій частки ґрунту сходять з лопаті, перевищуючи менше сили внутрішнього тертя, тому відносна швидкість часток цієї зони буде більше, чим швидкість часток першої і другої зон. Абсолютна швидкість часток третьої зони буде визначати нижню межу траєкторії польоту ґрунту.

З рис 2.2, г, випливає, що абсолютні швидкості часток всіх трьох зон мають різну величину і напрямки утворюючи, тим самим, віялоподібний струміль, в результаті чого ґрунт розсіюється широкою смугою.

Подальший аналіз процесу розвантаження дозволяє зробити висновок про те, що характер сходу часток ґрунту 1 і 2 зони форма лопаті не впливає, а на умову сходження часток 3 зони форма лопаті спричиняє суттєвий вплив.

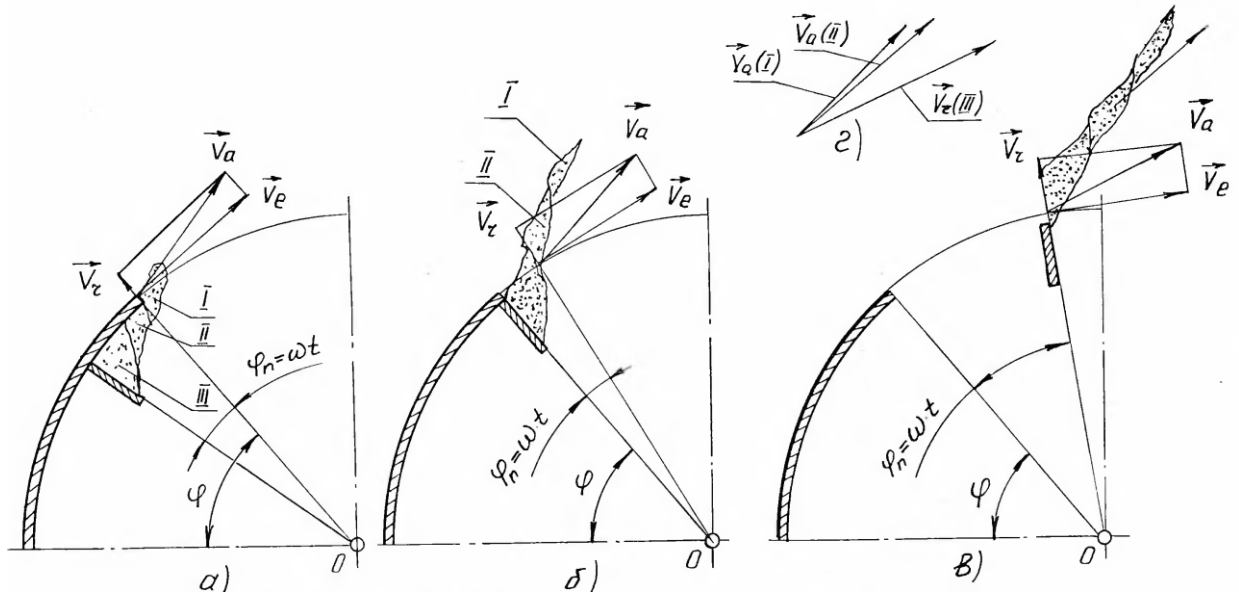


Рисунок 2.2 - Процес розвантаження радіальної лопаті металенька

Рух частки по лопатці ротора з урахуванням діючих неї сил може бути представлено у вигляді диференційного рівняння:

$$m\xi'' = m\omega^2\xi + mg \sin \alpha - F_{TP} \quad (2.2)$$

або

$$\xi'' + 2\mu\omega\xi' - \omega^2\xi = g \sin \alpha - \mu g \cos \varphi$$

Отримали канонічний вираз лінійного неоднорідного диференційного рівняння другого порядку з постійним коефіцієнтами.

Його розв'язок:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2$$

де ξ_1 - розв'язок однорідного рівняння

$$\xi_1'' + 2\mu\omega\xi_1' - \omega^2\xi_1 = 0 \quad (2.3)$$

$$\xi_1 = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}$$

ξ_2 - розв'язок неоднорідного рівняння

$$\xi_2 = A + B \sin \varphi + C \cos \varphi$$

де $\varphi = \omega t + \varphi_0$

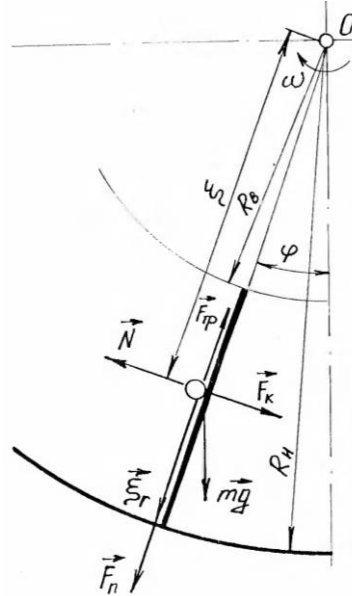


Рисунок 2.3 - Взаємодія часток ґрунту з радіальною лопаттю.

$$\xi = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{q}{2\omega^2} \sin \varphi \quad (2.4)$$

З рівняння знаходимо відносну швидкість

$$\xi' = C_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} - \frac{q}{2\omega} \cos \varphi$$

Постійні інтегрування C_1 і C_2 визначимо за початковими умовами:

$$t = 0, \xi_0, \xi' = 0, \varphi = \varphi_0,$$

$$\xi_0 = C_1 + C_2 - \frac{q}{2\omega^2} \sin \varphi_0,$$

$$0 = C_1 \lambda_1 + C_2 \lambda_2 - \frac{q}{2\omega} \cos \varphi_0,$$

$$C_2 = \xi_0 + \frac{q}{2\omega^2} \sin \varphi_0 - C_1,$$

Рівняння 2.3...2.5. повністю визначають кінематичні характеристики руху часток вздовж радіальної лопаті ротора.

$$\begin{cases} C_1 = \frac{1}{\lambda - \lambda_2} \left[\frac{q}{2\omega} \left(\cos \varphi_0 - \frac{\lambda_2}{\omega} \sin \varphi_0 \right) - \lambda_2 \xi_0 \right] \\ C_2 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left[\frac{q}{2\omega} \left(\cos \varphi_0 - \frac{\lambda_1}{\omega} \sin \varphi_0 \right) - \lambda_1 \xi_0 \right] \end{cases} \quad (2.5)$$

За результатами розрахунків ξ і ξ' , без врахування сили тяжіння, побудована номограма (рис. 2.4.) для визначення: відносної швидкості ξ' , кута повороту φ_n і довжини шляху ξ для металників з ротором $R_H = 632$ мм, $r = 562$ мм і різною кутовою швидкістю ω при середньому значенні коефіцієнта тертя ($\mu = 0,5$).

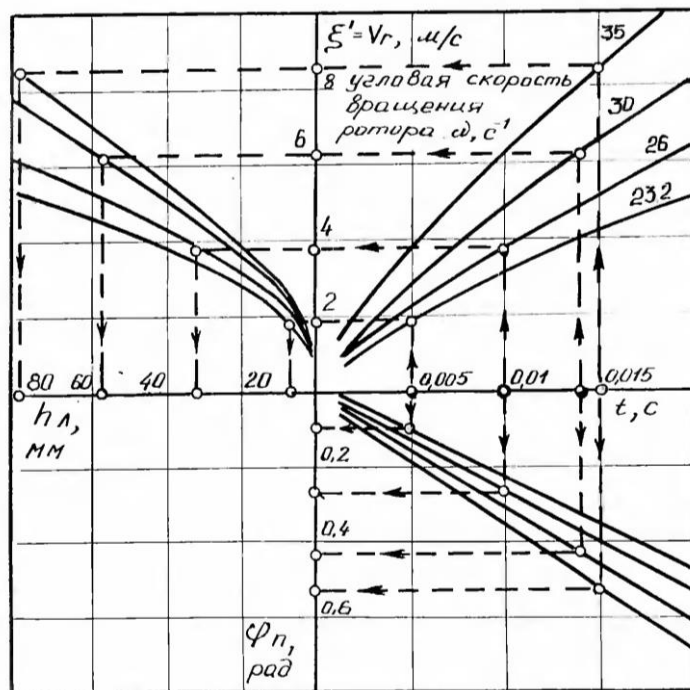


Рисунок 2.4. Номограма для визначення відносної швидкості ξ' , кута повороту ротора φ_n і довжини шляху ξ за час руху частки по радіальній лопаті для заданих кутових швидкостей (при $h = 80$ мм).

Для оцінки впливу коефіцієнта тертя μ на рух ґрунту вздовж лопаті на кут розвантаження металника отримані значення відносної швидкості ξ' і кута повороту φ_n для коефіцієнтів тертя 0,3...1,2. Результати розрахунків зведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунків відносних ξ' , абсолютних V_a швидкостей і кутів розвантаження φ_n для радіальної лопаті

R_H, r_0 мм	μ	ξ' , м/с	V_a , м/с	φ_n , рад	t , с
$R_H=632$ $r_0=562$	0,3	5,93	15,81	0,445	0,019
	0,4	5,9	15,8	0,482	0,02
	0,6	5,75	15,7	0,552	0,022
	0,8	5,37	15,61	0,556	0,024
	1,2	5	15,5	0,589	0,025

За результатами досліджень побудовані графіки зміни відносної швидкості (рис. 2.5) і кута повороту (рис. 2.6) для металників з радіальною лопаттю при вказаних значеннях коефіцієнтів тертя.

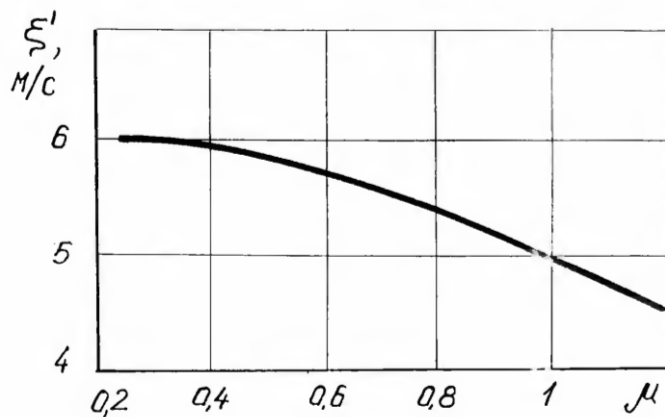


Рисунок 2.5 - Зміна відносної швидкості ξ' в залежності від кута зовнішнього тертя μ

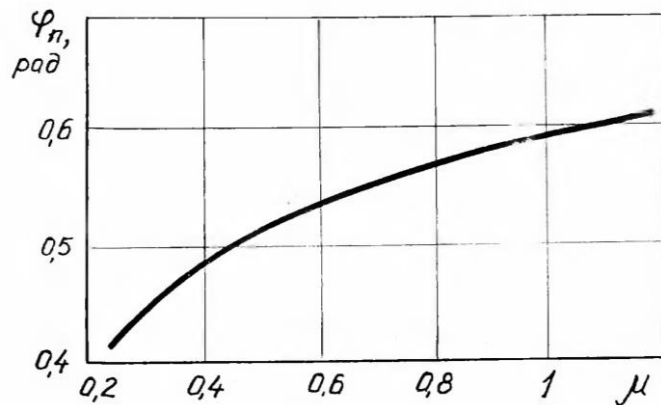


Рисунок 2.6 - Зміна кута повороту ротора φ_n в залежності від кута зовнішнього тертя μ .

На рис. 2.7...2.9. приведено взаємодію часток ґрунту з лопаттями, що нахилені в сторону зворотну обертання ротора, лопаттями, що випуклі в сторону обертання ротора і лопаттями у формі логарифмічної спіралі

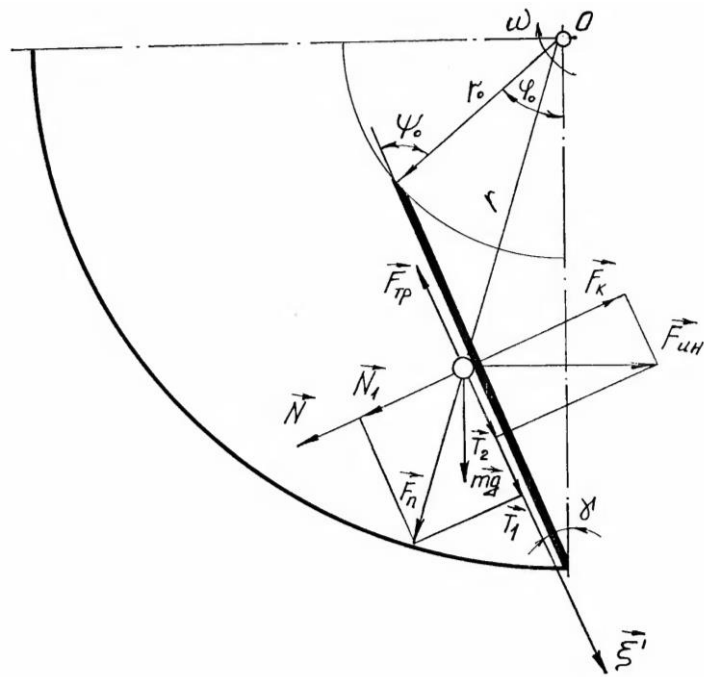


Рисунок 2.7 - взаємодія часток ґрунту з лопаттю, що нахилена в сторону зворотну обертання ротора

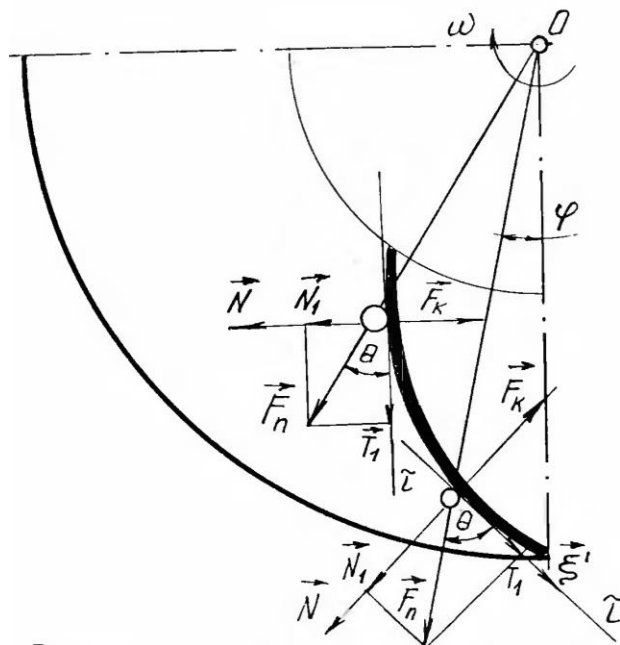


Рисунок 2.8 - Взаємодія часток ґрунту з лопаттю, що випукла в сторону обертання ротора

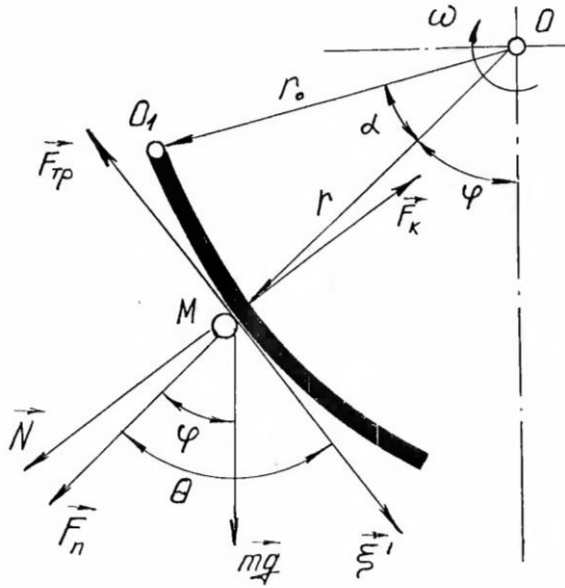


Рисунок 2.9 - Взаємодія часток ґрунту з лопаттю, що виконана у вигляді логарифмічної спіралі

З рисунків випливає, що на лопатях з нахилом назад і випуклими в сторону обертання ротора, відносна швидкість ξ' буде вища, ніж на лопатях, що нахилені вперед і радіальних, але враховуючи те, що кут $\beta > 90^\circ$, абсолютна швидкість V_a буде менша, ніж на радіальних і нахилених в сторону обертання ротора. Для лопаті, що виконана у формі логарифмічної спіралі, виконані розрахунки, а результати зведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків відносних ξ' , абсолютних V_a швидкостей і кутів розвантаження φ_n для лопаті, що виконана у формі логарифмічної спіралі

R_H, r_0 мм	μ	$\xi',$ м/с	$V_a,$ м/с	$\varphi_n,$ рад	$t,$ с
$R_H = 632$ $r_0 = 562$	0,2	11	4,43	1,73	0,078
	0,4	9,8	6,74	0,93	0,043
	0,5	9,67	7,76	0,83	0,036
	0,6	5,1	8,71	0,72	0,03
	0,8	8,8	10,5	0,58	0,026

За даними таблиці 2.2. побудовані графіки (рис. 2.10) зміни відносної ξ' і абсолютної V_a швидкості, на логарифмічній лопатці, а також графік зміни кута розвантаження φ_n (рис. 2.11) в залежності від кута тертя μ .

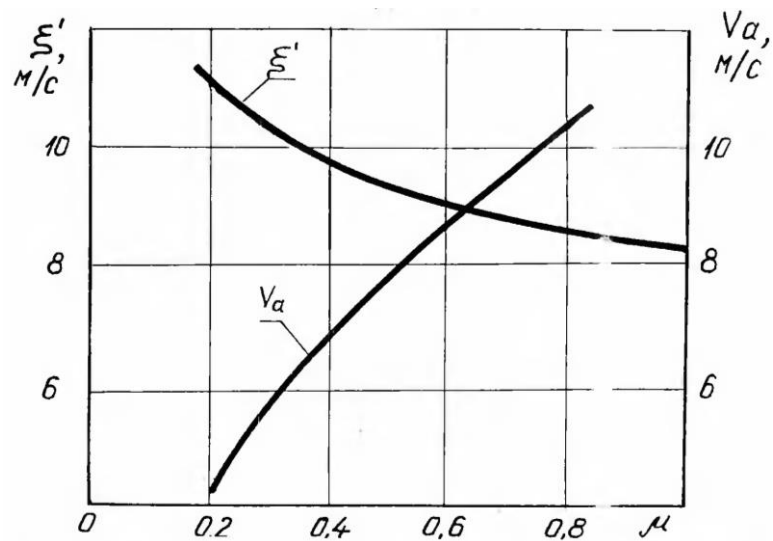


Рисунок 2.10 - Зміни відносної ξ' і абсолютної V_a швидкості в залежності від кута тертя μ (для логарифмічної спіралі)

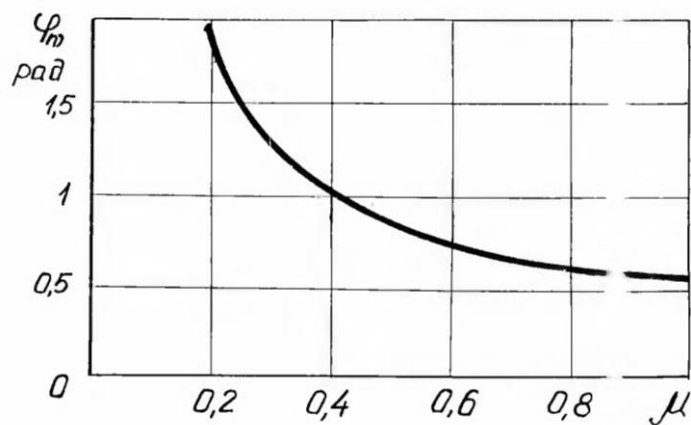


Рисунок 2.11 - Графік зміни кута розвантаження φ_n в залежності від кута тертя μ

З графіків випливає, що із збільшенням коефіцієнта тертя від 0,2 до 0,8 відносна швидкість ξ' зменшується всього на 0,3 м/с, в той час, як абсолютна швидкість V_a зростає на 6,07 м/с і кут розвантаження зменшується від 99° до 33° , що приблизно відповідає куту розвантаження радіальної лопатки.

На основі вище приведенного можна зробити висновок, що:

а) із збільшенням кута нахилу лопаті в сторону обертання ротора ($+\gamma$), відносна швидкість ξ' зменшується на 0,18 м/с, але абсолютна швидкість V_a , по відношенню до радіальної лопатки. Збільшується на 4,24 м/с (при $\psi_0 = 8^\circ$, $\mu = 0,5$), а також збільшується кут розвантаження φ_n . Тому, застосувавши таку форму лопаті. Можна збільшити дальність транспортування ґрунту, але потік на виході буде віялоподібним.

б) при нахилі лопаті в сторону, зворотну обертанню ротора, порція ґрунту ущільнена і має меншу площу лобового перерізу, що відповідає умовам формування компактної порції ґрунту. Відносна швидкість на таких лопатях вище, ніж на радіальних і нахилених вперед, але абсолютна швидкість V_a менша. При цьому кут розвантаження φ_n також буде збільшуватись (на випуклих лопатках збільшується суттєво). Тому випуклі лопаті доцільно застосовувати при $\mu = 0,8$, а кут нахилу прямих лопатей, які забезпечують найбільшу дальність і компактність, дають лопаті з кутом нахилу $\gamma = 7^\circ-9^\circ$.

Таким чином для:

- отримання компактної порції ґрунту;
- отримання максимальних абсолютних швидкостей часток порції ґрунту, рівних за величиною і напрямком для різних шарів;
- зменшення кута розвантаження, необхідно, щоб розвантажувальна лопатка метальника поєднувала в собі параметри форми і положення різних поверхонь, тобто повинна бути складовою.

На основі вищевикладеного був розроблений повздовжній профіль лопаті (рис. 2.12.), який складається з трьох ділянок:

1. BC – логарифмічна спіраль;
2. CD – дуга кола;
3. DE – прямолінійна ділянка.

Максимальна відносна швидкість, а відповідно і ущільнення досягається на кривій ВС, що виконана у вигляді логарифмічної спіралі, так як кут зовнішнього тертя на такій кривій постійний.

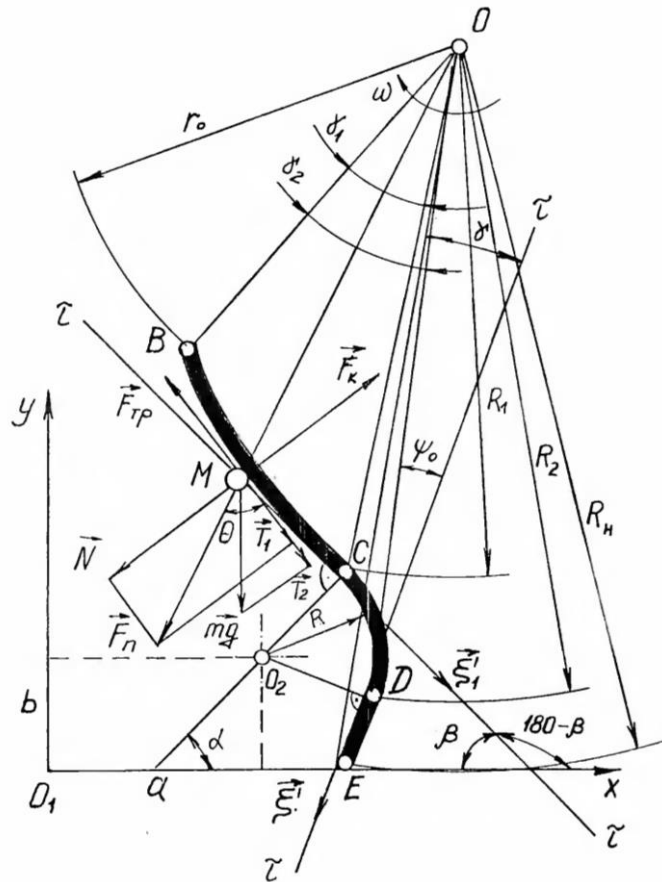


Рисунок 2.12 - Схема до обґрунтування профілю криволінійної лопаті

Так, наприклад, на ділянці ВС, що виконана у вигляді логарифмічної спіралі, відносна швидкість на 40,7% вище, ніж на прямолінійній (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Результати розрахунків відносної ξ' швидкості для прямолінійної і логарифмічної ділянок

Ділянка ВС	R_H і r_0 мм	ω . рад/с	Коефіцієнт тертя, μ	Відносна швидкість ξ' , м/с	Час руху t , с
прямолінійна (з нахилом назад)	$R_H = 632$	25,2	0,8	5,87	0,024
логарифмічний	$r_0 = 562$	25,2	0,8	8,26	0,028

Згідно з рис. 2.12. частки ґрунту третьої зони визначають нижню межу траєкторії польоту ґрунту і здійснюють суттєвий вплив на його розсіювання. Для того, щоб частки цієї зони рухались у загальному потоці (що відповідає умові прицільного метання) їм необхідно надати максимально можливу абсолютну швидкість. Результати приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунків відносної ξ' і абсолютної V_a швидкостей по радіальній лопаті і з нахилом в сторону обертання

Лопатка	R_H і r_0 мм	ω , рад/с	ψ_0 , град	Коефіцієнт тертя, μ	Відносна швидкість ξ' , м/с	Абсолютна швидкість V_a , м/с
Радіальна	$R_H=632$ $r_0=562$	25,2	0	0,8	5,87	15,6
З нахилом в сторону обертання ротора		25,2	7	0,8	8,26	19,4

За даних табл. 2.4. впливає, що відхилення прямолінійної лопаті від радіального напрямку в сторону обертання ротора на 7° забезпечує збільшення абсолютної швидкості на 3,8 м/с при незначній (0,71 м/с) втраті відносної швидкості. Відповідно, край лопаті (ділянка DE) повинна мати прямолінійну ділянку, відхилену від радіального напрямку в сторону обертання ротора під гострим кутом $\psi_0 = 6^\circ \dots 8^\circ$, який також забезпечує зміну напрямку абсолютної швидкості, що перетинає напрямок абсолютних швидкостей першої і другої зон під кутом θ_1 .

2.3. Проектування підкопуючого робочого органу

Як було відмічено в розділі 2.2., одним з недоліків роторних металників є дискретність потоку, що транспортується, а також виявлені

Плавна зміна кривизни дозволяє поєднувати в собі стискаючі і розтягуючі напруження у верхньому і нижньому шарах.

Технологічний ефект впливу поверхні характеризується поєднанням зон:

- з нульовою гаусовою кривизною (леміш – зона різання);
- відмінною (зона кришення);
- позитивною (зона рихлення).

Оскільки фізико-механічні властивості ґрунтів різні, то виникає необхідність визначення алгоритму зв'язку між формою поверхні і ступінню інтенсивності вказаної дії, яка буде залежати від алгоритмічної частини визначення поверхні, тобто буде її функцією.

Для оцінки процесу деформаційної дії поверхні на пласт отримаємо криві L і C , координати яких маємо як результат перетину поверхні з профілями Σ_i і фронтальними Ψ_i площинами.

У відповідності до схеми, що приведена на рис. 2.14. рівняння поверхні підкопую чого робочого органу можна записати у виді:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_i = x_0 - \frac{y_i - y_0}{-tq\beta} \\ y_{OKPi} = -tq\gamma(x_i - y_i) \\ z_{OKPi} = b - \sqrt{R^2 - y_{OKPi}^2} \\ \frac{X}{x_i} = \frac{Y - y_{OKPi}}{y_i - y_{OKPi}} = \frac{Z - z_{OKPi}}{-z_{OKPi}} \\ -R \leq y_{OKPi} \leq R \end{array} \right. \quad (2.6)$$

З рівняння 2.6 маємо координати точок $M_i(x_i; y_i; 0)$ і $N_i(0; y_{OKPi}; z_{OKPi})$ просторовою прямою A_i , а також координати X і Z точки зустрічі прямої A_i з профільною площиною Σ_i .

$$X = \frac{x_i Y - x_i y_{OKPi}}{Y - y_{OKPi}} \quad (2.7)$$

$$Z = \frac{Z_{OKPi}(y - y_i)}{y_{OKPi} - y_i} \quad (2.8)$$

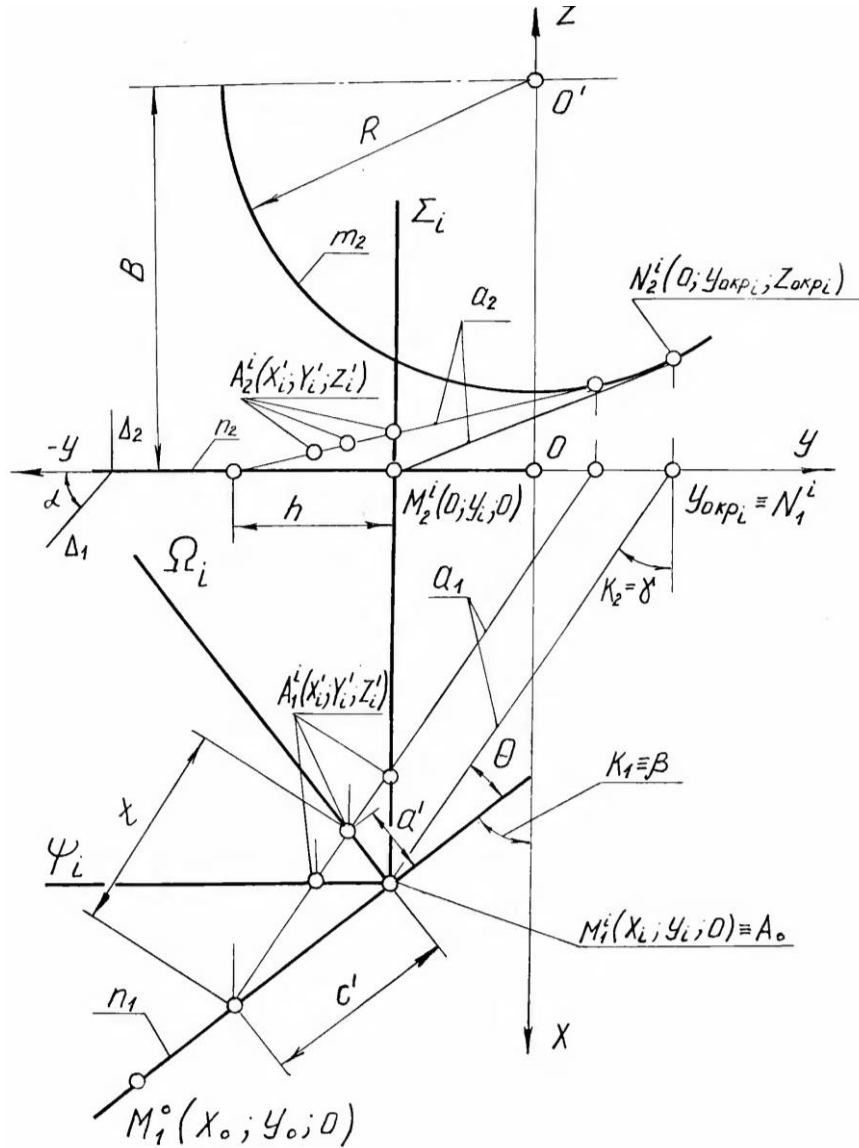


Рисунок 2.14 - Схема до визначення рівняння поверхні підкопуючого робочого органу

Якщо $Y = \sum_i = y_i$, то отримаємо точку перетину простору прямою з площиною xOy і профільною площиною Σ_i , яка є початком кривої l_i (перший крок).

В наступних кроках

$$y_i = y_i + h$$

де: h – крок по вісі Oy

Якщо прийняти $X=\Psi_i$, то з рівняння 2.6. можна отримати координати Y і Z точки зустрічі прямої A_i з площиною Ψ_i .

$$Y = \frac{x_i y_{OKPi} + X(y_i - y_{OKPi})}{x_i} \quad (2.9)$$

$$Z = \frac{z_{OKPi}(X - x_i)}{-x_i} \quad (2.10)$$

За формулами 2.9 і 2.10 можна отримати необхідну кількість плоских кривих l_i , що задані в табличній формі і направлені вздовж вісі Ox , що співпадає з поступальним рухом корпусу. Щоб проаналізувати рух точки A по кривій l_i , необхідно визначити її першу і другу похідні, радіус кривизни R_k , а також відцентрову силу $F_{ц}$, що виникає в процесі руху точки по випуклій або увігнутій кривій l_i .

Перші похідні a'_i в будь якій точці A_i визначимо графічним способом, а другу похідну і радіус кривизни R_k по рівнянням:

$$a_i^{\parallel} = \frac{a_{2i}^{\perp} - a_{1i}^{\perp}}{x_{2i} - x_{1i}} \quad (2.11)$$

$$R_k = \frac{\left[1 + \left(\frac{a_{1i}^{\perp} + a_{2i}^{\perp}}{2}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}{a_i^{\parallel}} \quad (2.12)$$

де: a'_{1i} і a'_{2i} - відповідно перші похідні в точках A_{1i} і A_{2i} , координати яких розраховані з кроком h_k

В якості прикладу розглянемо розрахунок повздовжніх кривих l_1, l_2, l_3 при

$\Sigma_1 = y_i = 0, \Sigma_2 = y_i = -50, \Sigma_3 = y_i = -100$ з наступними параметрами поверхні:

$x_0 = 390$ мм; $y_0 = -260$ мм; $R = 300$ мм; $B = 340$ мм; $tg \beta = 1$; $tg \gamma = 0,4$; $h_k = 0,1$ мм;

$V_{II} = 1$ м/с.

За формулами 2.6...2.12 виконані розрахунки і побудовані графіки (рис. 2.15) других похідних для кривих, що досліджуються.

Отримана таким чином поверхня відрізняється достатньо складною геометрією і для її виготовлення потрібна висока точність. Загальний спосіб виготовлення експериментальних лемішно-полицевих поверхонь заснований на використанні шаблонів поверхні. Шаблони виготовляються з металу, скріплюються, і по отриманому таким чином каркасу, штампується поверхня.

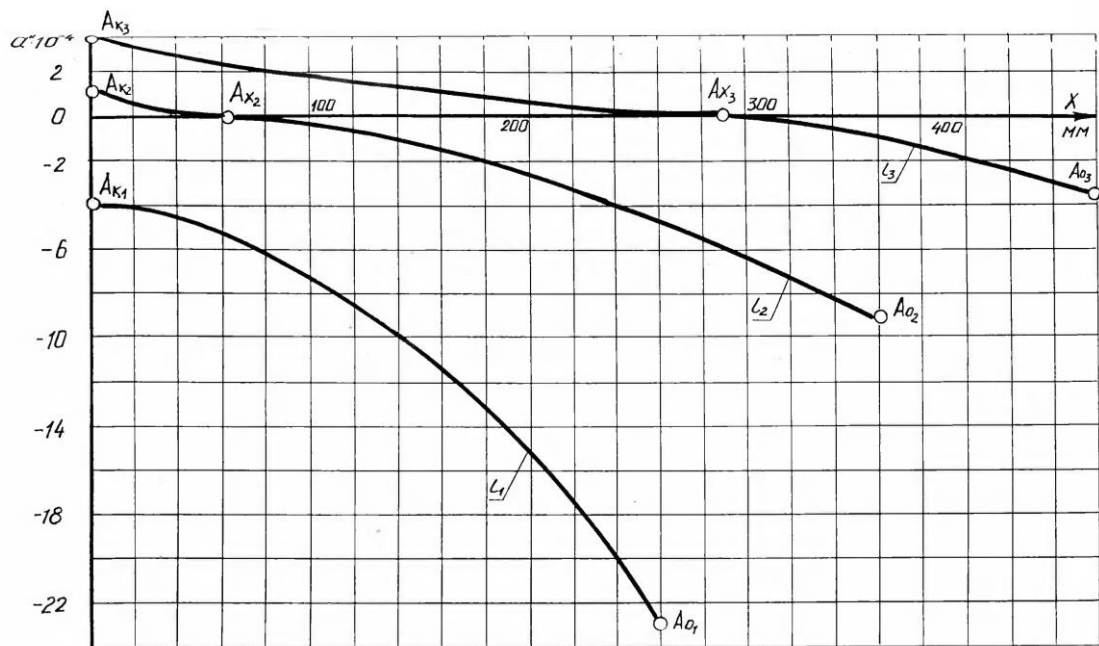


Рисунок 2.15 - Зміна прискорення частки ґрунту по довжині кривих l підкопую чого робочого органу в перерізах $y_i = 0(l_1)$; $y_i = -50(l_2)$;

$$y_i = -100(l_3)$$

З цією метою, у відповідності з рис. 2.14. запишемо рівняння поверхні в параметричному виді:

$$\begin{cases} x = t \cos \alpha \\ y = t \cos \beta \\ z = t \cos \gamma \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\begin{cases} X^I = x_i - t \cos \alpha \\ Y^I = y_i - t \cos \beta \\ Z^I = z_i - t \cos \gamma \end{cases} \quad (2.14)$$

В результаті вищеприведеного встановлено:

- випукла форма транспортуючої поверхні забезпечує знакозмінну дію на пласт та сприяє руйнуванню пласта, збільшенню коефіцієнта розрихлення;
- збільшенню коефіцієнта заповнення транспортуючої комірки, і як наслідок, забезпечує стабільну продуктивність металника і зниження дискретності потоку ґрунту.
- алгоритм формоутворення поверхні дозволяє змінювати величину кривизни в повздовжні і поперечних перерізах, отримуючи при цьому необхідну інтенсивність деформаційного впливу на пласт в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту.
- аналітичне визначення форми поверхні дозволяє вести аналіз взаємодії між процесом деформації і параметрами поверхні.

2.4 Проектування відрізного ножа

Однією з основних технологічних умов ефективної роботи відрізного ножа є переміщення відрізаного шару ґрунту в транспортуючу комірку ротора. Забезпечуючи при цьому необхідну силу напору, що сприяє руху пласта по поверхні ножа, що відповідає співвідношенню: 12 лопаток – 12 ножів. Враховуючи, що параметри направляючої кривої залежать від геометричних параметрів транспортуючої комірки ротора, розвантажувальної лопатки і режимів роботи плуга-металника, вихідними даними при конструюванні плоского обводу твірної є наступні параметри (рис. 2.16):

a – ширина транспортуючої комірки, рівна ширині розвантажувальної лопатки;

b – довжина відрізного ножа (задається конструктивно);

Враховуючи, що відношення $V_{\Pi}/V_{\text{окр}}$ визначає напрямок абсолютної швидкості точки леза ножа, то цей напрямок можна прийняти за напрямок дотичної τ_i^H в точці A , а кут γ , характеризує відхилення рівнодійних елементарних сил R_1 , дорівнює:

$$\gamma = \text{tg}^{-1} \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{окр}}} + \text{tg}^{-1} \varphi \quad (2.16)$$

В нашому випадку $V_{\Pi} = 1 \text{ м/с}$, $V_{\text{окр}} = 8 \text{ м/с}$ (для точки A) і $\mu = 0,5$ за 2.16 мінімально можливе відхилення R_1 від напрямку руху складе 34° , тобто в початковий момент різання буде переважати складова $R_{\text{сд}}$, що сприяє переміщенню відрізаного пласта по поверхні ножа і основна частина зусилля буде витратиться на деформацію відриву (підрізання) пласта від поступає мого в ротор блока ґрунту, що за 2.15 α_{min} складе 7° .

Методом пропорційної розбивки будуюмо ламану криву, найкраще наближення якої дає поліном з вузлами у відповідних точках. Для практичних розрахунків достатньо взяти поліном другої ступені, графіком якого є парабола.

Для випадку, що представлений на рис. 2.16. рівняння параболи буде мати вигляд:

$$z = 0.415476 - 0.018668x + 0.0956168x^2 \quad (2.17)$$

Виходячи з розгляду диференціальної геометрії утворення поверхні, що розгортається одно параметричною множиною площин, апроксимуємо направляючу m нескінченно близько розташованими площинами P_i , напрямком нормалей яких співпадають з напрямком нормалей направляючої кривої у відповідних точках, і отримаємо, таким чином, поверхню параболічного циліндра.

Визначимо параметри положення поверхні ножа в площині обертання ротора, для розрахунку яких вихідними даними є геометричні параметри

Кут γ_0 між твірною $L_{обр}$ і напрямком колової швидкості $V_{окр}$ для радіусу r_0 визначиться за формулою:

$$\gamma_0 = \left[\cos^{-1} \left(\frac{L_{обр}^2 + R_q^2 - \sigma^2}{2 R_q L_{обр}} \right) - 90^\circ \right] - (\psi_{нож} - \psi_0) \quad (2.20)$$

За формулами 2.18...2.20 виконані розрахунки і результати зведені до табл. 2.5.

Для аналізу роботи відрізного ножа визначимо відносні характеристики (траєкторію і швидкість) руху частки ґрунту по поверхні Φ .

Приймаючи до уваги, що зростання зв'язності пласта і швидкості руху робочого органу наближує відносну траєкторію до верхньої граничної кривої – геодезичної лінії поверхні і враховуючи, що колова швидкість ножа $V_{окр}$ в точці A з радіусом r_0 рівна 8 м/с та із збільшенням радіусу буде зростати, відносну траєкторію визначимо тільки формою поверхні Φ і напрямком вступу частки на поверхню.

Таблиця 2.5 - Параметри положення відрізного ножа для ротора з $R_k = 631$ мм, $h_l = 175$ мм, $R_q = 275$ мм, $\psi_0 = 30^\circ$, $S = 90$ мм.

r_0 , мм	$\psi_{нож}$, град	γ_0 , град	$L_{обр}$, мм
360	36	22	252

Для аналітичного перетворення графічного алгоритму визначимо проекцію переміщення L' на площину xOy

$$L' = \sqrt{\left(\frac{\Delta S}{\sin \gamma_0} \right)^2 + (\Delta S \cos \alpha)^2 - \frac{2 \Delta S \left(\frac{\Delta S}{\cos \alpha} - \Delta S^l \right) \cos \alpha \cos(90^\circ - \gamma)}{\sin \gamma_0}} \quad (2.21)$$

тоді кут γ' між коловою швидкістю $V_{окр}$ і проекцією відносного переміщення на площину xOy буде дорівнювати

$$\gamma^1 = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta S^1 \cos \alpha \sin \mu}{L^1} \right) \quad (2.22)$$

радіус r_i від вісі обертання ротора до точки M_i за формулою

$$r_i = \sqrt{r_0^2 + L^1{}^2 - 2r_0L^1 \cos(90^\circ - \gamma^1)} \quad (2.23)$$

Таким чином, маємо проекцію точки M_i на площину xOy , координати якої визначаються за формулою:

$$\begin{cases} X = \Delta S \cos \alpha \\ Y = L^1 \cos(\gamma_0 - \gamma^1) \\ Z = \Delta S \sin \alpha \end{cases} \quad (2.24)$$

а натуральна величина відрізка $M_0M_i(L)$ по формулі:

$$L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (2.25)$$

Результати розрахунків приведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Відносна швидкість $V_{омн}$ і час руху частки по поверхні відрізного ножа

$V_{омн}$, м/с	2,15	2,86	3,36	3,78	4,17	4,53	4,87	5,20	5,52
t , с	0,035	0,0166	0,014	0,0128	0,0123	0,0119	0,0118	0,0117	0,0116

З табл. 2.6. видно, що частка ґрунту на виході з поверхні ножа при $\mu = 0,5$ мала швидкість $V_{омн} \approx 5,52$ м/с, а час руху склав $t \approx 0,137$ с. За цей час ґрунт зійде з ножа, а точка C повернеться на кут рівний 180° , тобто кут метання можна регулювати від $36,5^\circ$ до 0°

З вище приведеного можна зробити наступні висновки:

- занурення відрізного ножа в блок ґрунту з найменшими енергозатратами, а також виключення упору 49 потрапляючого шару ґрунту у зовнішню

поверхню ножа здійснюється за рахунок співпадання напрямку абсолютної швидкості ріжучої кромки ножа в точці А з напрямком площини, дотичною до поверхні в даній точці;

- транспортує поверхня відрізного ножа сприяє ефективному переміщенню ґрунту в комірку ротора, за рахунок того, що в початковий момент різання переважає складова R_{cd} ;

- відрізний ніж сприяє ущільненню ґрунту, що переміщується в комірниці ротора за рахунок того, що пласт ґрунту в процесі руху по ножу набуває відносної швидкості (в кінці траєкторії L) $V_{omn} = 5,52$ м/с, а абсолютна швидкість при цьому рівна 7,67 м/с, тобто на пласт ґрунту діє сила, рівна 136 Н.

Висновки

Результати теоретичних досліджень дозволили:

- розробити науково-обґрунтовані рекомендації по вибору параметрів ротора і режимів роботи плуга-метальника;

- розробити алгоритм розрахунку відносних швидкостей по лопатям, що встановлені радіально, з нахилом вперед і криволінійних, а також розробити номограми і програми для розрахунку на ПЕОМ, за допомогою яких був визначений раціональний повздовжній профіль розвантажувальної лопатки;

- отримати геометричний алгоритм формування поверхні підкопуючого робочого органу і його аналітичний вираз;

- розробити алгоритми розрахунку основних параметрів відрізного ножа і відносних характеристик руху частки ґрунту по його робочій поверхні.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Задачі і характеристики об'єктів експериментального дослідження

Задача експериментальних досліджень складається в перевірці дослідним шляхом теоретичних досліджень і в уточненні деяких залежностей між параметрами плуга-метальника.

В зв'язку з цим основними задачами експериментального дослідження є:

- перевірка основних висновків теоретичного дослідження;
- визначення продуктивності роторного метальника по виносній здатності лопаті;
- визначення потужності в залежності від режиму роботи і кінематичних параметрів метальника;
- визначення питомої енергомісткості в залежності від дальності транспортування ґрунту.

Для виконання поставлених задач був спроектований і виготовлений експериментальний зразок плуга метальника з можливістю транспортування ґрунту в обидві сторони від напрямку руху агрегату (з верхнім і нижнім викиданням).

Конструкція експериментального плуга-метальника передбачає наступні можливості:

- встановлення змінних лопатей з криволінійним повздовжнім профілем;
- встановлення відрізних ножів;
- зміна кута викидання ґрунту від 0° до 45° ;
- регулювання глибини ходу підкопуючого робочого органу.

Плуг-метальник – навісна машина, агрегується з трактором Т-150, Т-150К. Рама плуга-метальника має зварну конструкцію. Вона призначена для кріплення редуктора, опорного котка, підкопуючого робочого органу з

поверхнею підіймання, ротора, гідросистеми і навісного пристрою. Рама складається з двох повздовжніх і 4 поперечних брусів коробчастого перерізу. На передньому поперечному брусі приварені кронштейни 12 для приєднання навіски, на другому брусі встановлений редуктор 5, а на третьому – гідроциліндри 15 і направляючий щит 9 (рис. 3.1).

Ротор 2 складається з лопаток 10, які з'єднанні з диском 13 за рахунок важелів 14. З'єднання важелів з диском і лопаток з важелем – гвинтове, що дозволяє легко замінювати окремі важелі і лопати.

Плуг металник може працювати в режимі верхнього або нижнього розвантаження. Дальність польоту ґрунту, що відкидається регулюється переміщенням кожуха 14 від 0° до 45° (при верхньому викиданні) і направляючим щитом 9 (при нижньому викиданні). Переміщення кожуха 11 і щита 9 здійснюється гідроциліндрами 15.

Регулювання глибини ходу підкопуючого робочого органу 3 здійснюється опорним котком 4.

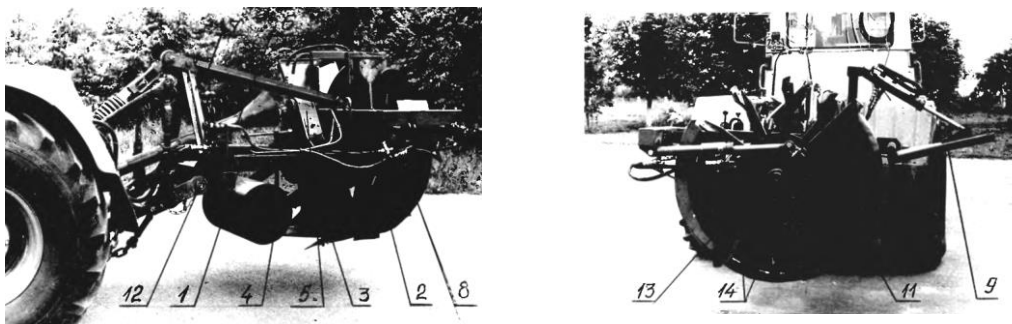


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд плуга-металника ПМ-300

3.2 Методика і апаратура експериментального дослідження

Визначення енергоємності процесу метання ґрунту проводилось у відповідності з ОСТ 70. 2. 2-73 «Дослідження сільськогосподарської техніки. Методи енергетичної оцінки».

В ході досліджень плуг-метальник агрегувався з тензотрактором Т-150К. В якості реєстраційної апаратури використовувались:

- підсилювач ТОПАЗ №2130;
- осцилограф К 12-22;
- тензорезистори КФ;
- динамометр ДОСП-3;
- витратомір палива.

Апаратура реєструвала:

- зміну крутного моменту на ВВП;
- частоту обертання на ВВП;
- витрату палива;
- тривалість досліджу;
- тяговий опір на кріюку.

Тарування редуктора ВВП проводилась шляхом прикладання навантаження до тарувального редуктора при застопореному ВВП.

Тарування проводилось до початку дослідження і повторювалась декілька разів в процесі проведення досліджень.

Результати тарувань приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати тарування

Тарувальний $M_{тр}$ момент на валу редуктора, Н·м	98	196	264	392	490	588	686	784	882
Ордината на осцилограмі h_p , мм	9,8	18,5	28,2	37,5	48	57,5	67,3	77	87,1
	9,5	17,2	27	36	47,9	56,8	66,9	77,2	88
	9	18,3	27,9	37,9	48,2	57	67,5	77,8	87,9

Значення крутного моменту на ВВП визначалося за формулою:

$$M_{вом} = h_p \cdot m_p \text{ Н·м} \quad (3.1)$$

де: m_p - коефіцієнт тарування, Н·м/мм;

h_p - середня ордината на осцилограмі, мм

Колова швидкість викидання ґрунту $V_{кол}$ визначалась шляхом розрахунку результатів вимірів за формулою:

$$V_{кол} = \pi D_n \cdot n_p / 60 = 0.0623 \cdot n_p \text{ м/с} \quad (3.2)$$

де: $D_n = 1.2$ - зовнішній діаметр ротора, м;

$n_p = 222$ - число обертів ротора, об/хв.

Розміри виймання ґрунту визначались безпосередньо замірами за допомогою рулетки, лінійки і планок.

Дальність метання ґрунту при різних кутах викидання визначалась безпосередньо замірами вздовж лінії викидання (кількість замірів - 6) з наступним визначенням середнього значення і порівнювалось з теоретичною дальністю, що розрахована за формулою:

$$L_T = V_{кол} \cdot \cos \alpha \cdot t \quad (3.3)$$

де: α - кут вильоту ґрунту, град.

Час польоту визначався за формулою:

$$t = 2V \sin \alpha \pm \sqrt{2V \sin \alpha^2 - 4q^2 h / 2q}, \text{ с}$$

де: h - відстань від горизонталі до точки викидання ґрунту, м.

Визначення дальності польоту ґрунту при нижньому викиданні і з зміною кута постановки V направляючого щита, визначалось безпосередніми замірами і порівнювалось з теоретичними даними, отриманими за формулою відповідно до схеми, що приведена на рис. 3.2.

$$L_T = L_o + V_o \cos \beta \sqrt{\frac{2(R + L_o - tg(\nu + \alpha_{ск})) - Ltg\alpha_{ск}}{q}}, \text{ м} \quad (3.4)$$

Коефіцієнт зниження дальності польоту ґрунту μ_c визначався за формулою:

$$\mu_c = L / L_T \quad (3.5)$$

де: L - дальність польоту ґрунту, отримана дослідним шляхом, м

L_T - теоретична дальність (без врахування опору повітря), м

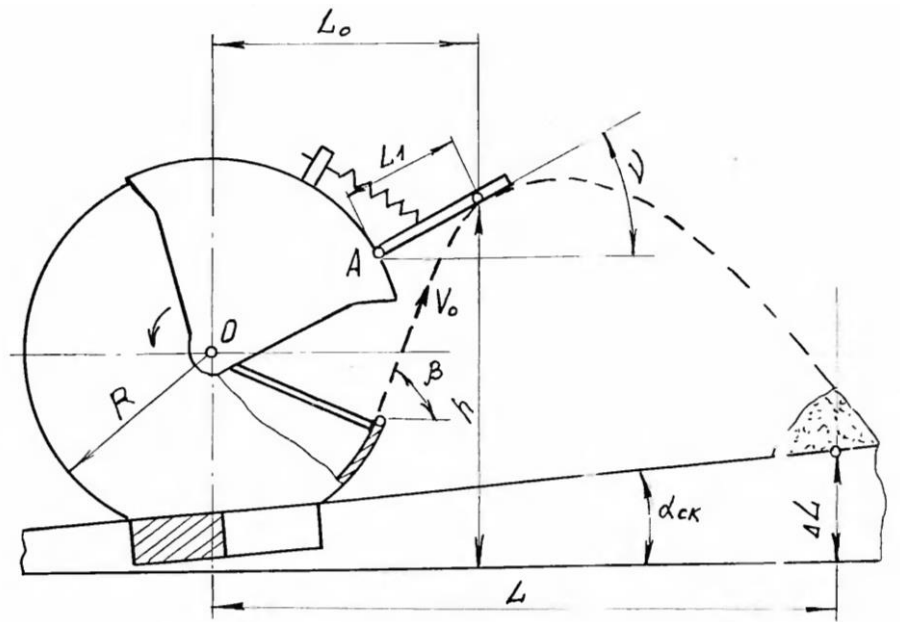


Рисунок 3.2 - Схема до виведення формули дальності польоту ґрунту при нижньому викиданні

Продуктивність плуга - металника визначалась відповідно до формули:

$$P_{\max} = 60n \cdot z \cdot q \frac{K_p}{K_3}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.6)$$

де: q - об'єм між лопатевого простору, м^3

z - число лопатей металника;

n - число обертів ротора за хвилину (222);

K_p - 1,05 – 1,15 – коефіцієнт розрихлення;

K_3 - 0,8 – 0,9 – коефіцієнт заповнення.

Враховуючи те, що досліджуваний плуг-метальник ПМ-300 є машиною, що поєднує в собі робочий орган активної дії і робочий орган пасивної дії (підрізаючий леміш), то для визначення сумарної потужності визначались потужності на привід ротора від ВВП, на самопересування трактора і на переміщення плуга метальника.

3.3 Об'єм і умови проведення досліджень

Для виконання мети і задач експериментального дослідження були проведені наступні дослідження:

- дослідження плуга-метальника;
- дослідження плуга-метальника при нижньому викиданні ґрунту під різним кутами встановлення направляючого щита;
- дослідження плуга-метальника з глибиною виймання ґрунту від 0,1 до 0,15 та 0,15 до 0,22 м;
- дослідження вивантажувальної лопатки з криволінійним повздовжнім профілем;
- дослідження відрізних ножів з боковою транспортуючою поверхнею.

Основна частина дослідів була проведена на полях з рослинними і пожнивними рештками.

В процесі досліджень були проведені лабораторні аналізи ґрунту.

Таблиця 3.2 - Агротехнічна оцінка умов проведення досліджень

Місце взяття проби ґрунту	В шарах ґрунту, см	Вологість ґрунту, %	Твердість, МПа	Маса рослинних і пожнивних решток, кг/см ²	Висота рослинних і пожнивних решток, см
Дослідне поле	0-10	6,5	0,31	0,28	8,2-9,6
	10-20	7,4	0,9		
	20-30	7,8	1,0		
	30-40	8,9	1,85		

По витратоміру палива визначалась витрата палива в мм (1 мм = 3,94 г), а також фіксувались оберти на валу двигуна під час руху. За цими даними, а також за результатами замірів геометричних параметрів виймання ґрунту, просипання ґрунту, двідстанні відкидання ґрунту проведено підрахунок всіх необхідних величин, що визнають параметри процесу викопки і метання ґрунту.

Висновки

Охарактеризовані об'єкти експериментального дослідження.

Приведено опис методики і апаратури експериментального дослідження. Приведені данні і агротехнічна оцінка умов проведення досліджень.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИПРОБУВАНЬ

4.1. Енергоємність процесу транспортування ґрунту роторним плугом-метальником

За експериментальними даними були визначені потужності, що необхідні для приводу ротора і переміщення плуга для різних кутів викидання ґрунту. Дані результатів розрахунків приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Потужність, що споживається плугом-метальником на
метання $N_{ВВП}$, і викопку N_K , кВт

Кут викидання ґрунту α , град									
0		17		26		32		45	
$N_{ВВП}$	N_K	$N_{ВВП}$	N_K	$N_{ВВП}$	N_K	$N_{ВВП}$	N_K	$N_{ВВП}$	N_K
з відрізними ножами									
61,9	4,42	61,6	4,62	60	4,40	59,7	2,38	47,6	2,31
без відрізнних ножів									
97	5,51	90	5,4	87,8	5,3	82,1	5,18	74,5	5

За даними табл. 4.1. побудовано графік (рис. 4.1) зміни потужності на метання в залежності від кута викидання ґрунту. З графіка випливає, що установка відрізнних ножів дає можливість знизити енергоємність процесу метання на 15-20%. Це пояснюється тим, що в процесі роботи роторного плуга-метальника ножі забезпечують відрізання порції ґрунту, руйнування її боковою транспортуючою поверхнею і переміщення на робочу поверхню розвантажувальної лопатки. В результаті руху по боковій поверхні ножа ґрунт

Набув відносну швидкість $V_{от} = 5,52$ м/с, що сприяла ущільненню порції ґрунту в транспортуючій комірці ротора, а відповідно, і ефективному сходженню (самоочищенню), ґрунту з поверхні лопаті в процесі розвантаження. Крім того ножі перерізали пожнивні залишки, знижуючи, тим самим, ймовірність забирання ротора ґрунтом. Все це сприяло зниженню крутного моменту на ВВП.

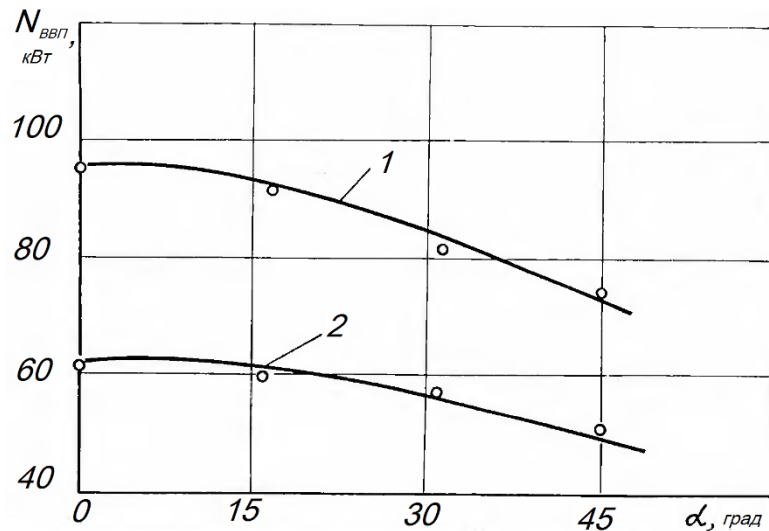


Рисунок 4.1 - Зміна затрат потужності $N_{ВВП}$ для приводу ротора метальника в залежності від кута викидання ґрунту α .

Лопаті, на яких були встановлені відрізні ножі (рис. 4.2) не залипали ґрунтом і мали металевий блиск.



Рисунок 4.2 - Плуг метальник після проходження стометрового гону (фон поля - стерня): 1 – лопаті, що залипили ґрунтом і рослинними рештками; 2 – лопаті з встановленими відрізними ножами (не залипали); 3 – відрізні ножі.

Питома енергомiсткiсть транспортування ґрунту була розрахована, а результати розрахункiв зведенi до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати розрахунку енергоємностi процесу транспортування ґрунту плугом-метальником

Вiдстань метання, м	9,1	10,3	14,4	18,1	19,4
N_y , кВт·ч/м ³	0,19	0,18	0,21	0,16	0,18
N_{TY} , кВт·ч/м ³ ·м	0,02	0,017	0,014	0,008	0,009

За даними табл. 4.2. побудований графiк змiн питомої енергомiсткостi процесу метання рис. 4.3. в залежностi вiд вiдстанi транспортування ґрунту.

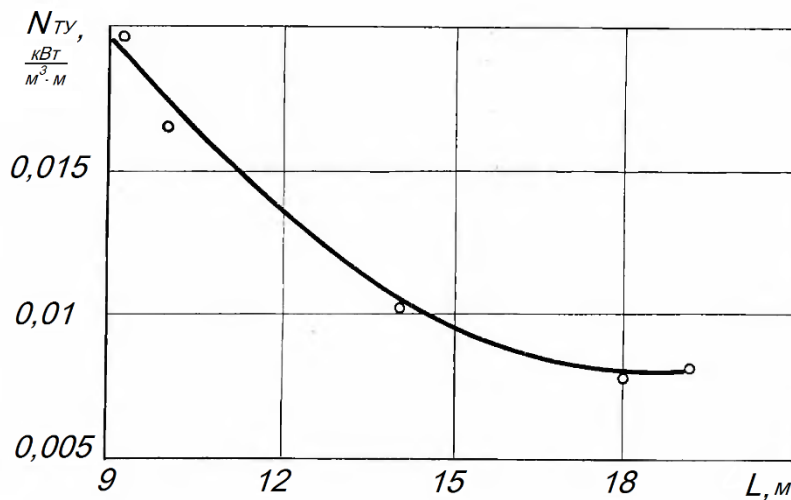


Рисунок 4.3 - Змiна питомої енергомiсткостi процесу метання в залежностi вiд вiдстанi транспортування ґрунту.

З графiка випливає, що iз зменшенням вiдстанi транспортування ґрунту вiд 19,4 до 9,1 метра питома енергомiсткiсть метання збiльшується на 0,011 кВт·ч/м³·м, тобто на 112%, а це говорить про те, що значна частина енергiї в процесi метання витрачається на подолання опору руху ґрунту по кожуху (iз збiльшенням кута викидання питома енергомiсткiсть метання знижується)

4.2 Визначення дальностi перемiщення i розкидання ґрунту

В ходi дослiджень проводились замири дальностi польоту ґрунту, якi порiвнювались з теоретичною дальнiстю, що розрахована для верхнього

викидання і для нижнього викидання. Результати замірів і розрахунків зведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Відстань транспортування вгору і вниз по схилу

Дальність метання L, м (середня)		Середнє квадр. відхилення, ± м	Коеф. варіації, %	Дальність метання L _T , м	Коеф. зниження дальности
з верхнім викиданням	з нижнім викиданням				
Горизонтальна ділянка					
21		0,28	0,42	24,2	0,86
	19,3	0,61	1,92	22,4	0,86
Вгору по схилу					
18,1		0,79	1,6	20,0	0,9
	15,2	0,69	3,1	17,1	0,88
Вниз по схилу					
23,2		0,92	3,5	26,4	0,87
	19,5	1,1	5,1	21,5	0,9
Горизонтальна ділянка					
10,7		0,25	0,58	12,2	0,87
	8	0,11	0,15	9,3	0,86
Вгору по схилу					
7,2		0,52	3,7	6	1,2
	4,8	0,33	2,2	6,3	0,76
Вниз по схилу					
12,8		0,65	3,3	15,7	0,81
	7,6	0,48	3,0	9,5	0,8

В ході досліджень були виконані заміри розподілення ґрунту вздовж лінії метання, отриманні дані зведені до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Значення розподілення ґрунту вздовж лінії метання

Режим метання	Ширина смуги 90% ґрунту (максимальна)	Середнє квадратичне відхилення, \pm м	Коефіцієнт варіації, %
верхнє	2,1	0,33	5,1
нижнє	4,8	0,52	6,4

Згідно даних табл. 4.4. середня ширина смуги на яку потрапляло 85-90% ґрунту склала:

- а) 1,8...2,1 м при верхньому викиданні;
- б) 4,0...4,8 м при нижньому викиданні.

Розкидання ґрунту при верхньому і нижньому викиданні змінювався на 128%, що характеризує віялоподібність струменю при нижньому викиданні.

В ході досліджень встановлено:

1. Найбільш вигідним кутом метання, з точки зору дальності і енергомісткості, є кут $\alpha = 45^\circ \dots 32^\circ$.

2. На форму потоку ґрунту найбільший вплив має кількість ґрунту, що подається. Якщо кількість ґрунту перевищує виносну здатність лопаті, то ґрунт, який не потрапив в комірку, захоплюється передньою кромкою важеля, що збільшує кут розвантаження φ_{\max}^n . В такому випадку потік утворюється віялоподібним з наступним збільшенням розсіювання і зменшенням дальності польоту ґрунту.

3. При метанні ґрунту з нижнім викиданням металник не забезпечує формування компактного струменю. Викидання ґрунту проходить віялоподібно, що може бути використане при покритті відкосів родючим шаром ґрунту.

Висновки

В ході досліджень плуга-метальника встановлено, що:

- вживана потужність плугом-метальником становила 76,6 кВт, з якої 23% складала потужність на переміщення плуга-метальника, а 77% на привід ротора і по відношенню до номінальної ефективної потужності двигуна складала 63,3%.
- середня годинна продуктивність складала 348 м³/год.;
- трактор Т-150К в агрегаті з ПМ-300 забезпечував виконання технологічного процесу при швидкості 1 м/с.
- відхилення і рівномірність ходу підкопуючого робочого органу складало $\pm 1,1$ см;
- максимальна дальність переміщення ґрунту складала $21 \pm 0,28$ м;
- розкидання ґрунту з верхнім викиданням складало $2,1 \pm 0,33$ м.

За результатами експериментального дослідження можна зробити наступні висновки:

- конструкція плуга-метальника роботоздатна і дозволяє збільшити продуктивність за рахунок збільшення числа обертів ротора і діаметра ротора.
- експериментальні робочі органи (лопатка і ножі) підтвердили доцільність їх використання в роторних метальниках даного типу.

5 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБІТ З РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛІВ НА СХИЛАХ

Рекультивация відвалів на схилах є важливим етапом у відновленні порушених земель, що зазнали техногенного впливу внаслідок гірничодобувної або будівельної діяльності. Такі роботи включають планування поверхні, формування схилів, укріплення ґрунту, засівання рослинністю та відновлення родючості. Особливості рельєфу, нестійкість порід, наявність пилу, газів, важкої техніки створюють підвищену небезпеку для працівників. Тому дотримання правил техніки безпеки та охорони праці є обов'язковою умовою під час виконання рекультивацийних робіт.

1. Загальні вимоги безпеки

До виконання робіт з рекультивации допускаються лише особи, які: досягли 18-річного віку; пройшли медичний огляд і навчання з охорони праці; ознайомлені з технологічною картою робіт, особливостями ґрунтів і рельєфу; мають посвідчення на право керування або обслуговування техніки (бульдозерів, екскаваторів, тракторів тощо).

Перед початком робіт обов'язково проводиться інструктаж з охорони праці із зазначенням потенційно небезпечних ділянок: зсувонебезпечних зон, обривів, ярів, місць виходу підземних вод. Працівників ознайомлюють із планом евакуації, засобами сигналізації та правилами подання попереджувальних сигналів.

2. Підготовка до виконання робіт

Перед початком рекультивацийних робіт здійснюють інженерне обстеження відвалу, оцінюють стійкість схилу, щільність ґрунту, наявність тріщин, вивітрювання, підземних вод. На основі результатів визначають безпечні зони для роботи техніки.

Обов'язкові заходи: укріплення зсувонебезпечних ділянок (дренаж, підпірні стінки, георешітки, біомати); визначення маршрутів руху машин з

урахуванням допустимих ухилів; встановлення попереджувальних знаків у небезпечних місцях; перевірка справності гальмівної системи, освітлення, сигналізації машин.

При роботі на схилах забороняється: перебування сторонніх осіб у зоні роботи техніки; виконання ремонтних або регулювальних операцій під час працюючого двигуна; стоянка машин на краю відвалу; рух заднім ходом без сигналу або помічника.

3. Вимоги безпеки при роботі машин і механізмів

Рекультиваційні роботи на схилах виконуються за допомогою важких механізмів – бульдозерів, екскаваторів, автосамоскидів, тракторів з ґрунтообробними агрегатами. Для уникнення нещасних випадків слід дотримуватись таких вимог:

Рух техніки по схилу.

-допустимий кут нахилу для колісних машин не повинен перевищувати 10–12°, для гусеничних – 18°.

-при перевищенні цих показників використовуються спеціальні траси або уступи.

-рух здійснюється тільки прямолінійно вгору або вниз, без різких поворотів.

Стоянка та маневри.

-забороняється стоянка техніки ближче ніж 5 м від краю відвалу;

-розвантаження проводиться на відстані не менше 2 м від межі укосу;

-при обмеженій видимості машиніст повинен користуватись допомогою сигнальника.

Екскаваторні роботи.

-екскаватор розташовується на стійкій площадці, не ближче 1 м до краю;

-заборонено повертати стрілу у напрямку людей або техніки;

-під час пересування ковша забороняється перебування працівників у радіусі його дії.

Бульдозерні роботи.

-перед початком руху перевіряють, щоб у зоні штовхання не було людей;

-при поштовхах або ударах у ґрунт слід уникати надмірного навантаження на лезо, щоб запобігти перекиданню;

-забороняється рух бульдозера поперек схилу з великим ухилом.

4. Вимоги до організації робочого місця

- робоче місце повинно бути чітко позначене й облаштоване відповідно до умов місцевості.

- передбачаються огороження небезпечних зон;

- влаштування безпечних підходів і під'їздів до робочих майданчиків;

- встановлення знаків «Обережно, робота машин!»;

- наявність аптечки, вогнегасника, засобів зв'язку.

Кожен працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту: спецодягом, каскою, захисним взуттям із протиковзною підошвою, рукавицями, при роботі в пилових умовах – респіратором і захисними окулярами.

У разі виявлення тріщин, осідання ґрунту або зсуву роботи негайно припиняють, а працівників виводять у безпечне місце.

5. Вимоги пожежної та екологічної безпеки

-під час виконання робіт забороняється палити або користуватись відкритим вогнем поблизу техніки, заправних пунктів, місць зберігання мастил;

- залишати паливно-мастильні матеріали без нагляду;

- заправляти техніку при працюючому двигуні.

На кожній одиниці техніки повинен бути вогнегасник, а на ділянці – пісок, лопати, вода для гасіння загорянь.

З метою охорони довкілля:

- не допускається зсипання ґрунту за межі відведеної ділянки;

- необхідно запобігати розмиванню схилів і потраплянню нафтопродуктів у водойми;

- після завершення робіт територія очищається від сміття, тари, залишків мастил.

6. Вимоги безпеки після завершення робіт

Після завершення зміни працівники повинні:

- очистити техніку, перевірити її стан і закріпити у безпечному положенні;
- вимкнути двигуни, поставити машини на гальма, опустити робочі органи;
- здати інструменти і повідомити керівництво про всі несправності;
- прибрати робочу ділянку, прибрати сторонні предмети з укосів і доріг.

Роботи з рекультивації відвалів на схилах належать до категорії підвищеної небезпеки, оскільки виконуються у складних природно-технічних умовах, що характеризуються нестійкістю ґрунтів, наявністю крутосхилів, зсувонебезпечних ділянок, пилу, вібрацій, шуму та роботи важкої техніки. Тому організація безпечних умов праці під час таких робіт має пріоритетне значення для збереження життя та здоров'я працівників, запобігання аварійним ситуаціям і негативному впливу на довкілля.

Комплекс заходів з охорони праці при рекультивації передбачає: попереднє обстеження території, геотехнічну оцінку стійкості схилів, визначення безпечних зон роботи машин, а також підготовку працівників до виконання завдань в умовах потенційного ризику. Важливо, щоб перед початком робіт усі працівники пройшли інструктаж з охорони праці, були забезпечені засобами індивідуального захисту, засобами зв'язку та сигналізації.

Ключовими вимогами безпеки під час роботи є дотримання допустимих кутів нахилу схилів для руху машин, правильна організація маршруту руху, недопущення знаходження сторонніх осіб у зоні дії техніки, а також надійне технічне обслуговування машин і механізмів. Не менш важливо забезпечити чітку взаємодію між машиністами, сигнальниками та інженерно-технічним персоналом для своєчасного попередження небезпеки та швидкого реагування на позаштатні ситуації.

Під час експлуатації машин на відвалах необхідно суворо дотримуватись правил пожежної безпеки – утримувати техніку в чистоті, не допускати витоків палива, заправляти машини лише у спеціально відведених місцях,

мати вогнегасники та первинні засоби пожежогасіння. Не менш важливими є екологічні аспекти безпеки: запобігання забрудненню навколишнього середовища паливно-мастильними матеріалами, дотримання меж рекультиваційних ділянок, недопущення ерозії ґрунту та потрапляння відходів у водні об'єкти.

Висновки

Високий рівень безпеки забезпечується також завдяки впровадженню сучасних інженерних рішень: використанню геотекстильних матеріалів, дренажних систем, біотехнічних засобів укріплення схилів, моніторингу зсувонебезпечних зон та автоматизованого контролю за станом техніки. Своєчасне проведення технічного обслуговування машин, щоденний огляд і перевірка працездатності гальмівних та гідравлічних систем знижують ризик аварійних ситуацій.

Ефективна система охорони праці на рекультиваційних роботах передбачає не лише дотримання інструкцій і норм безпеки, а й створення культури безпечної поведінки серед персоналу. Вона формується через систематичне навчання, інструктажі, тренування дій у надзвичайних ситуаціях, а також стимулювання відповідального ставлення до збереження життя і здоров'я.

Реалізація комплексних заходів безпеки дозволяє не лише попередити травматизм і аварії, але й забезпечує раціональне використання техніки, підвищення продуктивності праці та ефективне відновлення природного стану порушених земель.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ

Відновлення родючості та господарської придатності порушених земель є однією з найважливіших екологічних і соціально-економічних проблем сучасного землекористування. Особливої актуальності набуває питання рекультивації земель, розташованих на схилах, де ерозійні процеси, зсуви, вітрова та водна денудація значно ускладнюють подальше використання територій. Схиліві ділянки характеризуються підвищеним ризиком деградації ґрунтів, тому проведення на них рекультиваційних заходів потребує значних матеріальних витрат, але водночас забезпечує довгострокові економічні, екологічні та соціальні вигоди.

Ефективність рекультивації на схилах визначається не лише екологічним результатом, а й економічною доцільністю відновлення земельних ресурсів. Комплексна оцінка ефективності дозволяє визначити доцільність витрат на проведення робіт, вибрати оптимальний напрям подальшого використання земель, а також сформулювати рекомендації щодо вдосконалення технологій рекультивації. У цьому контексті оцінка економічної ефективності робіт з рекультивації є необхідною складовою раціональної політики землекористування та сталого розвитку територій.

Рекультивація земель – це система організаційних, технічних, агротехнічних і біологічних заходів, спрямованих на відновлення продуктивності порушених ґрунтів і створення умов для їх подальшого використання в народному господарстві. В умовах складного рельєфу, зокрема на схилах, рекультивація має подвійну функцію: відновлювальну (повернення земель у господарський обіг) та захисну (запобігання ерозійним процесам, зсувам, втраті ґрунтової родючості).

Схиліві землі часто піддаються деградації внаслідок техногенних процесів (гірничодобувна діяльність, будівництво, порушення структури ґрунтового покриву), що призводить до зниження продуктивності або повної втрати функцій екосистеми. Тому рекультивація таких територій має не лише

господарське, а й екологічне значення. Вона сприяє стабілізації ландшафтів, покращенню стану водних ресурсів, збереженню біорізноманіття та попередженню утворення ерозійних ярів.

Економічна ефективність рекультивації визначається співвідношенням між витратами на виконання робіт та результатом, який отримується внаслідок їх здійснення. Основними чинниками, що впливають на ефективність робіт на схилах, є:

- Рельєф і геоморфологічні умови – складність схилу, крутизна та експозиція безпосередньо визначають обсяг земляних робіт і витрати на техніку.

- Тип ґрунту та його стан – ступінь деградації ґрунтового покриву, наявність родючого шару впливають на потребу у підсипанні або завезенні ґрунту.

- Технологічні особливості рекультивації – вибір методів терасування, стабілізації, дренажування чи біологічного відновлення визначає рівень капіталовкладень.

- Подальше цільове використання земель – економічний ефект суттєво залежить від того, чи буде територія використана для сільськогосподарських, лісогосподарських або рекреаційних потреб.

- Тривалість періоду окупності – для схилових земель він зазвичай триваліший, ніж для рівнинних, що потрібно враховувати під час розрахунків.

- Екологічні вигоди – зниження збитків від ерозії, стабілізація водного режиму, підвищення якості навколишнього середовища мають непрямий економічний ефект.

Таким чином, ефективність рекультивації на схилах має багатофакторний характер і визначається як прямими економічними результатами, так і довгостроковими екологічними перевагами. У практиці оцінювання ефективності рекультивації застосовуються як традиційні економічні методи, так і комплексні екологічно-економічні підходи.

Враховуючи, що значна частина вигод від рекультивації має нематеріальний характер, застосовують методи: економічної оцінки екологічних послуг (вода, повітря, біота, стабільність ґрунту); метод альтернативної вартості (що буде втрачено, якщо не провести рекультивацію); комплексного коефіцієнта ефективності, який поєднує економічну, екологічну та соціальну складові.

Результатом є інтегральний показник ефективності, який дозволяє обґрунтувати економічну доцільність рекультиваційних заходів навіть при високих початкових витратах.

Рекультивація схилів має низку специфічних особливостей, які відрізняють її від робіт на рівнинних територіях:

Необхідність протиерозійних заходів – облаштування терас, канав, валів, лісосмуг для запобігання змиву ґрунту.

Стабілізація укосів – використання геотекстильних матеріалів, бетонних матів, біоматів, що збільшують вартість робіт.

Використання спеціалізованої техніки – на крутих схилах застосовується легка або канатна техніка, що підвищує витрати на механізацію.

Довготривалий ефект відновлення – період досягнення повної стабілізації екосистеми може тривати 5–10 років.

Високий потенціал непрямих вигод – зменшення ерозії, покращення мікроклімату, стабілізація гідрологічного режиму території.

Витрати на рекультивацію схилів зазвичай перевищують аналогічні показники на рівнинних землях у 1,5–2 рази. Проте у випадку втрати схилів земель без рекультивації збитки від деградації можуть бути у 5–10 разів більшими за витрати на їх відновлення. Тому навіть за високої вартості робіт рекультивація залишається економічно виправданою в довгостроковій перспективі.

Розрахунок економічної ефективності віз застосування плуга металника при проведенні дій з рекультивації виконано за стандартною методикою, результати приведені в додатку А

Для зменшення собівартості та підвищення ефективності рекультиваційних робіт на схилах рекомендується: застосування комбінованих технологій (механічні + біологічні заходи); використання місцевих матеріалів для відновлення родючого шару; рекультивація поетапно, з урахуванням природного самовідновлення; залучення економічних стимулів (пільги, компенсації, екологічні фонди); оцінка ефективності не лише за прямим прибутком, а й за зменшенням потенційних збитків від ерозії та деградації.

Висновки

Рекультивація схилових земель є складним і багатокомпонентним процесом, який поєднує технічні, агротехнічні, біологічні та економічні аспекти. Економічна ефективність робіт визначається співвідношенням витрат і результатів, при цьому особливо важливо враховувати довгострокові екологічні вигоди. На схилах витрати на рекультивацію є значно більшими через складні умови рельєфу, проте ефект від стабілізації територій та попередження ерозії має значну економічну й екологічну цінність.

Застосування сучасних методів оцінювання ефективності (NPV, коефіцієнтів економічного ефекту, альтернативної вартості) дозволяє об'єктивно оцінити доцільність проведення робіт. Для підвищення ефективності доцільно впроваджувати ресурсозберігаючі технології, комплексні підходи до планування та державні механізми стимулювання.

У результаті раціонально спланована рекультивація схилових земель забезпечує не лише відновлення продуктивності, а й сталий розвиток агроландшафтів, підвищуючи екологічну стабільність регіону.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. В результаті аналізу відомих способів і засобів механізації створення протиерозійних валів-терас на схилах, встановлено, що бульдозери, скрепери, грейдери, є в дійсний час основними машинами в даному технологічному процесі, мають відносно високу питому енергомісткість транспортування ґрунту за рахунок: низької продуктивності, відносно невисокої дальності транспортування ґрунту, нераціональних витрат на холості проходи, а також низька якість виконання робіт при знятті родючого шару ґрунту (перемішування шарів ґрунту при транспортуванні).

2. Для отримання мінімальної ширини (2-3 м) розкидання 90% ґрунту, що переміщується, зниження перемішування верхнього генетичного горизонту з нижніми шарами і втраті при транспортуванні до 10% з мінімальними затратами енергії на процес, найбільш перспективними є машини з самостійними робочими органами для копання і транспортування ґрунту, поєднання яких найбільш повно реалізується в роторних металельниках, що обладнані лопатями на важелях, відрізними ножами і підкопуючи ми робочими органами пасивної дії.

3. За результатами теоретичних досліджень встановлено, що на умову:

- компактного розвантаження металельника домінуючий вплив спричиняє співпадіння швидкостей шарів ґрунту за величиною і напрямком при сходженні з несучих поверхонь розвантажувальних лапатеї, а також доведено, що профіль лопаток ротора раціонально виготовляти у вигляді: ділянки логарифмічної спіралі, що орієнтована своєю випуклістю в сторону обертання ротора з полюсом в його центрі: прямолінійної ділянки, відхиленої від радіального напрямку в сторону обертання ротора на $6..8^\circ$ і дуги кола, що поєднує логарифмічну і прямолінійну ділянки;
- стабільної роботи металельника і раціональної подачі ґрунту в зону різання суттєвий вплив спричиняє підкопуючий робочий орган, а також доведено, що

транспортуюча поверхня повинна бути у вигляді поверхні із змінною гаусовою кривизною;

- ефективного заповнення між лопатевого простору ротора ґрунтом суттєвий вплив надає транспортуюча поверхня відрізного ножа, яку раціонально виконати у вигляді відсіченої частини параболічного циліндра, а також доведено, що кожній комірці ротора повинен відповідати відрізний ніж.

4. Розроблені геометричні моделі і отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначати параметри форми і положення робочих органів, відносні характеристики руху частки ґрунту по їх робочим поверхням і здійснювати розрахунки оптимальних режимів роботи роторно-лопатевого плуга-метальника

5. На основі результатів проведених досліджень розроблений роторно-лопатевий плуг-метальник, що дозволяє за рахунок зменшення роботи при збільшенні дальності транспортування ґрунту і раціональних форм поверхонь робочих органів знизити затрати енергії на процес в порівнянні з формувачем буртів БН-100, а також переміщати ґрунт в тіло протиерозійного вала з мінімальними витратами (до 10%) і з шириною розкидання від 1 до 2 м. При цьому основними конструктивно-технологічними параметрами є: швидкість руху агрегату – 1 м/с; частота обертання ротора – $3,4 \text{ с}^{-1}$; лінійна швидкість по зовнішній кромці ротора 14 м/с; діаметр ротора 1200 мм; кількість лопатей – 12 шт; кут встановлення відрізного ножа – 68° ; ширина захоплення підкопуючого робочого органу – 0,7 м; глибина копання 0,1 – 0,15 м.

Експериментально встановлено:

- відхилення від заданої глибини ходу підкопуючого робочого органу складає $\pm 1,5$ см, а просипання ґрунту при транспортуванні з верхнім відсипанням не перевищувало 10%.

- середня ширина смуги, на яку потрапляло 85-90% ґрунту при верхньому відсипанні, дорівнювала 1,8 – 2,1 м.

6. Високий рівень безпеки забезпечується також завдяки впровадженню сучасних інженерних рішень: використанню геотекстильних матеріалів,

дренажних систем, біотехнічних засобів укріплення схилів, моніторингу зсувонебезпечних зон та автоматизованого контролю за станом техніки. Своєчасне проведення технічного обслуговування машин, щоденний огляд і перевірка працездатності гальмівних та гідравлічних систем знижують ризик аварійних ситуацій. Ефективна система охорони праці на рекультиваційних роботах передбачає не лише дотримання інструкцій і норм безпеки, а й створення культури безпечної поведінки серед персоналу. Вона формується через систематичне навчання, інструктажі, тренування дій у надзвичайних ситуаціях, а також стимулювання відповідального ставлення до збереження життя і здоров'я. Реалізація комплексних заходів безпеки дозволяє не лише попередити травматизм і аварії, але й забезпечує раціональне використання техніки, підвищення продуктивності праці та ефективне відновлення природного стану порушених земель.

7. Застосування сучасних методів оцінювання ефективності (NPV, коефіцієнтів економічного ефекту, альтернативної вартості) дозволяє об'єктивно оцінити доцільність проведення робіт. Для підвищення ефективності доцільно впроваджувати ресурсозберігаючі технології, комплексні підходи до планування та державні механізми стимулювання.

У результаті раціонально спланована рекультивація схилівих земель забезпечує не лише відновлення продуктивності, а й сталий розвиток агроландшафтів, підвищуючи екологічну стабільність регіону.

Значення ефективності становитиме 1189500 грн., при терміні окупності протягом року.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Атлас почв Украинской ССР / УНИИПА им. А.М. Соколовського. – К. : Урожай, 1979. – 159 с.
2. Атлас Украинской ССР и Молдавской ССР /ЛКО «Картография»: М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983. – 69.
3. Географічна енциклопедія України /Українська Радянська Енциклопедія ім.. М.П. Бажана. – Київ, 1989. – 414 с.
4. Корабельский В.І. Специфіка формоутворення поверхнь транспортуючих органів / В.І. Корабельский // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: Будівельник. – 1991. – Вип. 52. – с. 119-122.
5. Михайлюченко М.Т. Заслон эрозии / М.Т. Михайлюченко, Ю.К. Телешок. – К.: Урожай, 1987. – 147 с.
6. Моргун Ф.Т. Почвозащитное земледелие / Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикуча, А.Г. Тарарико. – К.: Урожай, 1988. – 253 с.
7. Москаленко В.М. Использование и охрана земель / В.Ф. Добровольский, Б.М. Чепков. – К.: Урожай, 1983. – 88 с.
8. Пабат И.А. Разработка системы основной обработки почвы после стерневых предшественников на эродированных склонах центральной Степи УССР: Автореф. дис. канд. сельск. наук. – Харьков, 1979. – 23 с.
9. Рекомендации по разработке проектов противоэрозионных агротехнических мероприятий МСХ УССР, Укрземпроект. – К., 1982. – 76 с.
10. Родин П.Р. Основы формообразования повехностей резанием / П.Р. Родин. – К.: Вища школа, 1977. – 182 с.
11. Сазонов И.Н. Система мероприятий против эрозии почв / И.Н. Сазонов, М.А. Штофель, А.И. Пилипенко. – К.: Вища школа, 1984. – 243 с.
12. Уманець Д.О. Рекультивация забруднених війною земель // Землеустрій і топографічна діяльність в умовах війни та післявоєнного

відновлення : зб. наук. праць Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (Київ, 8–10 берез. 2023 р.). К. : Вид. центр НУБіП, 2023. С. 115-117.

13. Чайка Т.М., Трегуб М.В. Рекультивація деградованих земель як основа відновлення втраченого потенціалу України // ІР НМУ. 2023. (електронне джерело).

14. Мачуська І.Б., Тітова В.М., Аргатюк І.В. Рекультивація земель у сфері надрокористування в Україні: теоретико-правовий аналіз // Аналітичне-порівняльне правознавство. № 4, 2024. С. 271-275.

15. Dorosh Y., Sakal O., Kharytonenko R., Derkul'skyi R. Land management of reclaimed lands: current status and development prospects // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. DOI:10.31548/zemleustriy 2024.04.01.

16. Havryushenko O.O., Mytsyk O.O., Kharytonov M., Honchar N.V., Babenko M.G., Pashova V.T., Tkalic Y.I. The suitability of physical and chemical properties of rocks for land reclamation in different subzones of the Ukrainian Steppe // Journal of Geology, Geography and Geoecology. DOI:10.15421/112223.

17. Опара В.М., Бузіна І.М., Винограденко С.О. Обґрунтування підвищення еколого-економічної ефективності використання земельних ресурсів // Вісник Харківського нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». № 46 (2017). DOI:10.26565/2410-7360-2017-46-21.

18. Високолян Н.М., Мартиненко А.П. Рекультивація земель, порушених Живанівським родовищем гранітів // Наукові записки : зб. наук. пр. Кіровоград : КНТУ, Вип. 10, ч. 1, 2010. С. 80-82.

19. Тихенко Р.В. Рекультивація порушених земель: міжнародний досвід // Сучасні виклики в управлінні земельними ресурсами: матеріали І Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 7 червня 2024 р. К. : НУБіП України, 2024. С. 100-103.

20. Hunko L., Verezhna K. Проблеми щодо рекультивації порушених земель в Україні // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. DOI:10.31548/zemleustriy 2021.02.06.

21. Подолян А.В., Домбровська О.А. Рекультивация як стратегія відновлення порушених земель. Харків : ДБТУ, 2024.

22. Вишневецький Д.С., Малимон С.С. Рекультивация порушених земель в Україні // Матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф. «Формування сталого землекористування: проблеми та перспективи», м. Київ, 16-17 листопада 2023 р. К. : Ред.-видав. відділ НУБіП України, 2023. С. 93-95.

23. Закон України «Земельний кодекс України» від 25.10.2001 № 2768-III. Стаття 166. Рекультивация порушених земель.

24. Selikhov D., Derevyanko B., Armash N., Severinova O. State reclamation credit in the system of legislation in Ukrainian lands at the XIX–XX centuries // Linguistics and Culture Review. V5N4 (2021). DOI:10.21744/lingcure.v5nS4.1786.

25. Semak U., Melnychenko H., Stefanyshyn B. Forest reclamation of technogenic lands: a case study of ash and slag dumps // Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. Biology. DOI:10.15330/jpnbio.11.146-155.

26. Dorosh Y., Tarnopolskyi A., Dorosh O., Kharytonenko R., Melnyk D. Scientific and methodological approaches to the classification of land affected by military actions in Ukraine // Zemleustriy, Land Management, Cadastre and Land Monitoring. DOI:10.31548/zemleustriy2025.01.01.

27. Shkvirko O., Tymchuk I., Holets N., Malovanyy M. Overview: the prospect of the use of energy crops for biological reclamation of disturbed lands // Environmental Problems. 2019. Vol.4, No.2. P. 91-96. DOI 10.23939/ep2019.02.091.

28. Susak M. Improving approaches to the normative monetary valuation of reclaimed lands // Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Architecture & Construction. 2023. No.24. P. 222-... DOI 10.31734/architecture2023.24.222.

29. Snitynskyi V., Ivankiv M., Kachmar N., Datsko T., Dydiv A., Horodyska I. Principles of reclamation and phytomelioration of devastated landscapes // Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy. 2023. No.27. P. 13-21. DOI 10.31734/agronomy2023.27.013.

30. Havryushenko O., Mytsyk O., Kharytonov M., Honchar N., Babenko M., Pashova V., Tkalich Y. The suitability of physical and chemical properties of rocks for land reclamation in different subzones of the Ukrainian Steppe // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. Vol.31 No.2. P. 251-259. DOI 10.15421/112223.

31. Tymchuk I., Malovanyy M., Shkvirko O., Chornomaz N., Popovych O., Grechanik R., Symak D. Review of the global experience in reclamation of disturbed lands // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol.22 No.1. P. 24-30. DOI 10.12912/27197050/132097.

32. Jeldes I.A., Drumm E.C., Schwartz J.S. The Low Compaction Grading Technique on Steep Reclaimed Slopes: Soil Characterization and Static Slope Stability // *Geotechnical & Geological Engineering*. 2013. Vol.31. P. 1261-1274. DOI 10.1007/s10706-013-9648-0.

33. Li Y. Suitability evaluation of land reclamation as arable land in coal mining area based on catastrophe theory // *SN Applied Sciences*. 2023. Vol.5. P. 146. DOI 10.1007/s42452-023-05363-2.

34. Mulyadi M., Makhrawie M. Morphological characteristics of top soiling in the reclamation areas of post-coal mining at Kutai Kartanegara and Kutai Timur Regencies // *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2023. Vol.10 No.2. P. 4163-4177. DOI 10.15243/jdmlm.2023.102.4163.

35. Aliev Z.H. Research of possibilities of studying the areas of development of erosion of slope lands in Azerbaijan and fight it // *Annals of Civil and Environmental Engineering*. 2019. Vol.3. P. 040-044. DOI 10.29328/journal.acee.1001016.

36. Korniyenko V.Ya., Chukharev S.M., Zaiets V.V., Vasylichuk O.Yu. Reclamation of destructed lands owing to illegal amber production in northern regions of Ukraine // (unnamed journal). 202x. P. 67-... DOI 10.31713/m905.

37. Koshel A., Kolhanova I., Kempa O. Anthropogenic change of landscapes due to amber extraction and measures for their restoration // *Land management, cadastre and land monitoring*. 2025. No.1. DOI 10.31548/zemleustriy2025.01.03.

38. Dorosh Y., Tarnopolskyi A., Dorosh O., Kharytonenko R., Melnyk D. Scientific and methodological approaches to the classification of land affected by military actions in Ukraine // Land management, cadastre and land monitoring. 2025. No.1. DOI 10.31548/zemleustriy2025.01.01.

39. Місінкевич Л. Protection measures as conservation and reclamation in the post-war period of time in Ukraine and their legal consolidation in the current legislation of Ukraine // Університетські наукові записки. 2022. № 5-6 (89-90). С. 27-34.

40. Soni M.L., Subbulakshmi V., Renjith P.S., Dagar J.C., Yadava N.D. Reclamation of Ravine Lands for Higher Production // Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security. Springer Singapore, 2018. P. 279-307. DOI 10.1007/978-981-10-8043-2_12.

41. Zulkarnain R., Hartanto M.N., Paranoan R., Uzhary S.A., Rahmi A. Erosion Rate in Post-Coal Mining Reclamation Area in Kutai Kartanegara District, Indonesia // Journal of Agriculture & Ecology Research International. 2023. Vol.24 No.4. P. 13-21. DOI 10.9734/jaeri/2023/v24i4533.

42. Land management of reclaimed lands: current status and development prospects // Land management, cadastre and land monitoring. 2024. No.4. DOI 10.31548/zemleustriy2024.04.01.

43. Reclamation of disturbed lands: international experience // Матеріали І Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні виклики в управлінні земельними ресурсами: ...», Київ, 7 червня 2024 р. Київ : НУБіП України, 2024. С. 100-103.

44. Research on reclamation of technogenic lands: forest reclamation of ash and slag dumps // Semak U., Melnychenko H., Stefanyshyn B. Forest reclamation of technogenic lands: a case study of ash and slag dumps // Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. Biology. 2024. Vol.11. P.146-155. DOI 10.15330/jpnubio.11.146-155.

ДОДАТКИ

Додаток А

Ефективність від впровадження

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		базовий	проект
1	Вид роботи	Відсіпка протиерозійних валів-терас	
2	Обсяг роботи, м ³	150000	150000
3	Склад агрегата: трактор машина	Т-150К БН-100А	Т-150К ПМ-300
4	Продуктивність, м ³ /год.	50	148
5	Кількість нормо-годин у обсязі робіт	3000	1013,51
6	Кількість обслуговуючого персоналу -трактористів-машиністів -допоміжних працівників	1 -	1 -
7	Витрати праці, люд.·год/га	3000	1013,51
8	Тарифний розряд роботи	V	V
9	Тарифна ставка, грн/год	60	60
10	Норма витрати пального, кг/год.	24,3	22,7
11	Балансова вартість, грн: трактора машини	400000 55000	400000 60000
12	Комплексна ціна ПММ, грн./кг	60	60
13	Експлуатаційні витрати, грн./м ³	12,2	4,26
14	Капітальні вкладення, грн./м ³	3,03	3,07
15	Приведені затрати, грн./м ³ На весь обсяг роботи, грн	12,65 1897500	4,72 708000
16	Річний економічний ефект, грн		1189500
17	Строк окупності, років		0,1