

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІЖРЕМОНТНОГО НАРОБІТКУ  
СТРІЛЧАСТИХ ЛАП ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ»

**Виконав:**

здобувач освітнього ступеня «Магістр»  
освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності 208  
«Агроінженерія» денної форми навчання  
**АВДЄЄВ Віталій Михайлович**

**Керівник:**

канд. техн. наук, доцент  
**БОНЧИК Віталій Семенович**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_  
Шкала ECTS \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025р.

Допускається до захисту:

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія», канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_

**ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

м. Кам'янець-Подільський, 2025

## ЗМІСТ

	Стор
Завдання на виконання кваліфікаційної роботи.....	4
Анотація.....	5
Реферат.....	6
Перелік умовних скорочень, термінів, символів, позначень.....	7
ВСТУП.....	8
<b>1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ, ВИДІВ І ПРИЧИН ВІДМОВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....</b>	<b>11</b>
1.1 Спрацювання робочих органів ґрунтообробних машин.....	11
1.2 Вплив ґрунтових умов і режимів роботи на інтенсивність спрацювання	12
1.3 Вплив спрацювання ріжучих ґрунтообробних робочих органів на енергетичні і якісні показники роботи.....	18
1.4 Визначення допустимого спрацювання лап культиваторів.....	22
Висновки та завдання досліджень.....	23
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПРАЦЮВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП НА ЇХ РОБОТОЗДАТНІСТЬ.....</b>	<b>24</b>
2.1 Дослідження зміни зусиль на лезі від ступеня його спрацювання.....	24
2.2 Аналіз процесу підрізання коренів бур'янів.....	32
2.3 Оптимізація міжремонтного наробітку лап культиваторів за критерієм витрати коштів.....	35
Висновки до другого розділу.....	37
<b>3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>38</b>
3.1 Програма досліджень .....	38
3.2 Методика експериментальних досліджень.....	38
3.3 Планування експериментальних досліджень.....	39
3.4 Методика визначення залежності тягового опору від ступеня спрацювання лез лап.....	44
3.5 Методика дослідження фізико-механічних властивостей коренів бур'янів.....	46

Висновки до третього розділу.....	53
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ СПРАЦЮВАННЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	54
4.1 Дослідження динаміки спрацювання та затуплення лез лап культиваторів.....	54
4.2 Вплив ступеня спрацювання лез лап на тяговий опір.....	56
4.3 Дослідження фізико-механічних властивостей коренів бур'янів.....	61
4.4 Визначення фрикційних властивостей коренів бур'янів.....	64
Висновки до четвертого розділу.....	67
5 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОПУСТИМОГО СПРАЦЮВАННЯ ЛАП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	68
5.1 Вплив спрацювання лап на якість обробітку при культивації.....	68
5.2 Обґрунтування допустимого спрацювання за мінімальними сумарними затратами на енерговитрати та відновлення лап.....	69
5.3 Витрати коштів на відновлення лап.....	71
5.4 Економічна ефективність досліджень.....	72
Висновки до п'ятого розділу.....	73
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	74
6.1 Правила охорони праці під час ремонту ґрунтообробних машин.....	74
6.2 Техніка безпеки під час роботи з пристроями.....	74
6.3 Безпечність технологічного обладнання.....	76
Висновки до шостого розділу.....	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри,  
доцент \_\_\_\_\_ Василь ДУГАНЕЦЬ  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Здобувачу АДЄСВУ Віталію Михайловичу

1. Тема роботи: «Дослідження оптимального міжремонтного наробітку стрілочастих лап ґрунтообробних агрегатів»

2. Керівник роботи: БОНЧИК Віталій Семенович, доцент

Затверджено наказом по закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від «04» квітня 2025 року, № 355с

Строк подання здобувачем закінченої роботи «24» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Завдання на кваліфікаційну роботу
2. Науково-технічна література з ремонту ґрунтообробних машин
3. Авторські свідоцтва і патенти на винаходи
4. Результати наукових досліджень

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

1. Аналіз умов роботи, видів і причин відмов робочих органів ґрунтообробних машин
2. Теоретичні дослідження впливу спрацювання культиваторних лап на їх робоздатність
3. Програма і методика експериментальних досліджень
4. Експериментальні дослідження впливу ступеня спрацювання лап культиваторів на ефективність роботи
5. Обґрунтування допустимого спрацювання лап та визначення економічної ефективності
6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні висновки по роботі

Список використаних джерел

Додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Тема кваліфікаційної роботи, прізвище доповідача та керівника, рік захисту
2. Актуальність теми роботи та проблема дослідження
3. Мета, об'єкт, предмет дослідження
4. Завдання роботи
5. Схема зміни профілю кромки леза лапи внаслідок її спрацювання та утворення затильної фаски
6. Кількість підрізаних бур'янів у залежності від радіуса леза лап
7. Залежність опору ґрунту  $Rl$ , обумовленого дією верхньої фаски, від величини проникнення клина

8. Залежність опору ґрунту  $R_{2x}$ , обумовленого дією затильної фаски від висоти  $h$  та кута нахилу  $e_3$
9. Схема взаємодії ножа з коренем бур'яну
10. Схема до визначення затрат енергії
11. Стенд ТУД-5 в зборі з тензоланкою та затискачами
12. Пристрій для вимірювання зусилля при статичному навантаженні
13. Графік залежності радіуса спрацьованого леза  $r$  від наробітку  $U$  та пройденого шляху  $L$
14. Загальний вигляд бур'янів
15. Показники техніко-економічної ефективності
16. Загальні висновки по роботі

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	ДЕВІН В.В., доцент		

Дата видачі завдання «04» квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів роботи		Підпис керівника
		планово	фактично	
	Вступ	15.04.25	15.04.25	
1	Аналіз умов роботи, видів і причин відмов робочих органів ґрунтообробних машин	12.05.25	12.05.25	
2	Теоретичні дослідження впливу спрацювання культиваторних лап на їх роботоздатність	05.06.25	05.06.25	
3	Програма і методика експериментальних досліджень	30.06.25	30.06.25	
4	Експериментальні дослідження впливу ступеня спрацювання лап культиваторів на ефективність роботи	18.09.25	18.09.25	
5	Обґрунтування допустимого спрацювання лап та визначення економічної ефективності	15.10.25	15.10.25	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	31.10.25	31.10.25	
	Загальні висновки по роботі	06.11.25	06.11.25	
	Список використаних джерел	18.11.25	18.11.25	
	Додатки	24.11.25	24.11.25	

Здобувач

Керівник

Віталій АВДЄЄВ

Віталій БОНЧИК

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі магістра представлено технічне рішення, щодо підвищення ефективності роботи культиваторних стрілчастих лап шляхом визначення оптимального їх міжремонтного наробітку. Позитивний результат досягається завдяки визначенню оптимальної допустимої величини затуплення кромки леза лап через урахування якісних та енергетичних показників їх роботи.

## THE SUMMARY

The master's qualification work presents a technical solution to increase the efficiency of cultivator tine blades by determining their optimal service life. A positive result is achieved by determining the optimal allowable value of blunting of the blade edge of the blades by taking into account the qualitative and energy indicators of their operation.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 85 аркушах формату А4, яка вміщує 6 розділів, 14 таблиць, 26 рисунків, 28 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 16 аркушах.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності роботи культиваторних стрілчастих лап шляхом визначення оптимального їх міжремонтного наробітку.

У роботі проведені дослідження граничних параметрів спрацювання лез, після досягнення яких подальша експлуатація лап стає не ефективною і не доцільною.

Теоретичними дослідженнями процесу взаємодії спрацьованої кромки лез лап з ґрунтом встановлено характер впливу величини її спрацювання на питомий опір ґрунту та одержано математичний опис даного процесу.

Проведено аналіз та обґрунтовано умови для визначення допустимого радіуса леза в залежності від твердості ґрунту, руйнуючого напруження кореня бур'яну, глибини обробітку та кутів тертя коренів по лезу і ґрунту.

Розрахована економічна ефективність від застосування нового методу визначення оптимального міжремонтного наробітку, яка становить у середньому 27600 грн/рік.

Ключові слова: СПРАЦЮВАННЯ, СТІЛЧАСТА ЛАПА ,  
ВІДНОВЛЕННЯ, МІЖРЕМОНТНИЙ НАРОБІТОК, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ,  
ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
КРМ	Кваліфікаційна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
ПЕОМ	Персональна електронно-обчислювальна машина
ДСТУ	Державний стандарт України
ККД	Коефіцієнт корисної дії
БФЕ	Багатофакторний експеримент
ОЦКП	Ортогональний центральний композиційний план

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Відомо, що важливою умовою підвищення економічної ефективності землеробства є забезпечення високопродуктивних і якісних показників роботи сільськогосподарських машин та знарядь. Підвищення культури землеробства тісно пов'язано із якістю виконання технологічного процесу обробітку ґрунту. Підвищення експлуатаційних та якісних показників роботи ґрунтообробних робочих органів є запорука отримання високих врожаїв та збереження енергоресурсів.

В Україні майже 70 % території знаходиться під сільськогосподарськими угіддями, що становить близько 42 млн гектарів, з яких 33 млн га – це орні землі. Відомо, що неякісний обробіток ґрунту зменшує врожайність від 15 до 30 %. Якість роботи машин для обробітку ґрунту погіршується внаслідок швидкого спрацювання їх робочих органів. Таким чином, від величини спрацювання останніх залежатиме ефективність роботи агрегатів.

Культиватори відносяться до найпоширеніших машин для обробітку ґрунту. Основними робочими органами культиваторів є стрілочасті лапи, які використовуються як для передпосівного обробітку ґрунту, так і для догляду за рослинами.

Головною вимогою до роботи культиваторних лап є забезпечення якісного виконання технологічного процесу при можливо мінімальних енерговитратах.

Із збільшенням наробітку спостерігається погіршення якісних показників роботи культиваторних лап, зростання енерговитрат, що у наслідку призводить до зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Для визначення допустимого спрацювання, яке можна виразити обробленою площею або пройденим шляхом, необхідно знати, як впливає ступінь спрацювання на основні показники роботи лап. Наявність такої інформації дозволить обґрунтувати оптимальний міжремонтний наробіток, тобто найбільш ефективно використовувати культиваторні лапи, що і підтверджує актуальність

досліджень.

*Мета і завдання досліджень.* Метою роботи є підвищення ефективності роботи культиваторних стрілчастих лап шляхом визначення оптимального їх міжремонтного наробітку.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:**

1. Встановити залежність величини спрацювання кромки лез лап та зростання питомого опору від наробітку культиваторного агрегату;
2. Дослідити вплив величини спрацьованої кромки леза лапи на глибину і рівномірність обробітку та ступінь підрізання коренів бур'янів;
3. Експериментально дослідити залежність зміни руйнівного напруження при розрізанні коренів бур'янів лапами з різною величиною спрацювання їх кромки лез;
4. Обґрунтувати оптимальний міжремонтний наробіток стрілчастих лап та визначити економічну ефективність впровадження результатів досліджень.

*Об'єкт дослідження* - технологічний процес роботи культиваторних лап із різним спрацюванням їх кромки лез.

*Предметом дослідження* - характер зміни енергетичних та якісних показників роботи культиваторних лап із різним спрацюванням їх кромки лез.

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження процесів взаємодії леза лапи з коренем бур'яну та ґрунтовим середовищем проведені з використанням механіко-математичного моделювання на підставі основних положень вищої математики, теоретичної й аналітичної механіки, опору матеріалів та землеробської механіки. Оптимальний міжремонтний наробіток культиваторних лап обґрунтовано за критерієм витрати коштів.

Експериментальні дослідження виконували у лабораторних і виробничих умовах за відповідними методиками з використанням спеціального і стандартного обладнання, дослідних (модельованих) зразків ґрунтообробних робочих органів із застосуванням методів планування багатофакторного експерименту. Статистичну обробку експериментальних даних здійснено із застосуванням дисперсійного, кореляційного та регресивного аналізів з використанням ПЕОМ.

*Практичне значення.* Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в наступному:

- розроблена методика визначення оптимального міжремонтного наробітку культиваторних стрілочастих лап на основі комплексного підходу відповідно до системи якості „поле-машина”.

- аналітично визначено умови перерізання коренів бур'янів з урахуванням твердості ґрунту, руйнівного напруження коренів бур'янів та кутів тертя коренів по робочому органу та ґрунту;

- отримані математичні моделі (рівняння регресії) залежності тягового опору, глибини обробітку і ступеня підрізання коренів бур'янів від величини спрацювання кромки лез лап.

*Впровадження результатів дослідження.* Результати роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін по дослідженню зношування ґрунтообробних робочих органів, а також при проведенні лабораторних робіт з дисципліни «Ремонт машин та обладнання».

*Особистий внесок здобувача вищої освіти.* Основні результати роботи отримані автором самостійно. Постановка проблеми і задач дослідження та їх аналіз виконаний автором спільно з керівником.

Особисто здобувачем встановлено аналітичну залежність оптимального міжремонтного наробітку лап від експлуатаційних показників роботи та вартості відновлення.

*Публікації.* За матеріалами роботи опубліковано 2 статті у збірниках матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців ЗВО «ПДУ» і Житомирського агротехнічного фахового коледжу у 2025 році.

# 1 АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ, ВИДІВ І ПРИЧИН ВІДМОВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

## 1.1 Спрацювання робочих органів ґрунтообробних машин

Проектування конструктивних параметрів робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь передбачає врахування як різновидів виконуваних технологічних операцій, так і особливостей фізико-механічних властивостей ґрунту.

Велику увагу вивченню технологічних властивостей ґрунту, як основ раціонального та ефективного використання ґрунтообробних машин, де встановлено, що до найбільш важливих технологічних властивостей ґрунту відносять важкість обробітку, абразивність і липкість. Липкість і кам'янистість не є новими характеристиками ґрунту, однак, важкість обробітку і абразивність не достатньо вивчені. [22]

Термін “абразивне спрацювання” походить від латинського слова *abradeze*, що означає обскоблювати, зскоблювати. Процес спрацювання робочих органів надто складний унаслідок мінливості умов і абразивних властивостей різних типів ґрунтів.

В основі класифікації [15] виділено такі основні характеристики: фізичні властивості тіла, що викликає спрацювання; вид тертя; наявність мащення. За характером основних явищ, запропоновано три групи видів спрацювання (тертям і ковзанням): механічне, молекулярно-механічне та корозійно-механічне.

У визначенні фізичної сутності процесу абразивного спрацювання думки вчених різняться. Наприклад, Дубровін М.І. [13] вважає, щодо абразивного спрацювання відносять процес, викликаний ковзанням, заглибленням та зрізанням твердими частинками мікрооб'ємів металу у поверхневих шарах деталей.

Із результатів його досліджень випливає, що в умовах експлуатації руйнування металу за рахунок видалення мікрошарів матеріалу неможливо.

Це доведено шляхом детального дослідження ґрунтових частинок, а саме:

геометрії, ступеня їх фіксації у ґрунті, а також дослідженнями, які пов'язані з характером ушкоджень металу залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту. У зв'язку з цим, запропонована гіпотеза, згідно якої руйнування відбувається шляхом перетворення пластично деформованого металу в поверхневих шарах у другорядні структури, із наступним їх вилученням абразивними частинками [13].

На думку Костецького Б.І. абразивне спрацювання як підвид механічного, має дві чітко виражені форми: перша – де переважає хімічне руйнування, друга – механічне. Останній підвид спрацювання вважається достатньо поширеним.

У своїх роботах дослідників[14], вказує на те, що причиною, яка викликає спрацювання металу у ґрунті, слід вважати багаторазове деформування поверхневого шару абразивними частинками. В результаті цього, поступово формуються тріщини. Внаслідок втомленості металу тріщини розриваються, що призводить до видалення окремих частинок матеріалу з поверхні тертя.

Про руйнування поверхневого шару було виділено три основні види руйнування: мікрорізання, багаторазове деформування й спрацювання внаслідок старіння металу. Крім цього, у різних умовах всі види спрацювання взаємопов'язані.

Процес абразивного спрацювання є досить простим, який представляє собою елементарний процес дряпання. Тому, між явищами простого дряпання та абразивним спрацюванням існує тісний зв'язок. Автор, посилаючись на результати своїх досліджень [15], стверджує, що спрацювання відбувається за рахунок пластичного деформування металу частинками, які мають округлі виступи та грані.

Доведено, що спрацювання лез ріжучих робочих органів відбувається внаслідок дряпання металу гострими кутами й ребрами твердих ґрунтових частинок. Серед мінералів, які знаходяться у ґрунті, найбільшу твердість має кварц і польовий штап. Ці мінерали, особливо кварц, є основною складовою більшості піщаних ґрунтів. Значно меншу твердість мають частинки порід, які утворюють глинисті ґрунти, тому інтенсивність спрацювання робочих органів на суглинках порівняно із супісками значно менша.

При вивченні абразивності п'яти різних за механічним складом ґрунтів лісостепової зони України, прийшли до висновку, що абразивність ґрунтів можна оцінювати відсотковим вмістом у ньому кварцових частинок розміром 0,25-1,0 мм. Найбільш інтенсивне спрацювання викликають не великі, а маленькі піщані частинки і крупний пил, тобто частинки розміром 0,01-0,25 мм.

Посилаючись на дослідницькі роботи можна зробити узагальнюючий висновок про те, що абразивність ґрунтів знаходиться у прямій залежності від вмісту у ньому твердих мінеральних частинок розміром більших 0,01 мм [2,15].

Абразивні частинки, які знаходяться у контакті з поверхнею металу, можна умовно розділити на дві групи:

- частинки, які в процесі взаємодії з поверхнею деталей унаслідок незначних сил зчеплення матеріалу руйнуються, не завдаючи суттєвих деформацій поверхні матеріалу;

- частинки, тиск на площу контакту яких доходить до межі циклічних навантажень.

Вони викликають багаторазове деформування поверхні тертя і цим прискорюють процес руйнування. Таке руйнування є умовним, внаслідок того, що абразивна частинка в різні моменти взаємодії може здійснювати як активний процес руйнування, так і пластичне деформування поверхні матеріалу.

Таким чином, спрацювання деталей робочих органів являє собою змішаний процес поверхневого руйнування.

У роботі [5] вказується, що на інтенсивність абразивного спрацювання впливають ґрунтові органічні полімери (полісахариди та білки), які знаходяться у рослинних залишках і продуктах тваринництва. Органічна частина (залишки флори та фауни) складає близько 12 % поверхневого шару ґрунту (високомолекулярні гумінові сульфокислоти). Механізм спрацювання сталі у полімерно-абразивному середовищі пов'язаний з руйнуванням макромолекул полімеру, продукти якого діють подібно до низькомолекулярної поверхнево-активної органічної речовини, яка викликає ефект [6].

Абразивна й полімерна складова середовища можуть суттєво впливати на

швидкість поверхневого руйнування металів.

Дослідження [5] показали, що присутність полімерів в абразивному середовищі прискорює спрацювання металів у декілька разів.

Інтенсивність спрацювання деталей залежить від розмірів абразивних частинок, їх твердості, міцності й гостроти кромки. Тому при вивченні механізму абразивного спрацювання важливо знати розміри абразивних частинок.

Досліджуючи процес спрацювання у польових умовах, було зроблено висновок, що спрацювання залежить виключно від механічного складу ґрунту. Найбільший вплив на спрацювання мають абразивні частинки ґрунту розміром 0,1-0,35 мм.

При збільшенні діаметра частинок абразивні властивості середовища зростають. Так, наприклад, спрацювання частинками діаметром 0,5-1,0 мм у чотири рази вище, ніж частинками діаметром 0,1-0,25.

Таким чином, із аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що для забезпечення високої зносостійкості поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин необхідно використовувати такі матеріали й покриття, основна структура яких по твердості дорівнює або перевищує твердість абразиву ґрунту.

## 1.2 Вплив ґрунтових умов і режимів роботи на інтенсивність спрацювання

Відомо [4,9], що сучасні сільськогосподарські машини при експлуатації у 80-90 % випадків втрачають працездатність внаслідок відмов, викликаних спрацюванням деталей.

Фактори, які впливають на довговічність робочих органів ґрунтообробних машин можна розділити на ґрунтово-кліматичні, експлуатаційні та пов'язані зі зносостійкістю матеріалу. Це є механічні властивості ґрунтів, зокрема: вологість і твердість, а також твердість абразивних частинок. До експлуатаційних факторів відносять швидкість переміщення, зусилля на поверхні тертя, температуру та ін.

Як зазначалося, абразивне спрацювання робочих поверхонь викликають

мінеральні тверді частинки з неметалічними атомними зв'язками [12].

Різноманітні види геометричних форм та механічні властивості абразивних частинок в різних умовах навантаження, сприяють виникненню напружень у місцях контакту.

Одним із найбільш поширених абразивів вважається кварцовий пісок. Він складає у деяких видів ґрунту близько 70-80 % [9] і є головним елементом, який руйнує поверхню деталей.

Для розподілу ґрунтів по абразивності ввели коефіцієнт “ $m$ ” – відношення інтенсивності спрацювання деталі у ґрунті певного механічного складу  $\Delta l$  до інтенсивності спрацювання тієї ж деталі в еталонному середовищі  $\Delta l_{ет}$  при однакових умовах роботи:

$$m = \frac{\Delta l}{\Delta l_{ет}}. \quad (1.1)$$

Необхідно зазначити, що запропонований коефіцієнт є лише оцінювальним параметром процесу. Він залежить від ряду таких факторів як: навантаження, вологість, зв'язність та ін.

Тому, для вивчення динаміки зазначеного процесу ним користуватися не доцільно. Для оцінки форми твердих частинок ґрунту [23] було запропоновано коефіцієнт  $K_\phi$ :

$$K_\phi = \frac{M(n_i)M(D_i - d_i)}{M(R_i)}, \quad (1.2)$$

де  $M(n_i)$ ,  $M(R_i)$ ,  $M(D_i - d_i)$  – математичне очікування відповідно для числа вершин, радіусів і різниці діаметрів кола, описаного навколо контуру та вписаного у контур зерна частинки.

Коефіцієнт  $K_\phi$  найбільш точно характеризує абразивні властивості ґрунту. Але для його визначення існують певні складнощі і тому його не використовують на практиці.

На інтенсивність спрацювання деталей впливають фізико-механічні властивості ґрунту: вологість, твердість, липкість, коефіцієнт тертя та ін.

Ґрунт дуже складна система з відповідним складом мінеральних елементів (тверда фаза), внутрішньою атмосферою (газова фаза) та своєрідним водним

режимом (рідка фаза) [4].

Різні поєднання цих фаз у ґрунті дають різні фізико-механічні характеристики, які корельовано між собою і майже всі визначаються механічним складом.

У зв'язку з цим, роботи різних дослідників по визначенню зносостійкості матеріалів у ґрунті складно порівняти між собою.

У роботах [3,4] досліджено питання про значний вплив твердості ґрунту на інтенсивність спрацювання ґрунтообробних робочих органів. Встановлено, що при зміні твердості ґрунтового середовища у два рази, інтенсивність спрацювання зростає відповідно в 1,5-2,5 рази у залежності від типу ґрунтів.

За результатами дослідів було доведено, що існує тісний кореляційний зв'язок між питомим тяговим опором плуга і твердістю ґрунту. Характер такого зв'язку визначається типом і та станом ґрунту [12]. У роботі підтверджується кореляційний зв'язок між тяговим опором і твердістю ґрунту, однак, він спостерігається лише при обробі ґрунту плугом, а при роботі культиваторних лап такий зв'язок не існує. Визначення твердості ґрунту у якості його характеристики є обов'язковим тому, що це об'єктивний показник стану ґрунту.

Широку увагу приділяли питанню впливу вологості на характер взаємодії ґрунту з робочим органом культиватора присвячено ряд робіт.

Зокрема, було встановлено [22], що при збільшенні вологості ґрунту до фунікулярного стану покращується зчеплення частинок між собою і це призводить до зростання швидкості відносного ковзання та інтенсивності спрацювання. Подальше збільшення вологості викликає зменшення сил зчеплення внаслідок зменшення поверхневого натягу й припинення впливу колоїдів.

Спрацювання робочих органів у вологому ґрунті може бути різним внаслідок того, що вода і розчинені в ній речовини є активним адсорбованим середовищем.

При оранці пересушених суглинних та глинистих ґрунтів утворюються великі грудки діаметром до 0,5 м. У таких умовах роботи тяговий опір може бути максимальним. А при обробі перезволожених структурних ґрунтів (при

відносній вологості понад 80%) утворюється скиба у формі суцільної смуги, поверхня якої після висихання непридатна для сівби.

При оранці перезволожених структурних ґрунтів спостерігається значне налипання ґрунтової маси на робочі органи, неповне перевертання скиби, рослинні рештки не загортаються та ін.

Таким чином, найбільш сприятливі умови для роботи будь-яких ґрунтообробних знарядь будуть у тому випадку, коли ґрунт знаходиться у стані зрілості.

При високих швидкостях переміщення ґрунтообробного агрегату інтенсивність спрацювання робочої поверхні за одиницю часу вище, ніж на звичайних швидкостях.

Але інтенсивність спрацювання на одиницю виконаної роботи в усіх випадках була майже незмінною, або навіть дещо меншою, ніж при роботі на звичайних швидкостях.

Інтенсивність спрацювання робочих поверхонь на високих швидкостях руху агрегату зростає внаслідок збільшення питомого навантаження при достатньо незначній зміні швидкості відносного переміщення абразивних частинок ґрунту і знаходиться у прямій залежності від швидкості руху агрегату.

Також з результатів аналізу робіт [18] виявлено, що при високих швидкостях руху ґрунтообробного агрегату інтенсивність спрацювання робочих органів зростає внаслідок збільшення питомого навантаження на поверхню деталей робочих органів. Але зростання інтенсивності спрацювання при цьому не знаходиться у прямій залежності від збільшення швидкості руху машини.

Відомо, що за рахунок дії рушіїв агрегатів на поверхню ґрунту під час його обробітку відбувається ущільнення поверхневого шару і, як наслідок, спостерігається зближення і стиснення абразивних ґрунтових частинок. Тривалість процесу ущільнення ґрунту як і величина зусилля контакту ґрунтової маси з робочою поверхнею, залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Дослідженнями [17] встановлено, що при збільшенні глибини оранки а відбувається зростання тягового опору  $P$  унаслідок зростання питомого навантаження на окремі ділянки робочого органу. Ця залежність може бути

представлена степеневою функцією:

$$P = ka^n, \quad (1.3)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості ґрунту й особливості робочої поверхні;

$n$  – степеневий показник.

Таким чином, із аналізу літературних джерел випливає, що функціональної залежності між питомим опором і глибиною обробітку не спостерігається. Тип цієї залежності визначається фізичним станом ґрунту і його твердістю по горизонтах орного шару.

Результати досліджень свідчать, що при збільшенні глибини обробітку ґрунту, за умови ущільнених нижніх шарів, інтенсивність спрацювання також збільшується внаслідок підвищення питомого навантаження.

### 1.3 Вплив спрацювання ріжучих ґрунтообробних робочих органів на енергетичні і якісні показники роботи

Відомо, що в наслідок зміни геометричних параметрів ріжучих елементів робочих органів ґрунтообробних машин відбувається збільшення енергетичних витрат, а також якісних показників роботи агрегатів.

При збільшенні наробітку агрегату змінюються геометричні показники кромки лез культиваторних лап, зменшується довжина їх носової частини, загальна ширина й довжина крил лап. Всі ці зазначені зміни по різному впливають на енергетичні (тяговий опір) та якісні (підрізання коренів бур'янів, глибина і рівномірність обробітку, вирівнювання поверхні ґрунту, грудкуватість та ін.) показники.

Як відомо, найбільш поширеними дефектами культиваторних стрілчастих і односторонніх лап є спрацювання (закруглення) кромки їх лез, поява нижньої (затильної) фаски, спрацювання (зменшення) носка, злам та згин крил лап .

У роботах дослідників [13] вказується, що внаслідок недостатньої

зносоустійкості, носова частина культиваторних лап спрацьовується в 3-4 рази швидше, ніж крила. Це пояснюється тим, що при русі лапи абразивна маса створює підвищений тиск на носову поверхню лап, а по боковим поверхням вона ковзає. У процесі спрацювання на лезі виникає затильна фаска, яка утворюється під від'ємним кутом –  $\varepsilon_3$  (рис. 1.1).

Величина кута  $\varepsilon_3$  залежить від типу та стану ґрунту. Затильна фаска леза ущільнює шар ґрунту на дні борозни і це викликає реактивну силу, на величину якої найбільше впливає висота  $h$ .

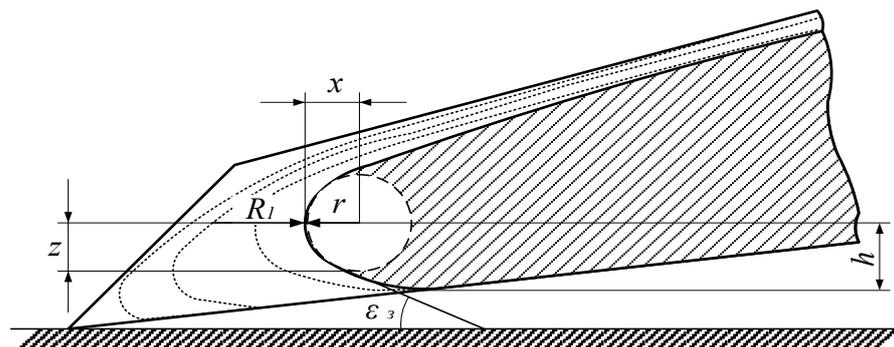


Рисунок 1.1 - Схема зміни профілю кромки леза лапи внаслідок її спрацювання та утворення затильної фаски

У процесі спрацювання висота розташування й ширина затильної фаски постійно збільшується, що викликає зростання реактивної сили, яка досягаючи певної величини, „виштовхує” робочий орган із ґрунту.

Ряд дослідників запропонували аналітичні залежності для визначення впливу ступеня спрацювання леза на тяговий опір.

Для визначення опору, обумовленого затильною фаскою, у роботі [22] запропоновано наступні рівняння:

для тригранного клина

$$R = \frac{qh^2b}{2\sin \varepsilon_3} \left[ \sin \varepsilon_3 \cdot \sin \gamma + f(\cos \varepsilon_3 \cdot \sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) \right], \quad (1.4)$$

для двогранного клина

$$R_{3x} = 0,5 \cdot qh^2b \cdot (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon_3 + 1), \quad (1.5)$$

де  $q$  - коефіцієнт об'ємного змінання ґрунту;

$b$  - ширина захвату;

$\varphi$  - кут між лезом та напрямком руху.

Значення  $h$  та  $e_3$  можна визначити лише з рядом спрощень, які полягають у тому, що затильна фаска утворює гострий кут з верхньою фаскою (робочою площиною клина). За такої умови, [11] визначено величину деформації ґрунту  $h_d$  із верхнім загостренням леза для плужного лемеша за формулою:

$$h_d = z_{з.с.} = z \frac{\sin \beta \sin \Delta}{\cos(\Delta + \beta)} \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} - \frac{1}{\operatorname{tg}(\delta + \beta)} \right), \quad (1.6)$$

де  $z_{з.с.}$  - величина спрацювання по висоті;

$\beta$  - кут розпушення;

$\delta$  - кут загострення.

На піщаних ґрунтах кут  $e_3$  може наближатись до нульового значення, а на глинистих досягати 35 град. Але у більшості випадків величина кута  $e_3$  становить 10...12 град, а при оранці дуже твердих ґрунтів може зростати до 20 град.

Затильна фаска спричиняє значний вплив на тяговий опір, однак, виділити величину цього опору окремо від загального досить важко і тому вплив кута  $e_3$  на тяговий опір у дослідженнях не розглядається окремо.

У роботах дослідників [20] опір ґрунту спрацьованому лезу визначено за формулою:

$$R_1 = k' (z + \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot x) b_3, \quad (1.7)$$

де  $R_1$  - горизонтальна реакція, що діє на площину спрацьованого леза, Н;

$k'$  - гранична несуча здатність ґрунту, Н/м<sup>2</sup> (для ґрунтів, що обробляються, величина  $k'$  заходиться в межах 200-800 кН/м<sup>2</sup>);

$x$  і  $z$  - величина спрацювання, відповідно по горизонталі й вертикалі, мм;

$b_3$  - ширина захвату, м.

Вивченню характеру й динаміки спрацювання лап культиваторів присвячена значна кількість робіт, в яких особлива увага звертається на інтенсивність спрацювання ріжучої кромки леза лапи.

Дослідженнями було встановлено, що найбільш важливим для якісного

виконання технологічного процесу культиватором є гострота його лез лап.

Основним показником, який визначає працездатність культиваторних лап, є якість підрізання бур'янів.

Визначення ступеня підрізання коренів бур'янів лапами із різною величиною спрацювання їх кромки леза проводив Василенко П.М. Численними дослідженнями автора, результати яких висвітлено у роботі [7], встановлено, що лапи з радіусом кола вписаного у профіль спрацьованої кромки леза культиваторної лапи (надалі, для спрощення, радіус леза) 0,01-0,015 см підрізають в межах від 98 до 100 % коренів бур'янів, а з радіусом 0,04-0,06 см – лише 69-74%. Лапи із спрацьованим лезом переважно висмикують кореневу систему бур'янів, аніж перерізають. Зміна радіуса ріжучої кромки леза й кута його загострення впливає на якість виконаної роботи (табл. 1.1).

Збільшення радіуса леза й кута загострення лап призводить до зменшення кількості підрізаних бур'янів і встановленої глибини обробітку, підвищення нерівномірності глибини обробітку та збільшення тягового опору агрегату.

Найбільш інтенсивне зменшення середньої глибини обробітку відбувається у стрілочастих лап при збільшенні радіуса леза до 0,4-0,45 мм і кута загострення 20-22 град., а односторонніх лап відповідно до 0,35-0,4 мм і 18-20 град..

У роботах дослідників[4,5] теоретично обґрунтовано найкращу геометричну форму леза лапи у різних ґрунтових умовах. Дослідженнями виявлено вплив параметрів леза лап на якість виконання робіт. Установлено, що нові стандартні лапи з радіусом леза 0,025-0,03 см забезпечують підрізання бур'янів лише на 72-88% у залежності від умов роботи.

Швидке затуплення лез лап значно зменшує продуктивність агрегатів, підвищує собівартість робіт та призводить до погіршення якісних показників обробітку ґрунту.

Таблиця 1.1 - Кількість підрізаних бур'янів у залежності від радіуса леза лап

№ груп лап	Середній радіус леза лап, мм	Загальна кількість зрізаних бур'янів, %
1	0,2-0,22	96,9
2	0,29-0,34	94,3
3	0,44-0,48	92,2
4	0,5-0,6	81,6

#### 1.4 Визначення допустимого спрацювання лап культиваторів

Основними вимогами до роботи полільних лап культиваторів є забезпечення якісного підрізання коренів бур'янів та рівномірність глибини обробітку.

Дотримуватися встановлених агротехнічних вимог можливо у тому випадку, коли спрацювання ріжучої кромки лез лап не перевищує граничних значень, тобто коли ступінь спрацювання суттєво не впливає на якісні показники обробітку ґрунту. При цьому додаткові витрати енергії при роботі спрацьованими робочими органами повинні бути мінімальними.

Польові дослідження [19] показали, що спрацювання лез лап призводить до зменшення середньої глибини обробітку відносно поверхні ґрунтового шару, а також до зниження рівномірності глибини ходу робочого органу. Погіршення зазначених показників, внаслідок спрацювання лез лап, відбувається поступово й нерівномірно.

Установлено, що односторонні лапи, порівняно із стрілочастими, гірше заглиблюються, але забезпечують кращу рівномірність глибини ходу.

Граничний радіус ріжучої кромки лез лап має бути у межах 0,6-0,7 см, для забезпечення необхідної стійкості глибини ходу [19].

Установлено, що якість підрізання бур'янів залежить не лише від гостроти лез лап, а й від періоду вегетації бур'янів, швидкості руху агрегату, глибини обробітку, типу лап та ґрунтових умов.

Таким чином, проведений аналіз вказує, що обґрунтування граничних значень спрацювання ґрунтообробних робочих органів є багатокритеріальна задача, пов'язана з оптимізацією якості та енергетичних витрат на ведення польових робіт. Її вирішення для конкретних робочих органів, машинно-тракторних агрегатів і умов експлуатації потребує проведення додаткових досліджень.

#### Висновки і завдання досліджень

1. Для забезпечення високої зносостійкості поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин необхідно використовувати такі матеріали й покриття, основна структура яких по твердості дорівнює або перевищує твердість абразиву ґрунту.

2. При збільшенні глибини обробітку ґрунту, за умови ущільнених нижніх шарів, інтенсивність спрацювання також збільшується внаслідок підвищення питомого навантаження.

3. Енергоємність процесу різання залежить не лише від типу різання, але й від конструктивних параметрів ріжучих робочих органів.

4. Основним критерієм у визначенні наробітку на відмову і заміну робочих органів є якість виконання польових робіт у відповідності до існуючих агротехнічних вимог.

В зв'язку з викладеним, у даній роботі поставлені наступні завдання досліджень:

1. Встановити залежність величини спрацювання кромки лез лап та зростання питомого опору від наробітку культиваторного агрегату;

2. Дослідити вплив величини спрацьованої кромки леза лапи на глибину і рівномірність обробітку та ступінь підрізання коренів бур'янів;

3. Експериментально дослідити залежність зміни руйнівного напруження при розрізанні коренів бур'янів лапами з різною величиною спрацювання їх кромки лез;

4. Обґрунтувати оптимальний міжремонтний наробіток стрілчастих лап та визначити економічну ефективність впровадження результатів досліджень.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПРАЦЮВАННЯ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП НА ЇХ РОБОТОЗДАТНІСТЬ

### 2.1 Дослідження зміни зусиль на лезі від ступеня його спрацювання

Від величини затуплення лез культиваторних лап залежать експлуатаційні та якісні показники їх роботи. Найбільш суттєвими показниками є тяговий опір, якість підрізання коренів бур'янів та рівномірність глибини обробітку ґрунту.

У розділі теоретично визначено вплив ступеня спрацювання кромки лез лап на тяговий опір та процес підрізання коренів бур'янів. Виконано аналіз сумарних витрат коштів на відновлення лап та подолання опору переміщенню.

Основні складові тягового опору переміщенню культиваторної лапи у ґрунті є зусилля обумовлені деформацією й підйомом ґрунту, а також силами інерції при русі відокремленої частини ґрунту. Оскільки, найбільш суттєво спрацьовується кромка леза культиваторних лап слід очікувати, що, насамперед, зміни його форми відповідно призводять до зростання тягового опору.

Поширені два підходи при визначенні опору ґрунту спрацьованому лезу:

1. Профіль спрацьованого леза лапи умовно замінюється верхньою та нижньою фасками.

2. Профіль спрацьованого леза лапи приймається у вигляді кола, вписаного у профіль леза лапи. Тоді величина опору, спричиненого лезу, залежить від радіуса кола.

Кожен із зазначених вище підходів має як свої переваги, так і недоліки. Тому, у даній роботі при вивченні впливу спрацювання кромки лез лап на енергетичні показники при взаємодії лапи з ґрунтом розглядаються два підходи.

При роботі культиваторної лапи на її робочі поверхні діють сили опору ґрунту, обумовлені дією ріжучої кромки леза та верхньої й нижньої (затильної) фасок.

Процес деформації ґрунту клином залежить від типу, стану, механічного складу ґрунту та інших властивостей. У роботах [22] виділяються наступні три

види руйнування ґрунту:

1. В'язка та задерніла скиба відривається суцільною стрічкою без істотної деформації. У цьому випадку, швидкість скиби відносно робочої поверхні клина за величиною дорівнює його швидкості переміщення, а напрямок абсолютної швидкості частинок ґрунту відхилений від нормалі до поверхні клина у бік переміщення на кут  $\frac{\beta}{2}$ , де  $\beta$  - кут між робочою поверхнею клина та напрямком руху.

2. У випадку, якщо ґрунтова маса має середні значення вологості й в'язкості, клин спочатку зминає її до певної величини, а потім відбувається відрив та зсув під певним кутом.

3. У випадку, якщо ґрунт, сухий і твердий, скиба розколюється на брили неправильної форми.

Вважається, що при обробі ґрунту сільськогосподарськими машинами найбільш поширений другий вид деформації ґрунту. У розвиток досліджень, приведених у роботі, на рисунку 2.1 і 2.2 представлені схеми дії сил на фаски, якими замінена закруглена форма ріжучої кромки леза лапи.

Розглянемо дію верхньої фаски (верхньої площини клина). При русі клина з точки *A* у точку *B*, нормальна сила  $N_l$  на шляху  $l_{зм}$  зростає, досягаючи у точці *B* свого максимального значення. Починаючи з точки *B* на незначному шляху, довжину якого можна не враховувати, відбувається безпосередній відрив скиби, опір різко зменшується до величини, необхідної для зачищення дна борозни та підйому скиби.

Підйом скиби відбувається на шляху  $L_{в.с.}$ , який дорівнює її довжині. Згідно представленої схеми процесу можна вважати, що основна частина роботи, яка витрачається на деформацію при відриві скиби на шляху  $l_{зм}+L_{в.с.}$ , може бути прирівняна до роботи, яка витрачається на зминання ґрунту на шляху  $l_{зм}$ .

Таким чином, середній опір ґрунту дорівнює:

$$P_{cp} = \frac{A_{зм}}{l_{зм} + L_{в.с.}}. \quad (2.1)$$

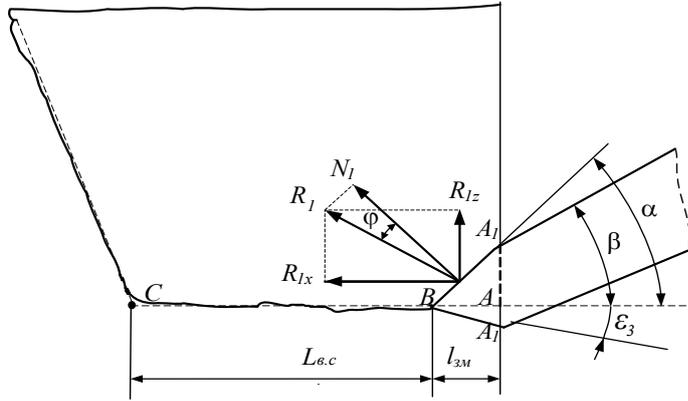


Рисунок 2.1 - Схема сил, що діють на верхню фаску двогранного клина

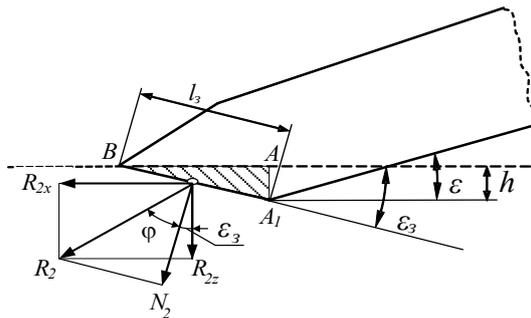


Рисунок 2.2 - Схема сил, що діють на затильну фаску двогранного клина

Підйом скиби відбувається на шляху  $L_{в.с.}$ , який дорівнює її довжині. Згідно представленої схеми процесу можна вважати, що основна частина роботи, яка витрачається на деформацію при відриві скиби на шляху  $l_{зм}+L_{в.с.}$ , може бути прирівняна до роботи, яка витрачається на зминання ґрунту на шляху  $l_{зм}$ .

Таким чином, середній опір ґрунту дорівнює:

$$P_{cp} = \frac{A_{зм}}{l_{зм} + L_{в.с.}}. \quad (2.2)$$

Для визначення роботи  $A_{зм}$  розглянемо сили, обумовлені деформацією зминання. Нормальну силу  $N_1$  знайдемо через об'єм зім'ятого ґрунту  $V_{зм}$  та коефіцієнт об'ємного зминання  $q_{зм}$  [8]:

$$N_1 = q_{зм} V_{зм}; \quad (2.3)$$

де  $q_{зм}$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/см<sup>3</sup>;

$V_{зм}$  – об'єм зім'ятого ґрунту, см<sup>3</sup>.

З урахуванням тертя ґрунту по робочій поверхні, сила опору дорівнює:

$$R_1 = \frac{N_1}{\cos \varphi} = \frac{q_{3M} V_{3M}}{\cos \varphi}; \quad (2.4)$$

де  $\varphi$  – кут тертя ґрунту по поверхні клина.

Об'єм зім'ятого ґрунту визначиться :

$$V_{3M} = \frac{b \cdot l_{3M}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2}; \quad (2.5)$$

де  $\alpha$  - кут між площиною верхньої фаски та напрямком руху, град.

$b$  - ширина захвату клина, см.

Тоді

$$R_1 = \frac{q_{3M} \cdot b \cdot l_{3M}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2 \cos \varphi}. \quad (2.6)$$

Елементарна робота зминання ґрунту визначається за формулою:

$$dA_{3M} = P_x dl_{3M}, \quad (2.7)$$

враховуючи, що сила дії  $P_x$  (зусилля з яким діє лезо лапи на ґрунт) дорівнює силі протидії  $R_x$  (сила опору ґрунту, що виникає у результаті дії сили  $P_x$ ):

$$P_x = R_1 \cos(90 - (\alpha + \varphi)) = R_1 \sin(\alpha + \varphi); \quad (2.8)$$

тоді

$$dA_{3M} = R_1 \sin(\alpha + \varphi) dl_{3M} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{2 \cos \varphi} dl_{3M}. \quad (2.9)$$

Повна робота зминання визначається у результаті інтегрування останнього виразу:

$$A_{3M} = \int_0^{l_{3M}} \frac{q_{3M} b l_{3M}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{2 \cos \varphi} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{6 \cos \varphi}, \quad (2.10)$$

Значення горизонтальної складової опору, що діє на верхню фаску, знаходиться підстановкою величини  $A_{3M}$  у рівняння 2.1:

$$R_{x1} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{6(L_{г.с.} + l_{3M}) \cos \varphi}. \quad (2.11)$$

Відповідно, середнє значення сили  $R_1$  дорівнює:

$$R_1^{cp} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot}{6(L_{6.c.} + l_{3M}) \cos \varphi}; \quad (2.12)$$

а середнє значення нормальної сили:

$$N_1^{cp} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot}{6(L_{6.c.} + l_{3M})}. \quad (2.13)$$

Вертикальна складова опору деформації дорівнює:

$$R_{z1} = \frac{q_{3M} b l_{3M}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \varphi)}{6(L_{6.c.} + l_{3M}) \cos \varphi}, \quad (2.14)$$

Таким чином, складові рівняння встановлені.

За аналогією попередніх розрахунків, розглянемо опір, обумовлений дією нижньої (затильної) фаски.

При переміщенні лапи затильна фаска зминає ґрунт, вдавлюючи його до низу, що породжує дію нормальної сили  $N_2$  (рис. 2.2), яка дорівнює:

$$N_2 = q_{3M} V_{3M.H}, \quad (2.15)$$

де  $V_{3M.H}$  - зім'ятого нижньою фаскою.

Згідно рисунку 2.2, величину об'єму зім'ятого ґрунту  $V_{3M.H}$  можна визначити за формулою:

$$V_{3M.H} = b \frac{AA_1 \cdot AB}{2}. \quad (2.16)$$

Величина затильної фаски характеризується висотою ущільненого шару ґрунту на дні борозни  $h=AA_1$  [22].

Оскільки  $AB = \frac{AA_1}{\operatorname{tg} \varepsilon_3}$ ,  $V_{3M.H} = \frac{bh^2}{2\operatorname{tg} \varepsilon_3}$ , тоді нормальна сила  $N_2$  дорівнює:

$$N_2 = \frac{q_{3M} bh^2}{2\operatorname{tg} \varepsilon_3}, \quad (2.17)$$

Внаслідок тертя ґрунту по поверхні тертя, сила опору  $R_2$ , на затильній фасці, відхиляється від нормальної сили на кут тертя  $\varphi$  у напрямку руху. Тоді величина цього опору дорівнює:

$$R_2 = \frac{q_{3M} bh^2}{2\operatorname{tg} \varepsilon_3 \cos \varphi}; \quad (2.18)$$

а горизонтальна та вертикальна складові, відповідно визначаються наступними залежностями:

$$R_{x2} = \frac{q_{zm} b h^2 \cdot \sin(\varepsilon_3 + \varphi)}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_3 \cos \varphi}; \quad (2.19)$$

$$R_{z2} = -\frac{q_{zm} b h^2 \cdot \cos(\varepsilon_3 + \varphi)}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_3 \cos \varphi}. \quad (2.20)$$

Реакції силам є такі ж за величиною, але протилежно направлені. Вертикальна складова опору верхньої фаски направлена вниз, а нижньої – вверх, тобто верхня сприяє заглибленню, а нижня – навпаки.

Різання ґрунту культиваторними лапами відбувається під певним кутом до напрямку їх переміщення. Таким чином, прийємо ріжучу частину культиваторної лапи у вигляді двох тригранних кутів. У результаті заміни криволінійної поверхні спрацьованої ріжучої кромки двома фасками (нижньою й верхньою) утворюється перший тригранний клин, який представлений на рисунку 2.3.

Тригранний клин характеризується двома кутами: кутом постановки до горизонтальної площини  $\beta$  й кутом між лезом і напрямком його руху  $\gamma$  (у подальшому кут розтину).

Розглянемо кінематику руху скиби ґрунту в процесі взаємодії з тригранним клином. У роботах [12] та інших дослідників приймається положення, що дію тригранного клина при переміщенні з одного положення в інше (згідно з рисунком 2.3 - із точки  $O$  у точку  $A$ ) можна умовно замінити двома послідовними переміщеннями, а саме: перпендикулярно лезу (із точки  $O$  у точку  $B_1$ ) клин працює як двогранний з кутом  $\beta$  і паралельно лезу (із точки  $B_1$  у точку  $A$ ). У результаті двох умовних змін положень частинка ґрунту переміститься з точки  $O$  в точку  $O'$ . У цьому випадку, технологічна робота клина (деформація й піднімання ґрунту) виконується при першому переміщенні, а при другому – ковзання.

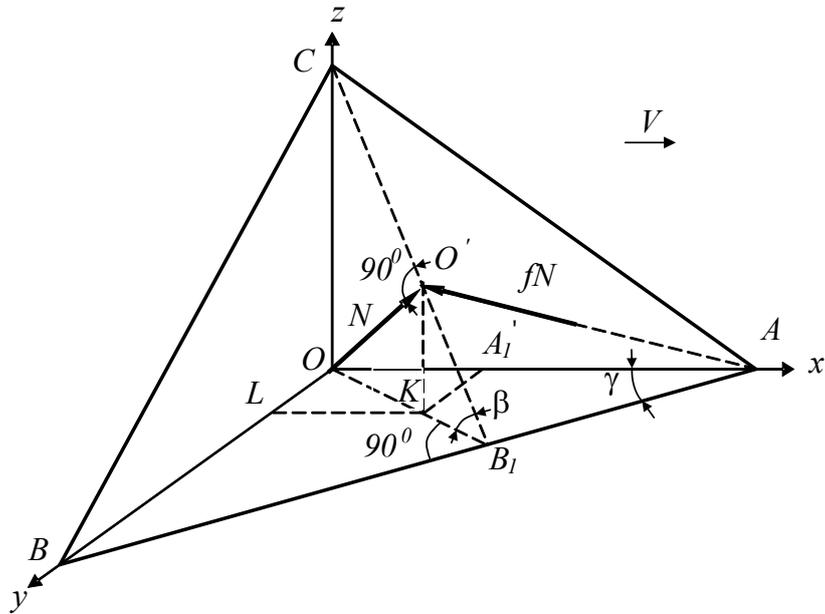


Рисунок 2.3 - Схема сил, які діють на тригранний клин

За таких умов результуючий рух частинки ґрунту можна розглядати як переміщення по нормалі  $OO'$  до площини клина, а сила – по лінії  $AO'$  (обумовлена тертям).

Проекція сили опору ґрунту на осі  $ox$ ,  $oy$  і  $oz$  визначиться, як сума відповідних проекцій нормальної сили і сили тертя. Ці проекції визначаються через відповідні напрямні косинуси.

Напрямні косинуси нормальної сили визначаються відомими рівняннями [12]:

$$\cos \eta = \sin \beta \cdot \sin \gamma, \quad (2.21)$$

$$\cos \theta = \sin \beta \cos \gamma, \quad (2.22)$$

$$\cos \lambda = \cos \beta. \quad (2.23)$$

де  $\eta$ ,  $\theta$  і  $\lambda$  - кути між нормаллю та осями  $ox$ ,  $oy$  і  $oz$ , відповідно.

Слід відмітити, що розміри ширини верхньої фаски не перевищують 0,3-0,5 мм, тому слід очікувати, що опір, спричинений фаскою, знаходиться у межах 15-20 Н/см.

На рисунку 2.5 наведені графічні залежності опору, що виникає на затильній фасці, від основних параметрів її взаємодії з ґрунтом. Із збільшенням висоти  $h$  затильної фаски у межах від 0,5 до 3 мм опір відповідно зростає від 8,78 до 315,92 Н/см.

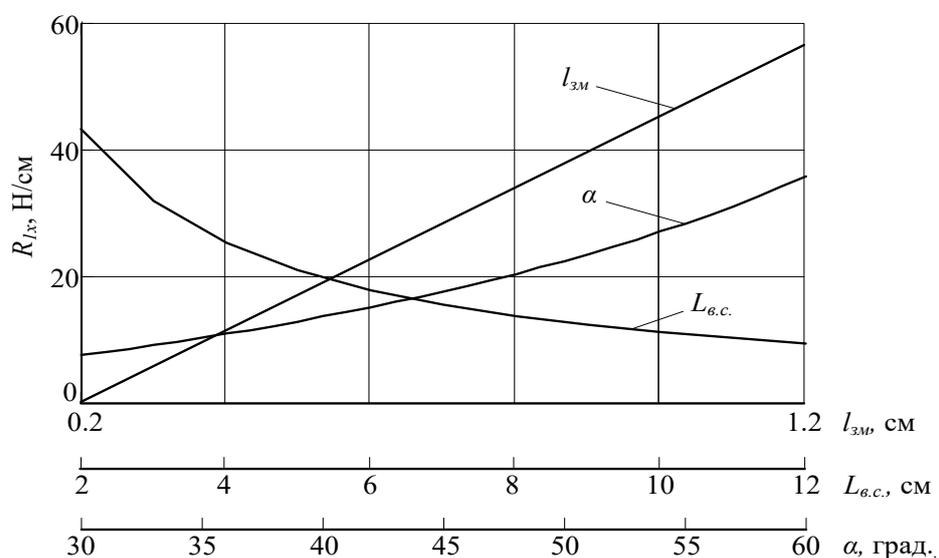


Рисунок 2.4 - Залежність опору ґрунту  $R_{Ix}$ , обумовленого дією верхньої фаски, від величини проникнення клина  $l_{зм}$ , середньої довжини скиби  $L_{в.с.}$  та кута  $\alpha$  нахилу фаски до горизонту ( $q_{зм} = 15 \text{ Н/см}^3$ ;  $b=100 \text{ см}$ ;  $\gamma = 32,5^0$ ;  $f_l=0,54$ )

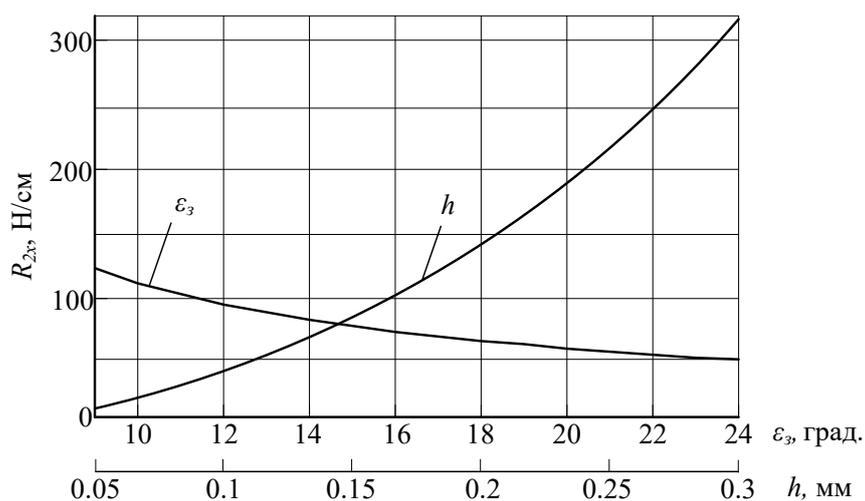


Рисунок 2.5 - Залежність опору ґрунту  $R_{2x}$ , обумовленого дією затильної фаски від висоти  $h$  та кута нахилу  $\epsilon_3$  ( $q=15 \text{ Н/см}^3$ ;  $b=100 \text{ см}$ ;  $f_l=0,54$ )

При значному спрацюванні лез лап величина  $h$  може досягати 0,03 см. При спрацюванні леза до радіуса 0,04-0,05 см (за умови задовільного підрізання бур'янів) величина  $h$  може становити близько 0,15 см. У такому випадку слід очікувати, що опір, обумовлений затильною фаскою, може досягати величини - 80 Н/см.

## 2.2 Аналіз процесу підрізання коренів бур'янів

Метою аналізу є визначення допустимого затуплення леза культиваторної лапи, при якому забезпечується розрізання коренів бур'янів.

Під час роботи культиваторна лапа 1, зустрічаючись із коренем бур'яну 2, діє на нього кромкою леза із зусиллям  $P_{різ}$ , яке дорівнює опору розрізання (рис. 2.6).

Зусиллю  $P_{різ}$  протидіють опори матеріалу кореня, ґрунту  $R$  (який взаємодіє з коренем) та сила  $T$ , яка викликає деформацію розтягу кореня (за умови істотної деформації ґрунту).

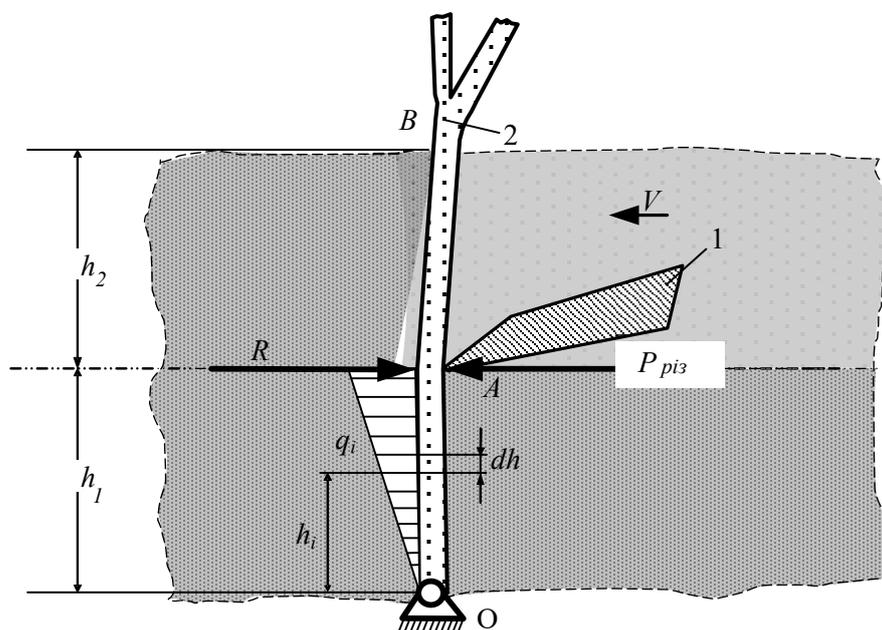


Рисунок 2.6 - Схема взаємодії ножа з коренем бур'яну: 1 – ніж; 2 – корінь

Сила  $T$  може досягти величини, необхідної для розриву кореня у точці дії сили  $P_{різ}$ , а також долати величину руйнуючого зусилля при розтязі кореня, вириваючи його з ґрунту. З іншої умови, ця сила менша за силу тертя леза по кореню.

Останнє пояснюється тим, що відхилення стовбура кореня від вертикального положення пов'язане з переміщенням його по лезу. Тобто, протидія сили тертя спричиняє розтягнення кореня бур'яну.

Слід відмітити, що силу  $T$ , яка розтягує корінь, можна назвати силою тертя лише умовно. Фактично, лезо деформує корінь і в результаті сила, під дією якої відбувається розтягнення кореня, істотно більша за силу тертя.

У результаті взаємодії леза лапи з коренями бур'янів можуть бути наступні види руйнування:

1. Сила різання  $P_{різ}$  дорівнює або менша за силу опору ґрунту  $R$ . При цьому корінь бур'яну руйнується від дії леза;
2. Сила опору ґрунту  $R$  менша за силу різання  $P_{різ}$ , а величина сили  $T$  достатня для того, щоб викликати розрив або виривання цього кореня з ґрунту;
3. Сила опору ґрунту  $R$  менша за силу різання  $P_{різ}$ , а величина сили  $T$  не достатня для розриву або виривання кореня з ґрунту. Тобто, корінь проковзується по лезу, заволочуючи надземну частину бур'яну на дно борозни.

Останній вид руйнування не забезпечує розрізання коренів бур'янів, тому можна вважати, що він не є прийнятним, другий, на перевагу першому, забезпечує розрізання коренів, але при цьому відбувається безпосереднє обволікання лап і, як наслідок, не спостерігається стійкого протікання процесу. Найбільш прийнятний є перший вид руйнування. Розглянемо його більш детально.

Культиваторна лапа 1 переміщується на глибині  $h_2$  від поверхні ґрунту (див. рис. 2.7). Корінь бур'яну 2 сягає глибини  $h_1+h_2$ , а відносно дна борозни знаходиться на глибині  $AO=h_1$ . Дія кромки леза лапи  $P_{різ}$  на корінь спричиняє виникнення сили опору  $R$ . При переміщенні лапи сила опору ґрунту  $R$  зростає поступово досягає певної величини, при якій забезпечує розрізання кореня бур'яну.

Таким чином, умовою розрізання кореня є наявність сили опору ґрунту  $R$ , величина якої повинна дорівнювати або бути більше сили різання  $P_{різ}$ , необхідної для розрізання, тобто:

$$R \geq P_{\text{піз}}. \quad (2.24)$$

Величина реакції  $R$  залежить від інтенсивності опору  $q_i$  ґрунту, яка визначається його твердістю.

Якщо умовно прийняти частину кореня  $AO$  за жорсткий важіль із шарніром у точці  $O$ , а опір ґрунту – пропорційним переміщенню кореня, інтенсивність опору  $q_i$  матиме лінійну залежність від висоти  $h_i$ . У точці  $O$   $q_i = 0$ , а у точці  $A$  –  $q_i = q_{i\text{max}}$ . На довільній висоті  $h_i$  інтенсивність опору визначиться:

$$q_i = q_{i\text{max}} \cdot \frac{h_i}{h_1}, \quad (2.25)$$

Величину сумарного опору  $R$  можна визначити через момент опорів, що діють на відрізку  $AO$ . Елементарний момент дорівнюватиме:

$$dM = h_i \cdot q_i \cdot dh_i = q_{i\text{max}} \cdot \frac{h_i^2}{h_1} \cdot dh_i, \quad (2.26)$$

після інтегрування в межах від  $O$  до  $h_1$  отримаємо:

$$M = \int_0^{h_1} q_{i\text{max}} \cdot \frac{h_i^2}{h_1} \cdot dh_i = \frac{1}{3} \cdot q_{i\text{max}} \cdot h_1^2, \quad (2.27)$$

Цей же момент визначається через рівнодіючу  $R$ , як

$$M = R \cdot h_1, \quad (2.28)$$

Прирівнявши вирази 2.26 і 2.27 одержимо:

$$R \cdot h_1 = \frac{1}{3} \cdot q_{i\text{max}} \cdot h_1^2, \quad (2.29)$$

звідси реакція  $R$  буде дорівнювати:

$$R = \frac{1}{3} \cdot q_{i\text{max}} \cdot h_1, \quad (2.30)$$

Величину  $q_{i\text{max}}$  можна визначити через твердість ґрунту  $\rho$  та діаметр кореня  $d_k$ .

Елементарна сила опору відповідатиме  $\Delta R = \rho \cdot \Delta h \cdot d_k$ , а віднесена до одиниці висоти  $R_h = q = \rho \cdot d_k$ . Так як у точці  $A$   $q_i = q_{i\text{max}}$ , тоді:

$$q_{i\text{max}} = \rho \cdot d_k, \quad (2.31)$$

Оскільки стиснення ґрунту відбувається лише центральною частиною діаметра -  $d_k \sin \varphi_2$ , рівняння (2.30) матиме вигляд:

$$R = \frac{1}{3} \cdot d_k \cdot \rho \cdot h_1 \cdot \sin \varphi_2, \quad (2.32)$$

де  $\rho$  - твердість ґрунту, Па;  $d_k$  – середній діаметр кореня, см;

$\varphi_2$  - кут тертя кореня по ґрунту, град.

Опір розрізанню кореня бур'яну, внаслідок дії зусилля  $P_{риз}$ , аналітично можна виразити за двома умовами деформації, а саме:

- внаслідок зминання волокна лезом;
- внаслідок зрізання (зсуву).

За першою умовою, площа деформації визначається площею контакту леза з коренем бур'яну, а за другою – площею поперечного перерізу кореня.

### 2.3 Оптимізація міжремонтного наробітку лап культиваторів за критерієм витрати коштів

Взаємодія леза лапи культиватора з ґрунтом і коренями бур'янів приводить до його спрацювання й затуплення ріжучої кромки. Товщина ріжучої кромки збільшується від наробітку, який може бути виражений довжиною пройденого шляху  $L$ .

Як відомо, збільшення радіуса ріжучої кромки призводить до зростання тягового опору переміщенню леза в ґрунті. Тому, при збільшенні міжремонтного наробітку збільшуються витрати енергії на виконання технологічної операції.

Якщо прийняти, що вартість відновлення лап істотно не залежить від ступеня спрацювання (у допустимих межах), то при збільшенні наробітку витрати на відновлення, віднесені до одиниці пройденого шляху (площі наробітку), будуть зменшуватись. Тому слід очікувати, що існує наробіток, при якому сумарні експлуатаційні витрати й витрати на відновлення лап будуть мінімальними. Такий наробіток буде оптимальним.

Можна попередньо прийняти, що питомий опір лап у залежності від

наробітку  $L$  на різних швидкостях  $V$  руху агрегату описується поліномом другого порядку:

$$k = b_0 + b_1V + b_2L + b_3V^2 + b_4LV + b_5L^2, \quad (2.33)$$

Затрати енергії на пройденому шляху  $L$  визначаються добутком:

$$E = kBL, \quad (2.34)$$

де  $B$  - робоча ширина захвату культиватора, м.

Оскільки величина питомого опору  $k$  залежить від пройденого робочим органом шляху  $L$  (через зростання величини спрацювання лез), то науковий інтерес представляє визначення впливу наробітку на питомі затрати енергії. Схема для визначення затрат енергії представлена на рисунку 2.7.

Розглянемо елементарне прирощення енергії  $\Delta E$  на елементарному шляху  $\Delta L$  в обмеженні, на підставі формули 2.30 можна записати:

$$\Delta E = k(L) \cdot B \cdot \Delta L, \quad (2.35)$$

Переходячи до обмеження, маємо:

$$\lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta L} = k(L) \cdot B \quad \text{або} \quad \frac{dE}{dL} = k(L) \cdot B;$$

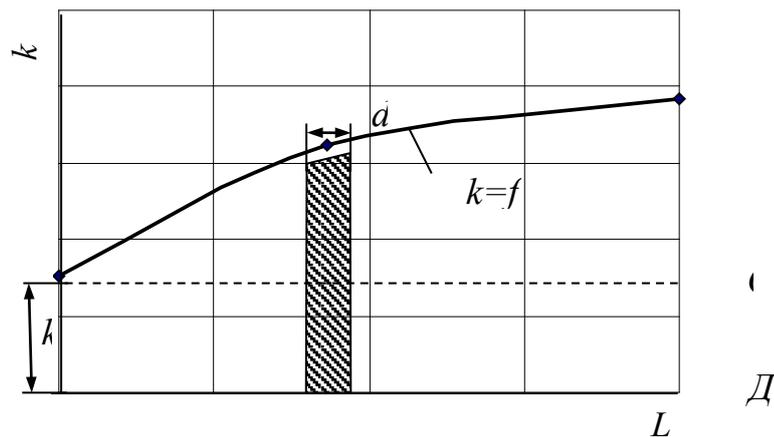


Рисунок 2.7 - Схема до визначення затрат енергії, коли питомий опір  $k$  залежить від пройденого шляху  $L$

звідки одержимо: 
$$E = B \int_{L=0}^{L=L} k(L) \cdot dL, \quad (2.36)$$

Підставивши значення  $k(L)$  з виразу 2.58 отримаємо:

$$E = B \int_0^L (b_0 + b_1V + b_2L + b_3V^2 + b_4LV + b_5L^2) dL, \quad (2.37)$$

а після інтегрування одержимо:

$$E = B(b_0L + b_1VL + \frac{1}{2}b_2L^2 + b_3V^2L + \frac{1}{2}b_4VL^2 + \frac{1}{3}b_5L^3). \quad (2.38)$$

Висновки до другого розділу

1. Теоретичним аналізом впливу спрацювання культиваторних лап на їх роботу обґрунтовано:

- уточнене значення опору ґрунту спрацьованому лезу при умові моделювання його округлої форми ломаною лінією у вигляді верхньої та нижньої фасок;
- залежність допустимої величини радіуса затушення спрацьованого леза від характеристик ґрунту і фізико-механічних властивостей коренів бур'янів;
- залежність оптимального наробітку лап до відновлення або заміни за умови мінімальних сумарних економічних витрат.

2. Для підтвердження та використання отриманих аналітичних залежностей в інженерній практиці необхідно експериментально визначити:

- вплив наробітку на зміну геометричних параметрів леза, які характеризують ступінь його спрацювання;
- уточнити існуючий зв'язок між питомим опором і ступенем спрацювання лап;
- значення сил опору розрізанню коренів бур'янів лезами з різним ступенем спрацювання;
- вплив ступеня спрацювання лез полільних лап культиватора на якісні показники роботи.

## 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Програма досліджень

Для підтвердження та доповнення результатів теоретичних досліджень і вирішення задачі оптимізації міжремонтного наробітку культиваторними лапами по економічному критерію необхідно провести експериментальні дослідження.

Програмою експериментальних досліджень передбачається вирішення таких завдань:

1. Встановлення залежності ступеня спрацювання (затуплення) культиваторних лап від наробітку.

2. Виявлення закономірності впливу ступеня спрацювання лап на тяговий опір при різних швидкостях (6, 8, 10 км/год) та при сталій глибині обробітку.

3. Визначення опору статичному та динамічному різанню у залежності від радіуса леза, діаметра кореня, кута установки леза, швидкості різання.

4. Дослідження впливу радіуса леза (ступеня спрацювання) на глибину обробітку, рівномірність глибини ходу та подрізання бур'янів.

### 3.2 Методика експериментальних досліджень

Умови проведення експериментальних досліджень включають у себе стан поля, на якому проводяться дослідження, та стан ґрунту (вологість, щільність, твердість).

Характеристику ділянки для проведення експерименту оцінюється рельєфом та типом ґрунту.

Для досліджень вибирається горизонтальна ділянка поля з рівним рельєфом. Відхилення ділянки від горизонту не повинно перевищувати 1%. Із карти ґрунтів господарства беруться дані про його тип.

Вологість і твердість ґрунту визначається до і після проведення експериментів, відповідно до стандартної методики [10] та з урахуванням рекомендацій виконання робіт.

Проби ґрунту на вологість відбираються за допомогою бура на глибині від 5 до 15 см у п'ятьох точках, рівномірно розміщених по діагоналі дослідної ділянки. Вологість ґрунту встановлюється ваговим методом. Для цього відібрані проби ґрунту засипаються в бюкси. Бюкси з вологим ґрунтом зважуються, а потім висушуються у сушильній шафі при температурі 105°C до сталої маси. Абсолютна вологість ґрунту підраховується за формулою:

$$W = \frac{M_B - M_C}{M_C - M_B}; \quad (3.1)$$

де  $W$  – абсолютна вологість ґрунту, %;

$M_B$  – маса бюкси з вологим ґрунтом, г;

$M_C$  – маса бюкси з сухим ґрунтом, г;

$M_B$  – маса самої бюкси, г.

Щільність ґрунту знаходиться згідно формули:

$$\rho = \frac{(M_{CB} - M_C)}{V(100 + W)} \cdot 100; \quad (3.2)$$

де  $M_{CB}$  – маса стакану з вологим ґрунтом, г;

$M_C$  – маса самого стакану, г;

$V$  – об'єм стакану, см<sup>3</sup>;

$W$  – абсолютна вологість ґрунту, %.

Твердість ґрунту визначається методом вдавлення каліброваного штампа статичною дією, за допомогою твердоміра конструкції Ревякіна Ю.Ю. згідно стандартної методики.

### 3.3 Планування експериментальних досліджень

З метою скорочення кількості дослідів проводиться багатофакторний експеримент з відповідним математичним плануванням. Використання даного методу дозволяє за визначеними схемами (планам) побудувати математичну модель процесу, розрахувати на ПК можливі варіанти та знайти оптимальні параметри процесу, оцінити адекватність моделі щодо основних закономірностей впливу факторів.

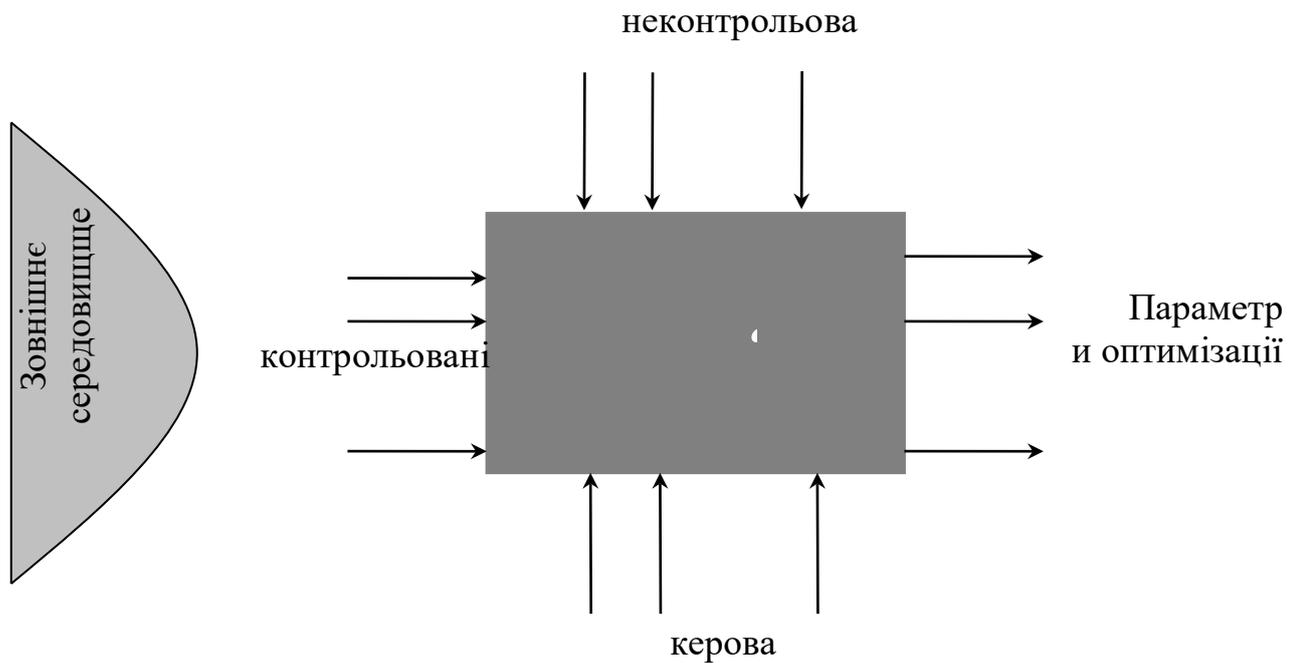


Рисунок 3.1 - Схема впливу різних факторів на ґрунтообробний робочий орган

Вплив зовнішнього середовища включає властивості ґрунту з його некерованими, але контрольованими факторами такими як вологість, твердість, щільність ( $x_{k1}, x_{k2} \dots x_{kn}$ ) (рис. 3.1). Друга група факторів є неконтрольованою, переважно випадкового характеру. Це перешкоди, затори, неоднорідності ґрунту ( $w_1, w_2, \dots w_n$ ). Вплив їх супроводжується поштовхами, вібрацією та інше. Знак питання в даній системі – дія контрольованих керованих факторів (ступінь спрацювання леза лап та швидкість руху агрегату) на параметри оптимізації (середня глибина та рівномірність ходу, підрізання бур'янів та тяговий опір) не відома. Оптимізація процесу проводиться у два етапи: на першому будується математична модель, на другому виконується пошук оптимальних умов

проходження процесу. Таким чином, задача експерименту полягає у тому, щоб знайти такий набір значень факторів, при яких головні параметри досягають екстремуму або найкраще відповідають вимогам до заданого показника.

Багатофакторні дослідження проводяться згідно ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП) другого порядку. Загальна кількість точок плану визначається за формулою:

$$N_n = 2^{k_n} + 2k_n + n_0, \quad (3.3)$$

де  $2^{k_n}$  – кількість дослідів у ядрі плану;

$2k_n$  – кількість дослідів на “зіркових” точках;

$n_0$  – кількість дослідів на центральних точках [19];

$k_n$  – кількість факторів.

Фактори варіюють на трьох рівнях, які складають арифметичну прогресію. Так як на кількість центральних точок  $n_0$  в ОЦКП будь-яких обмежень не накладається, то приймається  $n_0 = 1$ . Кількість дослідів відповідно до рівняння (3.4) при  $k_n=2$  дорівнює  $N=2^2+2\cdot 2+1=9$ . План матриці наведено в табл. 3.1.

У процесі дослідження різання коренів бур'янів під дією зовнішніх факторів (рис. 3.1.) беруться до уваги специфічні біологічні властивості кореня бур'янів, які можливо контролювати, це – вологість, площа, середній діаметр ( $x_{k_n 1}, x_{k_n 2}, \dots, x_{k_n n}$ ). Неконтрольованими, переважно випадкового характеру, є фактори: неоднорідність тканин по довжині, пошкодження їх поверхні, тощо.

Таблиця 3.1 - План-матриця експерименту ОЦКП експерименту при  $k_n=2$

№ дослідів	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_1 X_2$	Примітка
1	1	+1	+1	-1	1	1	Ядро плану
2	1	-1	+1	-1	-1	-1	
3	1	+1	-1	-1	-1	1	
4	1	-1	-1	-1	1	-1	
5	1	+1	-1	1	1	-1	„Зіркові” точки
6	1	-1	-1	1	-1	1	
7	1	0	1	1	-1	-1	
8	1	0	1	1	1	1	
9	1	0	0	0	0	0	Центральна точка

Невідомими є дія контрольованих керованих факторів (ступінь спрацювання леза лап, швидкість різання та кут розтину) на параметри оптимізації (руйнуюче зусилля при різанні статичним та динамічним навантаженням).

Як і у попередньому експерименті, оптимізацію процесу проводять у два етапи: побудова математичної моделі та знаходження оптимальних умов ведення процесу. Для планування експерименту також використовується ОЦКП з метою одержання незалежної оцінки коефіцієнтів регресії.

Загальну кількість точок плану визначають за формулою (3.4). Фактори варіюють на трьох рівнях, які складають арифметичну прогресію. Кількість дослідів на центральних точках становить  $n_0 = 1$ . Кількість дослідів відповідно до рівняння (3.4) при  $k_n = 3$  становить  $N_n = 2^3 + 2 \cdot 3 + 1 = 15$  (табл. 3.2). При цьому величина „зіркового” плеча  $\alpha$  дорівнює:

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N_n} 2^{k-2} - 2^{k-1}} = 2,258 \quad (3.5)$$

Таблиця 3.2 - План-матриця експерименту ОЦКП при  $k_n = 3$

№ дослідів	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	Примітка
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Ядро плану
2	+1	+1	+1	-1	+1	=1	-1	
3	+1	+1	-1	+1	=1	+1	-1	
4	+1	+1	-1	-1	-1	=1	+1	
5	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	
9	+1	-	0	0	0	0	0	„Зіркові” точки
10	+1	2,258	0	0	0	0	0	
11	+1	+2,25	-	0	0	0	0	
12	+1	8	2,258	0	0	0	0	
13	+1	0	+2,25	-	0	0	0	
14	+1	0	8	2,258	0	0	0	
15	+1	0	0	0	0	0	0	Центральна точка

За даними таблиць 3.1 та 3.2 алгебраїчна сума елементів вектора-стовпця кожного фактору дорівнює нулю, тобто:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} = 0 \quad (3.6)$$

де  $j$  – номер фактору.

При цьому також сума почленних добутоків будь-яких векторів-стовпців дорівнює нулю, тобто:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot X_{ui} = 0; \quad (3.7)$$

де  $j \neq u$ ;  $j, u = 0, 1, 2, \dots, k$ .

Таким чином, плани експериментів мають властивості ортогональності і відповідають вимогам постановки факторного експерименту. Математична модель має вигляд повного квадратного рівняння:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_i x_i^2. \quad (3.8)$$

Коефіцієнти регресії моделі розраховуються методом найменших квадратів за формулами:

$$b_0 = -\frac{1}{9} \sum_{u=1}^4 y_u + \frac{2}{9} \sum_{u=5}^8 y_u + \frac{5}{9} y_9; \quad (3.9)$$

$$b_i = \frac{1}{6} \sum_{u=1}^8 x_{iu} y_u, i = 1, 2; \quad (3.10)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{6} \sum_{u=1}^4 y_u + \frac{1}{2} \sum_{u=5}^8 x_{iu}^2 y_u - \frac{1}{3} \sum_{u=5}^9 y_u, i = 1, 2; \quad (3.11)$$

$$b_{12} = \frac{1}{4} \sum_{u=1}^4 x_{1u} x_{2u} y_u. \quad (3.12)$$

Для переходу від кодованих до натуральних перемінних застосується формула:

$$\tilde{X}_i = x_i \lambda_i + \tilde{X}_{i0}; \quad (3.13)$$

де  $\tilde{X}_i$  - дійсне значення фактора на нижньому або верхньому рівнях;

$\tilde{X}_{i0}$  - основний рівень фактора;  $x_i$  - відповідне кодоване значення фактора (-1 або +1);  $\lambda_i$  - інтервал варіювання.

Для перевірки адекватності одержаних рівнянь проводили дисперсійний аналіз. Дисперсії визначають шляхом ділення суми квадратів на відповідне число ступенів свободи  $N$ , дисперсні відношення – поділом дисперсій на дисперсію функції  $s^2\{\bar{y}\}$ . Дисперсійні відношення порівнюються із табличними  $F_\alpha(f_1, f_2)$ , де  $\alpha$  – рівень значимості,  $f_1$  та  $f_2$  – число ступенів свободи для розглянутої групи коефіцієнтів.

Дисперсії функції дорівнює:

$$s^2\{\bar{y}\}[f_2 = N(\chi - 1)], \quad (3.14)$$

де  $\chi$  - кратність повторення дослідів.

Також виконується умова:

$$F = \frac{S_{LF}}{f_{LF}} \div s^2\{\bar{y}\} \leq F_\alpha(f_{LF}; f_2), \quad (3.15)$$

де  $S_{LF}$  - залишкова сума квадратів.

Якщо  $f_{LF} = N - \frac{(k+1)(k+2)}{2}$ , то модель 2-го порядку вважається адекватною, якщо навпаки – неадекватною. Адекватність моделі перевіряється за критерієм Фішера  $F_\alpha$ .

### 3.4 Методика визначення залежності тягового опору від ступеня спрацювання лез лап

Для дослідження впливу ступеня спрацювання лап на опір їх переміщення у ґрунті розроблена та виготовлена спеціальна установка за допомогою якої визначається горизонтальна складова опору. Схема та загальний вигляд установки подано відповідно на рисунках 3.2 і 3.3.

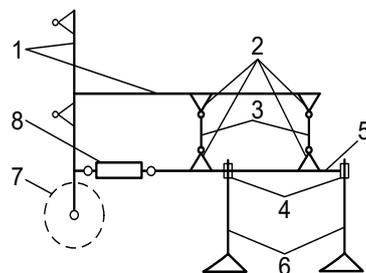


Рисунок 3.2 - Схема експериментальної установки: 1- рама; 2- шарнірне з'єднання; 3- з'єднувачі; 4- кронштейн; 5– рухома рамка; 6- культиваторна лапа; 7- опорне колесо; 8- тензометрична ланка

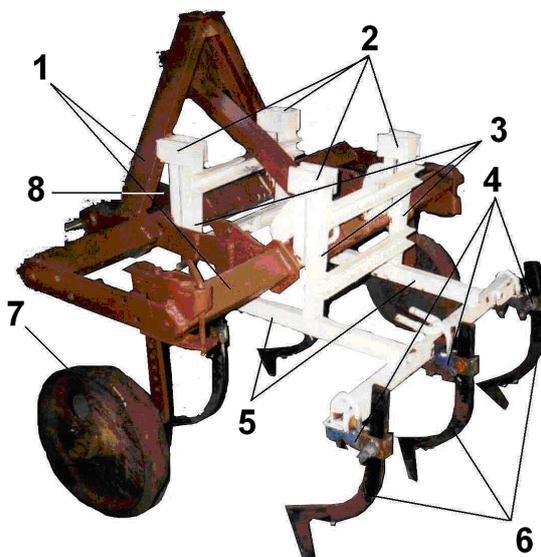


Рисунок 3.3 - Установка для визначення тягового опору культиваторних лап: 1- рама; 2- шарнірне з'єднання; 3- з'єднувальні тяги; 4- кронштейн; 5- рухома рамка; 6- культиваторні лапи; 7- опорне колесо

Установка представляє собою зварну рамну конструкцію. Культиваторні лапи 6 за допомогою спеціальних кронштейнів 4 прикріплені до рухомої рамки 5, яка з'єднана з рамою 1 за допомогою тяг 3.

Вся конструкція представляє собою механізм у вигляді паралелограма. Вертикальна складова загального зусилля урівноважується з'єднувачами 3, а горизонтальна – діє на тензометричну ланку 8. Глибина обробітку регулюється за допомогою опорних коліс 7. На установці одночасно встановлюється п'ять експериментальних культиваторних лап. Загальна ширина захвату їх становить один метр.

Визначення характеристик фону поля, на яких планується проведення дослідів, проводиться згідно раніше приведеної методики. Експериментальна установка для вимірювання тягового опору агрегується з трактором МТЗ-80. Дослідження проводиться з трьома комплектами культиваторних лап, які мають різний ступінь спрацювання, які використовували у попередніх експериментах (п.3.2). Зусилля визначаються за допомогою тензометричної лабораторії на базі автомобіля УАЗ-3303.

У своєму складі вона має малогабаритну симетрична тензоланку з тензодатчиками ПБ-200 (встановлюється на установку), підсилювач Spider 8-30 (схему див. рис.3.4), малогабаритний персональний комп'ютер Asus 8266 з пакетом прикладної програми Catman Express 4.5, за допомогою якої записували та обробляли діаграми навантажень.

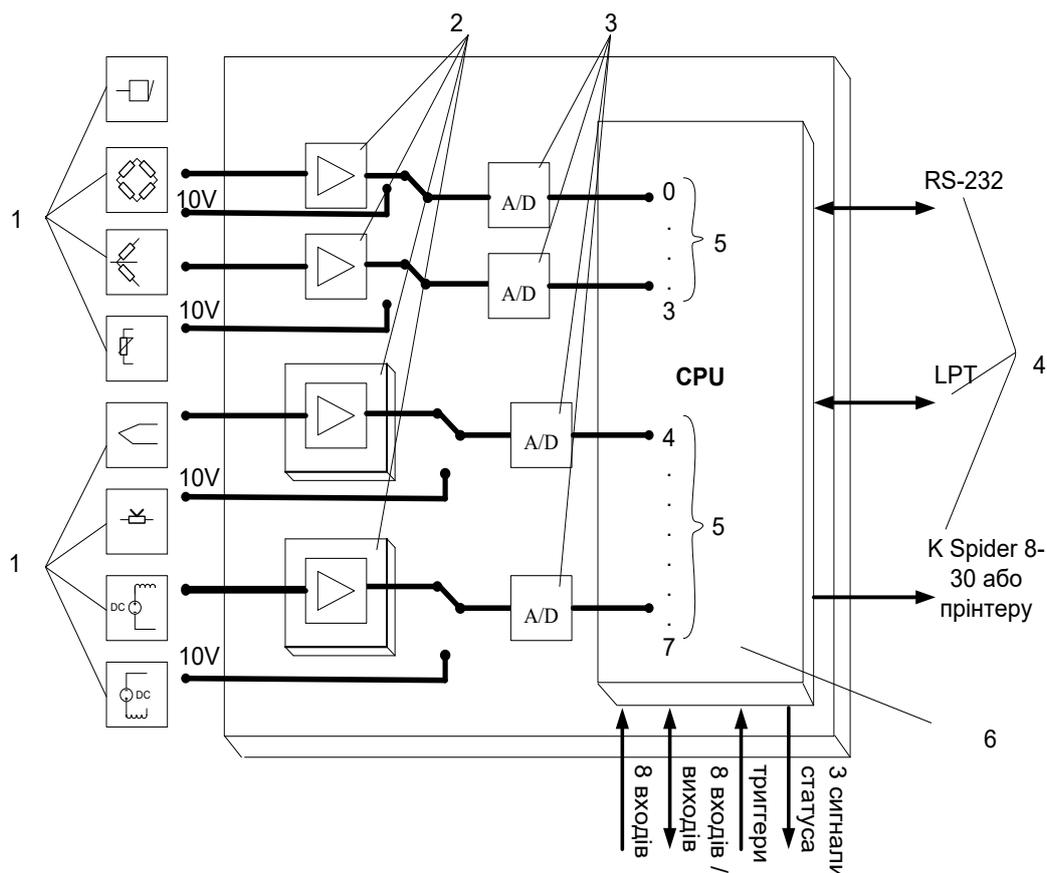


Рисунок 3.4 - Схема обробки сигналу у підсилювачі Spider 8-30:

- 1- тензодатчики різних видів; 2- модулі вимірювальні; 3- аналогові цифрові перетворювачі; 4- порти; 5- базові канали; 6- центральний процесор

### 3.5 Методика дослідження фізико-механічних властивостей коренів бур'янів

Дослідження проводяться на швидкостях – 6, 8 і 10 км/год. До і після досліджень всі прилади, що використовуються в експерименті проходять тарування.

Математична обробка результатів вимірювань виконується на ПЕОМ за допомогою пакету EXSEL методами описової статистики та дисперсійного аналізу. При цьому визначається середнє значення показника на кожному режимі роботи, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, помилка середнього та точність проведення досліджу.

Дослідження проводяться у лабораторних умовах. Вибираються чотири найбільш поширені види бур'янів з найміцнішими коренями, а саме: хвощ польовий (хвощовий, кореневищний); молочай польовий (дводольний, коренепаростковий); берізка польова (дводольний, коренепаростковий) і осот жовтий польовий (дводольний, коренепаростковий).

У досліджах визначається загальна характеристика коренів бур'янів: опір розриву, опір різанню лезами з різним ступенем затуплення та фрикційні властивості.

Для проведення досліджень використовуються наступні прилади та обладнання: симетрична тензоланка з тензодатчиками ПБ-200, підсилювач Spider 8-30, (схему див. рис. 3.4); прикладна програма Catman Express 4.5, за допомогою якої записували та обробляли діаграми навантажень; стенд ТУД-5; вологомір НВ 43 виробництва Metler Toledo; маятниковий копер МК-0,5; пристрій до маятникового копра; пристрій для визначення статичного зусилля різання; мікроскоп МПБ-2; динамометр ДПУ-002-02; сталева площина для визначення коефіцієнта тертя; набір стандартних вагівниць; комплект ножів; універсальні затискачі та камера JVC-D30E PS зі спеціальною насадкою для мікрознімки GR-50.

Особливості та структурні відмінності коренів бур'янів із врахуванням фази росту необхідні для подальшого розуміння специфіки фізичних явищ процесу їх руйнування при різанні.

У системі заходів боротьби з бур'янами важливе місце займає термін проведення агротехнічних операцій. З літературних джерел [3, 4] відомо, що найбільша кількість сходів бур'янів у посівах культур спостерігається у квітні-травні. Тому доцільно досліди проводити на початку травня.

Для досліджень вибираються ділянки коренів бур'янів, що залягають на глибині від 0,05 до 0,1 м (глибина обробітку).

Будова тканин коренів вивчається у повздовжньому і поперечному розрізі візуальним аналізом та фотографування. Для цього використовується цифрова камера JVC-D30E PS з насадкою для мікрознімки GR-50, хост-контролер NEC firewarden OHCI IEEE1394 з прикладною програмою Pinnacle studio 9 для передачі та обробки зображення на персональний комп'ютер.

Дослідженнями передбачено встановлення закономірності зміни абсолютного видовження зразків  $l$  під дією статичного навантаження та визначення руйнівного зусилля коренів бур'янів при розтязі, яке дорівнює межі міцності  $\sigma_{мр}$ .

Насамперед визначається необхідна кількість дослідних зразків коренів бур'янів з урахуванням можливих пошкоджень, або сумнівності одержаних результатів під час досліду. Зразки коренів бур'янів відбираються на полі по діагоналі. Після сортування та візуального огляду доставлених у лабораторію рослини, зразки коренів вирізаються з дослідної частини рослини довжиною 20 см (робоча довжина становить 10 см, довжина для затиску – 5+5=10 см). Діаметр зразків вимірюється за допомогою мікроскопа МПБ-2, який має градуйовану розмітку (ціна одного поділу 0,05 мм). Середня площа перерізу зразків обчислюється за формулою:

$$S = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2; \quad (3.16)$$

де  $d_1$  і  $d_2$  - відповідно найменший та найбільший діаметр поперечного перерізу зразка.

Зразки коренів відбираються за діаметром поперечного перерізу на три групи: 2,7-3 мм, 3-3,5, та 3,5-4 мм. Для проведення досліджень використовували стенд ТУД-5 (рис. 3.5), оснащений тензоланкою та універсальними затискачами, спеціально виготовленими для проведення цих досліджень.

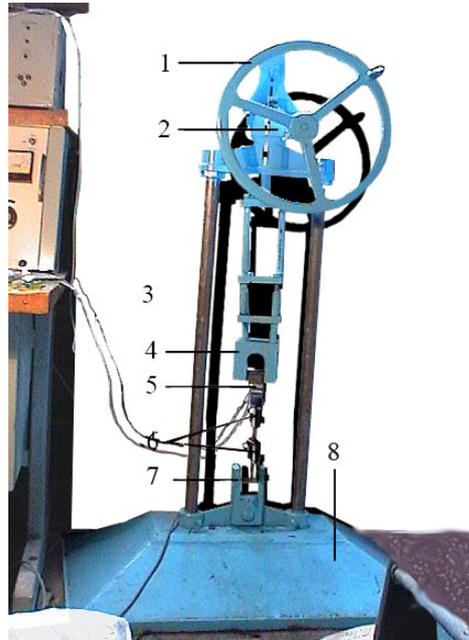


Рисунок 3.5 - Стенд ТУД-5 в зборі з тензоланкою та затискачами:

1- привідне колесо; 2- редуктор; 3- електричні дроти; 4 і 7- кронштейни;  
5- тензоланка; 6- затискачі; 8- станина

Стенд ТУД-5 забезпечує розтягнення зразка зі швидкістю 0,5 мм за секунду. Показники зміни зусиль знімаються до моменту повного розриву зразка. Запис сигналів тензодатчиків установлюють на частоту 200 опитувань за секунду. Прикладна програма Catman Express 4,5 дозволяє одержати значення як у числових величинах, так і у вигляді графіків залежності руйнівного зусилля від часу. Нормальне напруження, яке відповідає межі міцності  $\sigma_{ми}$ , визначається за формулою:

$$\sigma_{ми} = \frac{4F_p}{\pi d^2}; \quad (3.17)$$

де  $F_p$  - руйнівне зусилля, Н;

$d$  - діаметр поперечного перерізу зразка кореня, см.

Відносне видовження зразків (поздовжня відносна деформація  $l$ , %) визначається за формулою:

$$l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100; \quad (3.18)$$

де  $\Delta l$  - абсолютне видовження зразка (до моменту розриву), см;

$l_0$  - початкова довжина зразка кореня, см.

Вологість зразків  $W$  визначається ваговим методом. Для зменшення впливу зміни вологості на результати вимірювань дослідження проводяться у найкоротший термін.

Додаткові дослідження визначення руйнівних зусиль коренів бур'янів при розтязі проводяться у реальних польових умовах. Для цього на експериментальному полі вибираються ділянки, де спостерігається найбільша кількість зазначених вище видів бур'янів. Виділяються не менше 6 ділянок, які розміщуються по діагоналі поля. У дослідженнях використовується універсальний затискач (рис. 3.6) і динамометр ДПУ-002-02.



Рисунок 3.6 - Визначення руйнівного зусилля кореня осоту польового у польових умовах: 1- динамометр ДПУ-002-2; 2- бур'ян (осот рожевий); 3- універсальний затискач

Дослідження проводяться у такій послідовності:

1. Визначений зразок бур'яну розкопується на глибині 0,15 м, не травмуючи його кореня.

2. Універсальний затискач закріплюється на корені на відстані 0,05 м від поверхні ґрунту, утвореного у результаті розкопування, що відповідало 0,1 м від

рівня поверхні ґрунту.

3. Навантаження на корінь здійснюється поступовим переміщенням динамометра вертикально вгору до моменту його розриву.

4. Фіксується величина максимального зусилля, яка відповідає руйнуючому зусиллю при розтязі.

5. Дослідний зразок кореня запаковується у герметичний пластиковий пакет для подальшого визначення вологості та щільності в лабораторних умовах.

Дослідження проводяться на стенді ТУД-5 шляхом зняття діаграм зусиль, що виникають при різанні коренів бур'янів під дією статичного навантаження (рис. 3.7).

Для цього використовуються наступні прилади та обладнання: симетрична тензоланка з тензодатчиками ПБ-200, перетворювач-підсилювач електричного сигналу Spider 8 (рис. 3.6), ПК з прикладною програмою Catman Express 4.5, стенд ТУД-5 (рис.3.7), пристрій для визначення зусилля різання при статичному навантаженні (рис. 3.8 ), комплект ножів (рис.3.9) та мікроскоп МПБ-2.

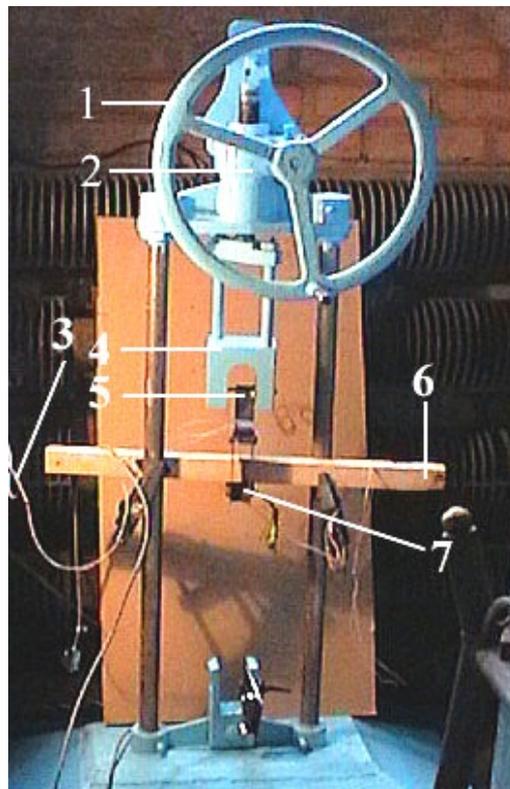


Рисунок 3.7 - Стенд ТУД-5 у зборі з тензоланкою та кріпленням для ножів:  
1- привідне колесо; 2- редуктор; 3- електричні дроти; 4- кронштейн;  
5- тензоланка; 6-дерев'яна балка; 7- кріплення для ножів

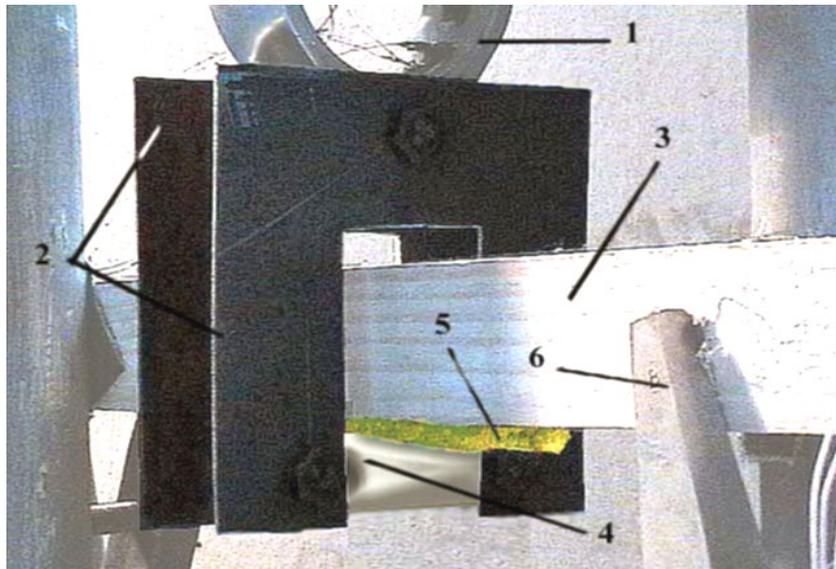


Рисунок 3.8 - Пристрій для вимірювання зусилля при статичному навантаженні: 1- тензоланка; 2- сталеві пластини для кріплення ножів; 3- дерев'яна балка; 4- ніж; 5- корінь бур'яну; 6- затискачі кріплення



Рисунок 3.9 - Дослідний ніж для проведення лабораторних досліджень

Для проведення досліджень виготовляються три ножі (рис.3.9), профілі розрізів лез яких відповідають профілям спрацьованих лап (до радіуса ріжучої кромки лез 0,1; 0,3 і 0,5 мм). Для закріплення ножів та з'єднання їх з тензоланкою виготовляються дві П-подібні сталеві пластини, на які з одного боку закріплюється ніж, а з іншого – тензоланка (рис. 3.8).

Дана конструкція монтується на стенд ТУД-5. У якості опорної поверхні використовується дерев'яна балка, яка закріплюється перпендикулярно площині ножа.

Підготовка дослідних зразків коренів бур'янів проводиться аналогічно методиці. Умови навантаження та методика реєстрування показників відповідають методиці. Тензоланки таруються як до початку, так і після закінчення серії дослідів.

Серії досліджень проводяться у такій послідовності: відбір зразків коренів бур'янів за діаметром їх поперечного перерізу; закріплення зразка; рівномірне навантаження до моменту повного перерізаня; огляд перерізаного зразка; аналіз одержаних показників; визначення вологості і щільності зразків.

По завершенню кожної серії дослідів визначається вологість зразків коренів.

Процес різання за статичних умов навантаження не в повному обсязі характеризує технологічний процес роботи культиваторної лапи внаслідок того, що в реальних умовах процес швидкоплинний, тобто різання відбувається у динамічних умовах. Динамічна дія навантажень при різанні моделюється на маятниковому копрі, обладнаному спеціально виготовленим пристроєм.

#### Висновки до третього розділу

1. Встановлено залежності ступеня спрацювання (затуплення) культиваторних лап від наробітку.
2. Отримані закономірності впливу ступеня спрацювання лап на тяговий опір при різних швидкостях (6, 8, 10 км/год) та при сталій глибині обробітку.
3. Розраховано опір статичному та динамічному різанню у залежності від радіуса леза, діаметра кореня, кута установки леза, швидкості різання.
4. Проведені дослідження впливу радіуса леза (ступеня спрацювання) на глибину обробітку, рівномірність глибини ходу та підрізання бур'янів.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ СПРАЦЮВАННЯ ЛАП КУЛЬТИВАТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

### 4.1 Дослідження динаміки спрацювання та затуплення лез лап культиваторів

Дослідження спрацювання лез культиваторних лап проведено у польових умовах реальної експлуатації згідно методики, описаної у третьому розділі.

Умови проведення дослідження наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Вологість, твердість та щільність ґрунту в горизонтах орного шару

№ досліджу	Середні значення твердості $c$ , Па, щільності $c_2$ , г/см <sup>3</sup> та вологості $W$ , %								
	0-5 см			5-10см			10-15 см		
	$c$	$c_2$	$W$	$c$	$c_2$	$W$	$c$	$c_2$	$W$
1	6,3	1,11	28,0	8,7	1,31	28,9	20,7	1,34	31,2
2	4,5	1,05	28,3	9,8	1,26	28,6	15,0	1,36	31,9
3	5,2	1,08	27,8	11,4	1,28	29,2	16,8	1,32	31,2
Середнє	5,3	1,08	28,1	9,96	1,28	28,9	17,5	1,34	31,8

Тип ґрунту – середньо-суглинний чорнозем, структура ґрунту - дрібна грудкувата. У попередній рік на полі проведено основний обробіток на глибину 0,25 м.

На рисунку 4.1 зображено скановані профілі відтисків лез лап, збільшених у п'ять разів.

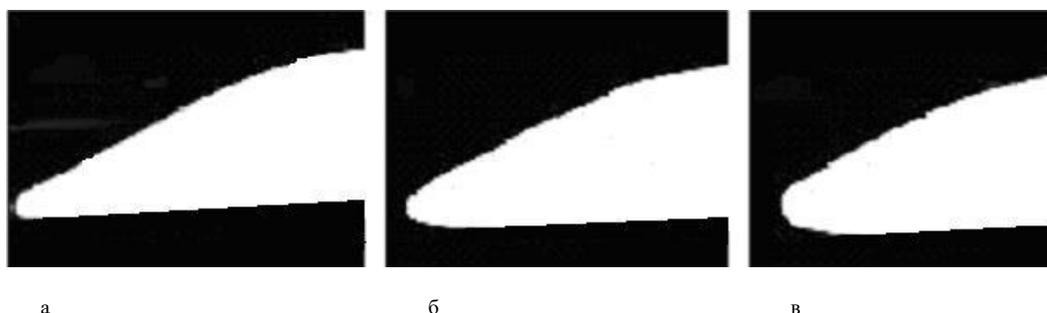


Рисунок 4.1 - Скановані відтиски профілю лез лап (збільшено 5х1):  
 а- наробіток 5 га ( комплект №1); б- наробіток 25 га (комплект №2); в- наробіток 45 га (комплект №3)

У таблиці 4.2 наведені результати польових досліджень затуплення ріжучої кромки лез лап культиваторів при збільшенні наробітку.

Таблиця 4.2 - Статистичні характеристики зміни радіуса ріжучої кромки лез у залежності від наробітку (пройденого шляху)

Показники	Оброблена площа культиватором КПС-4, га			
	5	15	25	45
	однією лапою (B=0,03м), га			
	0,337	1,01	1,68	3,04
	Пройдений шлях L, км			
	12,5	37,5	62,5	112,5
Середня арифметична радіуса r лез лап, см	0,0096	0,0205	0,0306	0,0504
Середнє квадратичне відхилення, мм	0,012	0,019	0,046	0,108
Коефіцієнт варіації, %	5,88	6,58	7,58	9,76

Встановлено, що залежність радіуса лез лап r від наробітку U (пройденого шляху L) носить не лінійний характер (рис. 4.2) і апроксимується залежностями:

$$r = 0,0126 + 0,0136U - 0,00006U^2;$$

$$r = 0,0139 + 0,0054L - 0,00001L^2. \quad (4.1)$$

На рисунку 4.2 графічно зображено залежність спрацювання леза лап r від наробітку U (L).

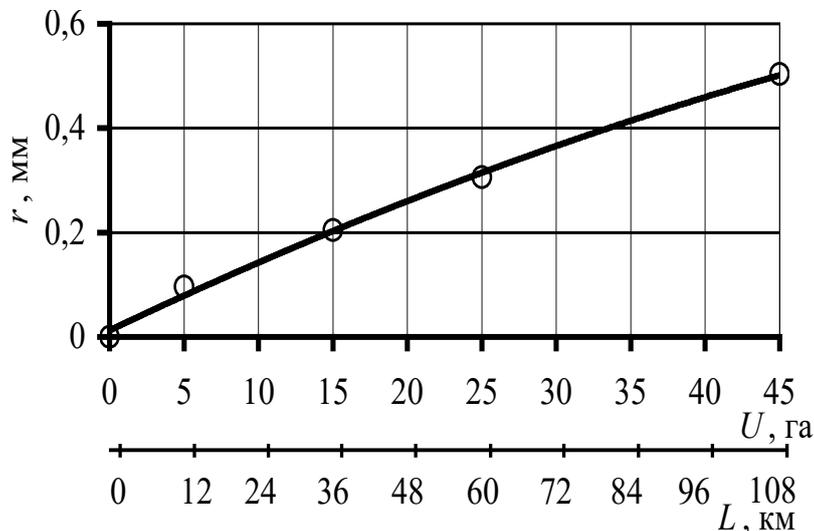


Рисунок 4.2 - Графік залежності радіуса спрацьованого леза  $r$  від наробітку

$U$  та пройденого шляху  $L$

#### 4.2 Вплив ступеня спрацювання лез лап на тяговий опір

Для визначення та порівняння енергетичних показників роботи культиваторних лап при різному затупленні та швидкості руху агрегату проведено тензометричне вимірювання відповідно до методики, описаної в п. 3.2, та плану експериментальних досліджень.

Умови проведення експериментальних досліджень характеризувалися наступними показниками: стан поля, на якому проводили дослідження, ґрунтові умови (вологість, щільність, твердість), значення яких наведено у таблиці 4.3. У попередній рік на полі проведено основний обробіток ґрунту на глибину 0,25 м після збирання гречки.

Таблиця 4.3 - Характеристика дослідної ділянки

Назва показника		Значення показника
Вид робіт		Передпосівний обробіток
Тип ґрунту		Суглинний чорнозем
Рельєф		Рівний
Структура ґрунту		Дрібна грудкувата
Глибина обробітку, м		0,1
Вологість ґрунту у горизонтах орного шару $W$ , %:	0 - 5 см	23,4
	5 - 10 см	25,3
	10 - 15 см	26,8
Твердість ґрунту у горизонтах орного шару $\rho$ , МПа:	0 - 5 см	0,73
	5 - 10 см	1,48
	10 - 15 см	1,87
Щільність ґрунту у горизонтах орного шару $c_s$ , г/см <sup>3</sup> :	0 - 5 см	0,98
	5 - 10 см	1,22
	10 - 15 см	1,38

Результати статистичної обробки даних досліджень наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Статистичні показники горизонтальної складової опору

№ дослідю	Значення факторів				Значення параметрів		
	Швидкість $V$ , км/год		Радіус затушеного леза $r$ , мм		Питоми й опір, кН/м $k$	Середнє квадрат. відхилен- ня $\varepsilon$	Коефіц. варіації, % $\nu$
	код	натуральне значення	код	натуральне значення			
1	-1	6	-1	0,1	1,543	0,14	9,09
2	-1	6	0	0,3	1,673	0,33	19,73
3	-1	6	+1	0,5	1,728	0,11	6,41
4	0	8	-1	0,1	2,13	0,2	9,42
5	0	8	0	0,3	2,28	0,13	5,71
6	0	8	+1	0,5	2,386	0,27	11,3
7	+1	10	-1	0,1	3,131	0,22	7,03
8	+1	10	0	0,3	3,416	0,17	5,02
9	+1	10	+1	0,5	3,506	0,19	5,41

Найбільш адекватно закономірність збільшення питомого опору від радіуса леза описується поліномом другого порядку:

$$k_r = 2,604 + 0,974V + 0,156r + 0,982V^2 + 0,487V \cdot r + 0,146r^2, \quad (4.2)$$

Для економічних розрахунків доцільно користуватися залежністю питомого опору від пройденої відстані агрегатом у кілометрах (приймаємо у зв'язку з тим, щоб полегшити перерахунок площі, обробленої агрегатами з різною шириною захвату). Оскільки кожному значенню радіуса леза відповідає певний наробіток, математичні моделі будуть аналогічними, але з іншими коефіцієнтами. Після заміни значень радіуса леза відповідними відстанями проходу агрегату, результати досліджень матимуть такий вигляд (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Статистичні показники горизонтальної складової опору

№ досл	Значення факторів				Значення параметрів		
	Швидкість $V$ , км/год		Відстань $L$ пройдена одною лапою, км		Питомий опір, кН/м	Середнє квадрат. відхилен ня	Коеф. варіа- ції, %
	код	натуральне значення	код	натуральне значення			
1	-1	6	-1	12,5	1,543	0,14	9,09
2	-1	6	0	62,5	1,673	0,33	16,18
3	-1	6	+1	112,5	1,728	0,11	3,51
4	0	8	-1	12,5	2,13	0,2	4,53
5	0	8	0	62,5	2,28	0,13	6,10
6	0	8	+1	112,5	2,386	0,27	8,71
7	+1	10	-1	12,5	3,131	0,22	11,76
8	+1	10	0	62,5	3,416	0,17	4,37
9	+1	10	+1	112,5	3,506	0,19	7,063

Нижче наведено математичну залежність питомого опору від пройденого шляху  $L$  у вигляді багатомірного поліному другого порядку:

$$k_L = 2,628 - 0,541V + 0,00154L + 0,0585V^2 + 0,0005V \cdot L - 0,000021L^2 \quad (4.3)$$

Після виключення несуттєвих величин рівняння регресії запишеться у такому вигляді:

$$k_L = 2,692 - 0,547V + 0,0585V^2 + 0,00061V \cdot L - 0,000017L^2 \quad (4.4)$$

Із результатів проведених досліджень видно, що при збільшенні наробітку

та швидкості переміщення агрегату питомий опір зростає (рис. 4.3 і 4.4).

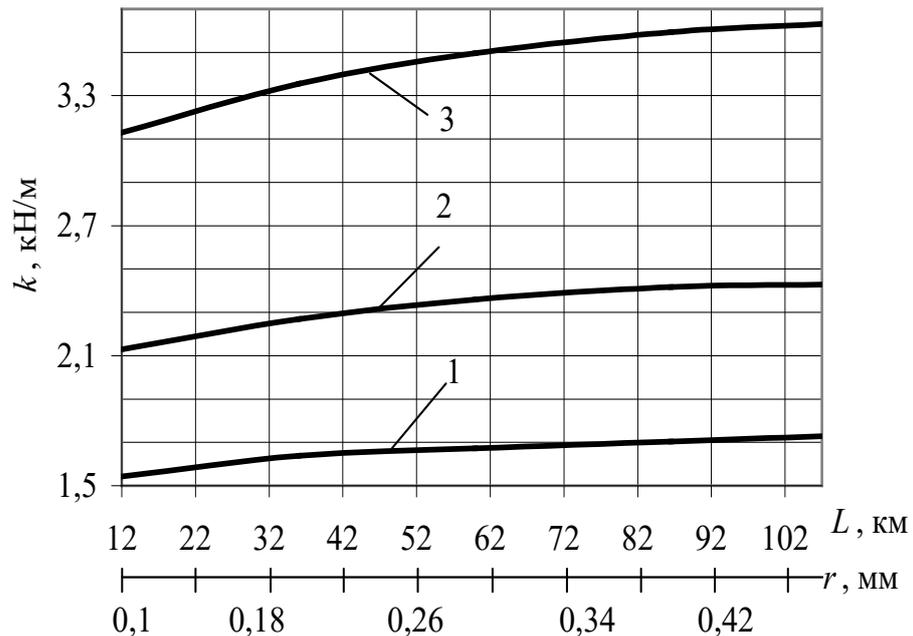


Рисунок 4.3 - Графік залежності питомого опору  $k$  культиваторних лап від пройденого шляху  $L$  (радіуса леза  $r$ ) та швидкості переміщення  $V$  агрегату: 1, 2 і 3 - відповідно  $V=6, 8$  і  $10$  км/год

Слід відмітити, що інтенсивність зростання опору із збільшенням радіуса леза  $r$  (пройденого шляху  $L$ ) при швидкостях руху у межах 6-10 км/год істотно не залежить від швидкості переміщення агрегату.

При збільшенні радіуса спрацьованого леза від 0,1 до 0,5 мм в діапазоні швидкостей 6-10 км/год, питомий опір зростає в межах від 11,98 до 12,02 %. Але абсолютні величини приросту питомого опору із збільшенням спрацьовання різняться істотно. Як видно з рисунку 4.3, приріст питомого опору  $k$  культиваторних лап становить 0,185; 0,256 та 0,375 кН/м відповідно для швидкостей руху 6, 8 і 10 км/год.

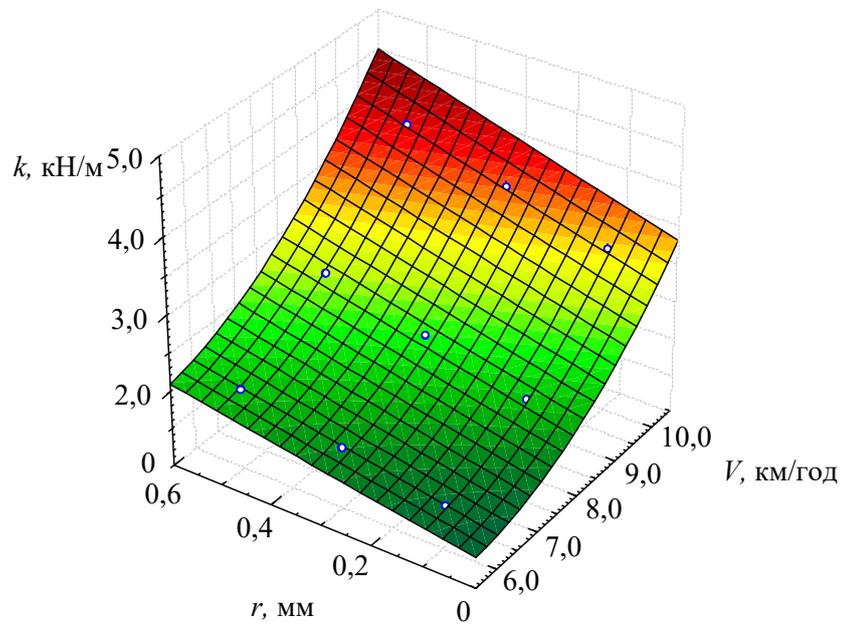


Рисунок 4.4 - Поверхня відгуку впливу швидкості переміщення  $V$  агрегату та радіуса леза лапи  $r$  на питомий опір  $k$

З метою оцінки достовірності отриманих залежностей (2.15, 2.17 і 2.38) порівняємо теоретичні значення приросту опору спрацьованому лезу з експериментальними. Для цього приймемо початковий радіус кромки леза лапи  $r=0,1$  мм. А опір, обумовлений збільшенням радіуса, відповідатиме різниці між його значеннями при заданому радіусі леза та початковому. Розраховані таким чином прирости питомого опору наведені у таблиці 4.6. Із наведених у таблиці даних видно, що приріст опору із збільшенням радіуса леза істотно залежить від швидкості руху. Аналітично врахувати вплив швидкості руху на опір ґрунту лезу досить складно, тому оцінити точність відповідності теоретичних та експериментальних результатів неможливо.

Таблиця 4.6 - Приріст питомого опору культиваторних лап із збільшенням радіуса леза за експериментальними даними

Радіус затупленого леза $r$ , мм	Питомий опір $k$ (кН/м) при швидкостях руху $V$ (км/год)			Приріст питомого опору (кН/м) при швидкостях руху $V$ (км/год)		
	6	8	10	6	8	10
0,1	1,54	2,13	3,13	0	0	0
	3	0	1			
0,3	1,67	2,28	3,41	0,13	0,15	0,28
	3	0	6	0	0	5
0,5	1,72	2,38	3,50	0,18	0,25	0,37
	8	6	6	5	6	5

Порівняння теоретичних та експериментальних результатів дозволяє виявити достовірність характеру впливу окремих показників на вихідний параметр. Одержане значення питомого опору менше отриманого експериментально при  $r=0,5$  мм (для швидкостей 6, 8 і 10 км/год) опір (приріст опору при збільшенні  $r$  від 0,1 до 0,5 мм) становить відповідно 185, 256 та 375 Н/м. Наявність різниці між експериментальними та теоретичними значеннями опорів можна частково пояснити впливом зростання швидкості руху.

У випадку, коли профіль леза приводиться до кола, опір лезу переважно залежить від твердості ґрунту (питомого опору стиснення). В експериментальних дослідженнях при обробі ґрунту культиваторними лапами на глибині 10 см твердість ґрунту становила близько 10 Па (табл. 4.1).

Із наведеного аналізу можна заключити, що теоретично визначити опір лезу з достатньою для практичного використання точністю неможливо. Отримані рівняння можна використовувати лише для встановлення впливу на опір окремих параметрів леза і режимів роботи агрегатів.

#### 4.3 Дослідження фізико-механічних властивостей коренів бур'янів

Попереднім оглядом оброблених культиватором площ виявлено, що багаторічні бур'яни із стрижневою кореневою системою знищуються (травмуються) не повністю. Для вирішення цих проблем вибрані чотири наступні види бур'янів: хвощ польовий (хвощовий, кореневищний із спорофітом); молочай польовий (дводольний, коренепаростковий); берізка польова (дводольний, коренепаростковий); осот жовтий польовий (дводольний, коренепаростковий). Фотознімки їх представлено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 - Загальний вигляд бур'янів: 1 - хвощ польовий; 2 - молочай польовий; 3 - берізка польова; 4 - осот жовтий польовий.

Корені бур'янів являються осьовими вегетативними органами, які характеризуються радіальною симетрією, верхівковим ростом, конусом наростання.

Для вивчення особливостей будови коренів бур'янів дослідні зразки розрізали у поперечному та поздовжньому напрямках. Елементи середньої частини коренів бур'янів зображені на рисунку 4.6 (збільшення відповідає кратності 15X1).

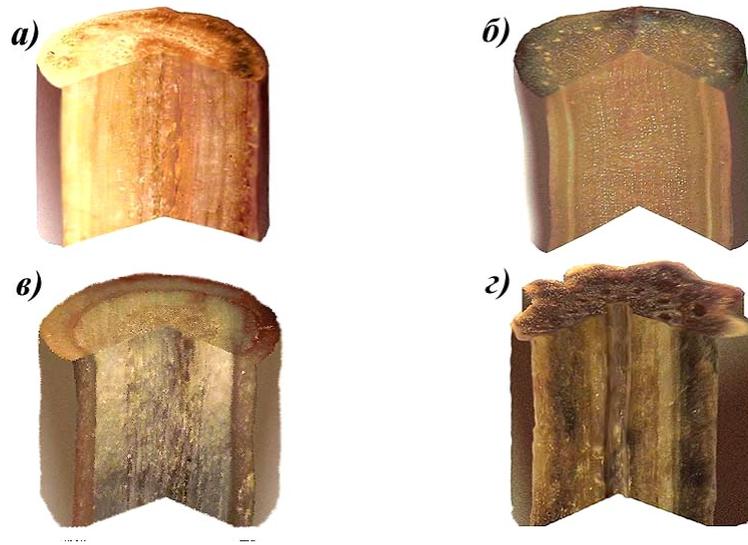


Рисунок 4.6 - Елементи середньої частини (із повздовжнім та поперечним перерізом) коренів бур'янів: а - берізка; б - осот; в - молочай; г - хвощ

Як видно з рисунку 4.6, периферійний шар (екзодерма) коренів є поверхневий шар клітин первинної кори. Оболонки її просочені суберином і, як покривні тканини, виконують захисну функцію. Під екзодермою знаходиться зовнішня частина первинної кори (мезодерма), а за нею – внутрішня (ендодерма), які утворені живими клітинами паренхіми. Клітини ендодерми мають незначні потовщення радіальних стінок.

У центральному циліндрі (крім хвоща) знаходиться складний радіальний пучок із основними тканинами, периферійна частина якого складає твірну тканину у вигляді кільця клітин-перцикл. У центрі розміщена тонкостінна паренхіма, оболонки якої просочені суберином. У паренхімі знаходиться провідний пучок, в якому промені первинної ксилеми поєднані з ділянками флоєми.

Як видно з рисунку 4.6, провідний пучок складається із двох частин: флоєми (лубу) та ксилеми (деревини). Флоєма звернута до поверхні, а ксилема навпаки - до центру кореня. Як зазначалося вище, у склад флоєми провідної тканини входять ситоподібні трубки та клітини-супутниці. Луб'яна паренхіма (основна тканина) та склеренхіма представлена волокнами механічної тканини, що спостерігається в усіх дослідних зразках. Крім цього, у берізки та молочаю провідна тканина утворена також судинами та трахеїдами, основна тканина -

деревоподібною паренхімою та механічна тканина - волокнами. Таким чином, виявлено, що провідні тканини коренів бур'янів, у результаті поєднання флоєми та ксилеми, утворюють складні форми: у осоту – пучкову, у берізки та хвощу – перехідну та у молочаю – не пучкову.

Аналіз показує відсутність прошарку між елементами провідної тканини з паренхімних клітин (рис. 4.6). Це свідчить про те, що основна тканина являє собою щільний та міцний матеріал. Таким чином, з'ясовано, що провідні пучки розміщені по периферії циліндра являються пучками відкритого типу.

#### 4.4 Визначення фрикційних властивостей коренів бур'янів

Дослідження проведено відповідно до методики, яку викладено у п. 3.2. Силу тертя коренів бур'янів по сталевій площині та ґрунту визначали на спеціально виготовленій для даних досліджень установці

У таблиці 4.7 наведено результати експериментальних досліджень коефіцієнтів тертя коренів бур'янів по сталі та ґрунту. Значення коефіцієнтів тертя коренів бур'янів по ґрунту та сталі ( $N=20H$ ).

Таблиця 4.7 - Результати експериментальних досліджень

Коефіцієнт тертя	Показник	Вид навантаження	Корені бур'янів			
			Осот	Хвощ	Берізка	Молочай
По сталі	сила тертя, Н	динамічний	9,6	12,2	10,8	10,2
		статичний	13,3	17,1	14,8	14,2
	коефіцієнт тертя, $f$	динамічний	0,48	0,61	0,54	0,51
		статичний	0,67	0,85	0,74	0,71

	кут тертя	динамічний	25,7	31,5	26,4	28,1
	$\varphi_1$ , град.	статичний	33,96	40,6	36,8	35,2
По ґрунту	сила тертя, Н	динамічний	13,2	15,4	14,2	14,8
		статичний	17,4	18,4	17,6	18,0
	коефіцієнт тертя, $f$	динамічний	0,66	0,77	0,71	0,74
		статичний	0,87	0,92	0,88	0,90
	кут тертя $\varphi_2$ , град.	динамічний	36,4	39,3	35,9	38,4
		статичний	42,1	44,2	43,3	44,1

Для різних бур'янів кути тертя коренів по сталевій поверхні  $\varphi_1$  при статичному навантаженні отримані у межах 34-41 град., а при динамічному - 25-32 град. Кути тертя  $\varphi_1$  при статичному навантаженні більші майже на 30% за кути тертя, визначені при динамічному навантаженні. Відповідно для статичних і динамічних умов випробування кути тертя коренів по ґрунту  $\varphi_2$  отримані у межах 42-44 град. та 36-39 град. відповідно.

Руйнівні зусилля коренів бур'янів при розтязі визначалися як у польових, так і у лабораторних умовах відповідно до методики, описаної у третьому розділі (п. 3.2.5.3). Умови проведення досліджень наведено в таблиці 4.8.

Таблиці 4.8 - Щільність та вологість дослідних зразків коренів бур'янів

Біологічний вид рослини	Щільність $c_2$ , г/см <sup>3</sup>	Вологість W, %
Осот польовий	0,447	90,55%
Хвощ польовий	0,548	80,43
Берізка польова	0,577	80,27
Молочай польовий	0,518	73,72

Дослідні зразки коренів відбирали одночасно на одній ділянці, при цьому ґрунтові умови та фази росту кожного виду бур'янів істотно не відрізнялися.

Дослідження проводили в десятикратній повторності для кожного інтервалу діаметрів коренів вибраних видів бур'янів. У таблицях 4.9 та 4.10 наведено середні значення руйнуючого зусилля та напруження розтягу коренів різних бур'янів у залежності від діаметра поперечного перерізу, отриманих у лабораторних та польових умовах.

Таблиця 4.9 - Результати досліджень деформації розтягу зразків коренів бур'янів у лабораторних умовах

Вид бур'яну	Середній діаметр кореня, $d_k$ , мм	Площа поперечного перерізу, $S$ , мм <sup>2</sup>	Руйнуюче зусилля $R$ , Н	Руйнуюче напруження, Па		Відносна деформація (видовження) $l$ , %
				дослід	середн $\epsilon$	
Осот	2,85	0,64	35,1	55,02	52,41	9,2
	3,25	0,83	42,2	50,86		9,8
	3,75	1,11	56,7	51,335		11,7
Хвощ	2,85	0,64	69,9	109,57	109,77	7,1
	3,25	0,83	93	112,11		7,4
	3,75	1,11	118,9	107,65		8,1
Беріз-ка	2,85	0,64	50,2	78,69	78,65	8,0
	3,25	0,83	64,9	78,23		8,6
	3,75	1,11	87,3	79,04		9,2
Моло-чай	2,85	0,64	83,1	130,27	129,83	5,9
	3,25	0,83	107,8	129,94		6,4
	3,75	1,11	142,8	129,28		6,7

Таблиця 4.10 - Результати досліджень деформації розтягу зразків коренів у польових умовах

Назва бур'яну	Середній діаметр кореня, $d_k$ , мм	Площа поперечного перерізу, $S$ , мм <sup>2</sup>	Руйнуюче зусилля $R$ , Н	Руйнуюче напруження (межа міцності), Па	
				в досліді	середнє

Осот	2,85	0,64	32,1	50,16	52,39
	3,25	0,83	44,4	53,49	
	3,75	1,11	59,4	53,51	
Хвощ	2,85	0,64	76,45	119,45	109,75
	3,25	0,83	90,1	108,55	
	3,75	1,11	112,4	101,24	
Берізка	2,85	0,64	60,7	94,78	78,79
	3,25	0,83	65,9	79,39	
	3,75	1,11	69,1	62,19	
Молочай	2,85	0,64	93,4	145,94	129,86
	3,25	0,83	107,5	129,52	
	3,75	1,11	126,7	114,12	

У таблиці 4.9 також наведено дані відносної деформації зразків коренів, які отримали у лабораторних дослідженнях.

Результати лабораторних та польових досліджень співпадають з незначним відхиленням. Це вказує на те, що отримані результати міцності коренів бур'янів носять об'єктивний характер і можуть бути використані для розробки та експлуатації ґрунтообробних робочих органів.

Таким чином, аналіз отриманих результатів показує, що:

- у межах діаметрів коренів 2,85-3,75 мм для кожного із видів бур'янів максимальне руйнівне напруження істотно не змінюється;

- руйнівне напруження розтягу для різних видів бур'янів відрізняється суттєво у 2-2,5 разів (для осоту польового, хвощу польового, берізки польової та молочаю польового воно становить, відповідно 52,4; 109,7; 78,6 та 129,8 Па).

- відносна деформація зразків коренів при розтязі знаходиться в межах 5,9-11,7%.

При збільшенні діаметра коренів зазначених бур'янів спостерігається тенденція зростання відносної деформації.

#### Висновки до четвертого розділу

1. Залежність зміни радіуса кромки лез лап  $r$  від наробітку  $U(L)$  носить не лінійний характер внаслідок різної інтенсивності їх спрацювання та описується квадратичною функцією.

2. Для різних бур'янів кути тертя  $\varphi_1$  коренів по лезу при статичному навантаженні знаходяться у межах 34-41 град., а при динамічному – 25-29 град. (значення  $\varphi_1$  при статичному навантаженні більші майже на 30% від одержаних у динамічних умовах).

3. Руйнуюче напруження при різанні коренів бур'янів у статичних умовах залежать від діаметру коренів та радіусу ріжучої кромки леза лап, а саме: при зміні радіуса леза від 0,1 до 0,5 мм напруження збільшуються в діапазоні від 11,6 до 21,6 Па для осоту та від 52,3 до 103,4 Па для молочаю.

## 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОПУСТИМОГО СПРАЦЮВАННЯ ЛАП ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 5.1 Вплив спрацювання лап на якість обробітку при культивації

Лапи культиваторів протягом усього часу експлуатації повинні забезпечувати якісний обробіток ґрунту з мінімальними витратами енергії. Однак, у результаті спрацювання і затуплення робочі параметри лап змінюються, що призводить до погіршення виконання ними технологічного процесу культивації поля. Тому постає питання, щодо визначення граничних параметрів спрацювання лез, після досягнення яких подальша експлуатація лап стає не ефективною і не доцільною. Основними якісними показниками роботи лап є глибина обробітку, рівномірність глибини ходу та ступінь підрізання коренів бур'янів.

Глибина обробітку не є обмежувальним параметром наробітку лап на відмову оскільки конструкцією культиватора зменшення глибини обробітку можна компенсувати відповідним регулюванням. Таким чином, цей показник не обмежує величину допустимого спрацювання.

Як встановлено проведеними дослідженнями, одним з найбільш значущих показників роботи культиваторів є ступінь підрізання бур'янів. Цей показник визначається кількістю підрізаних бур'янів у відсотках. Відповідно до агротехнічних вимог останній повинен бути не менше 96 %. Згідно теоретичних

розрахунків, при характерних значеннях твердості ґрунту (біля 100 Па) забезпечується повне перерізання коренів найбільш міцного бур'яну (молочаю польового) лезом радіусом 0,4 мм.

Так як діючі агротехнічні вимоги розраховані на сучасні культиватори, можна прийняти за задовільний показник підрізання коренів бур'янів 94-96 %. Враховуючи результати теоретичних розрахунків та дані експериментальних досліджень, граничне допустиме значення радіуса леза приймаємо  $r=0,4$  мм, при цьому показник підрізання коренів бур'янів складає не менше 96%.

## 5.2 Обґрунтування допустимого спрацювання за мінімальними сумарними затратами на енерговитрати та відновлення лап

Аналітичні дослідження по визначенню оптимального міжремонтного наробітку лап за критерієм мінімальної суми витрат коштів на додаткову енергію, обумовлену підвищенням опору при спрацюванні лез лап та їх відновленню представлено у розділі 2.

Заробітна плата механізатора складає  $C_3=50$  грн/год; вартість однієї години простою агрегату  $C_n=37$  грн/год; вартість ремонту комплекту лап шириною захвату 1 м  $C_p=12,5$  грн; час заміни одного комплекту лап шириною захвату 1 м  $t_3 = 0,3$  год. Інші складові згідно існуючих норм прийняті такими: питома витрата палива  $q = 0,25$  кг/кВт·год [12]; вартість палива 25 грн/кг; ККД трактора  $\eta_T = 0,65$ .

Після підстановки вихідних даних у рівняння побудовані залежності витрат коштів на додаткові енерговитрати та відновлення від наробітку по пройденому шляху  $L$  (рис. 5.1).

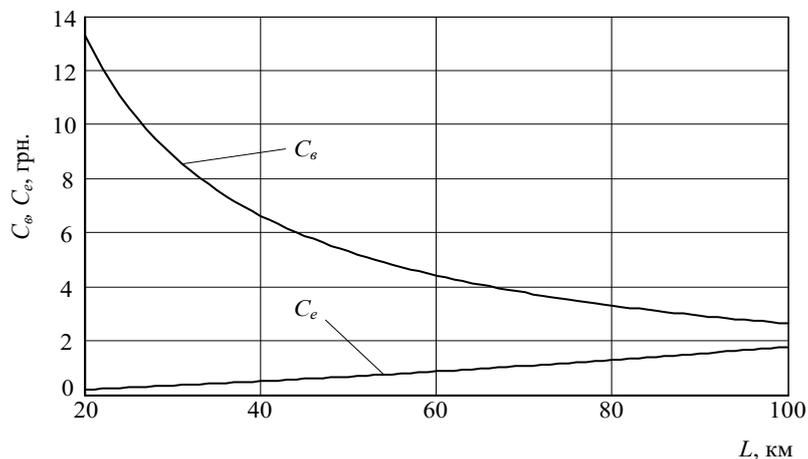


Рисунок 5.1 - Залежність витрат коштів на пального  $C_e$  (при  $V=8$  км/год) та відновлення  $C_v$  від пройденого шляху  $L$

Із рисунка видно, що із зростанням наробітку  $L$ , витрати коштів  $C_e$  на додаткову енергію збільшуються, а на відновлення  $C_v$  – зменшуються.

Залежність сумарних витрат коштів на додаткові витрати енергії, обумовлені збільшенням опору внаслідок спрацювання лап, та на їх відновлення подано на рисунку 5.2.

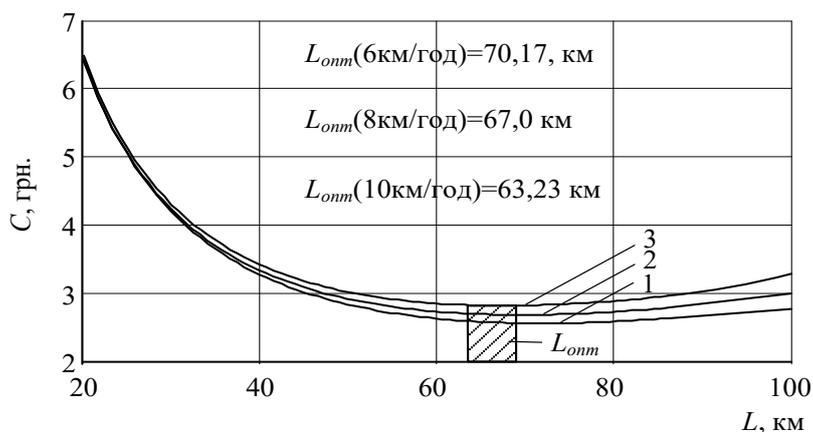


Рисунок 5.2 - Залежність сумарних витрат коштів  $C$  від пройденого шляху  $L$  та робочої швидкості: 1, 2 і 3 – відповідно  $V=6, 8$  і  $10$  км/год

Наробіток, що відповідає мінімальним витратам коштів, слід вважати оптимальним.

З рисунка 5.2 видно, що оптимальний шлях до заміни або відновлення лап знаходиться у межах 63-70 км. Це відповідає сумарним витратам на додаткові енерговитрати внаслідок спрацювання та на відновлення лап 2,63-2,95 грн. Із збільшенням швидкості руху сумарні витрати зростають, а оптимальна величина шляху  $L_{opt}$  скорочується, оскільки зростає інтенсивність спрацювання лез лап.

При швидкості 6 км/год  $L_{opt}$  становить 70,17 км, а при збільшенні швидкості до 10 км/год – зменшується до 63,23 км.

Залежність оптимального наробітку  $L_{opt}$  від вартості відновлення  $C_e$  та ціни пального  $C_n$  подано на рисунку 5.3.

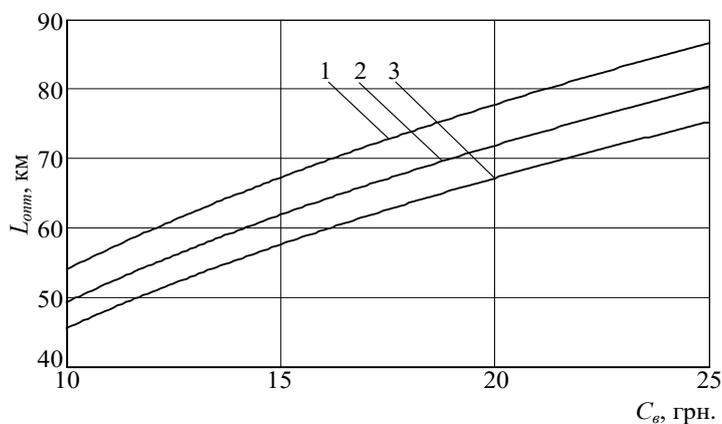


Рисунок 5.3 - Залежність оптимального міжремонтного наробітку  $L_{opt}$  від вартості відновлення  $C_e$  та ціни пального  $C_n$  при  $V=8$  км/год: 1, 2, 3 – відповідно  $C_n=20$ ; 25; 30 грн/кг

При збільшенні вартості відновлення лап оптимальний наробіток зростає. Наприклад, при вартості палива 20 грн/кг і відновлення 1 м ширини захвату лап культиватора 15 грн. оптимальний пройдений шлях дорівнює 67,4 км, а при вартості відновлення 20 грн., – 77,8 км. Збільшення вартості палива зменшує оптимальний міжремонтний наробіток. Наприклад, при вартості відновлення 15 грн, зростання ціни пального від 20 до 30 грн/кг обумовлює зменшення оптимального наробітку від 67,3 до 57,8 км.

Встановлено, що середня вартість відновлення  $C_e$  в умовах господарств знаходиться у межах 15-17 грн, а середня вартість палива 26 грн/кг. За таких умов оптимальний наробіток  $L_{opt}$  становить 64,1-70,4 км (див.рис.5.3), що відповідає радіусі леза  $r=0,32-0,36$  мм (див.рис. 5.2).

### 5.3 Витрати коштів на відновлення лап

Вартість одного відновлення комплекту лап можна визначити, як суму вартості заміни комплекту лап та відновлення. Вартість заміни складається із

заробітної плати механізатора та вартості втраченого змінного часу при заміні комплекту лап. Усі ці складові пропорційні кількості лап, тобто ширині захвату. Ця сума визначається рівнянням:

$$C'_e = B_p (C_3 t_3 + C_n t_3 + C_p), \quad (5.1)$$

де  $C_3$  - заробітна плата механізатора за годину зміни, грн/год;

$C_n$  - вартість години простою агрегату, грн/год;

$C_p$  - вартість ремонту комплекту лап із розрахунку на метр ширини захвату, грн;

$t_3$  - час заміни одного комплекту лап із розрахунку на метр ширини захвату, грн.

Витрати коштів на гектар обробленої площі поля дорівнюють:

$$C'_e = \frac{B_p (C_3 t_3 + C_n t_3 + C_p)}{10^3 \cdot 10^{-4} B_p L} = \frac{10(C_3 t_3 + C_n t_3 + C_p)}{L}, \quad (5.2)$$

або 
$$C'_e = \frac{10C_{e.k.}}{L} \quad (5.3)$$

де  $C_{e.k.} = C_3 t_3 + C_n t_3 + C_p$  - вартість відновлення комплекту лап із розрахунку на метр ширини захвату.

Витрати коштів на додаткові енерговитрати внаслідок спрацювання та на відновлення лап визначається сумою

$$C = C_e + C'_e, \quad (5.4)$$

або зробивши підстановки з рівнянь 5.1 і 5.3 отримаємо:

$$C = A_1 L + A_2 L^2 + \frac{A_3}{L}, \quad (5.5)$$

де  $A_3 = 10 \cdot C_{e.k.}$ .

Для визначення оптимального пройденого шляху  $L$  робочими органами до відновлення, при якому затрати на додаткові витрати енергії та відновлення

будуть мінімальними застосовано класичний метод диференціювання функції.

#### 5.4 Економічна ефективність досліджень

У результаті опитування спеціалістів у сільськогосподарських підприємствах встановлено, що відновлення культиваторних лап в середньому виконується через 33,7-43,2 га (для культиваторів шириною захвату 4 метра), що відповідає пройденому шляху 84-108 км та радіусу лез лап  $r = 0,4 - 0,47$  мм (рис. 4.2). З рисунку 4.2 видно, що при робочій швидкості 8 км/год оптимальному наробітку 67 км відповідає сумарна вартість на додаткові енерговитрати та відновлення 2,66 грн/га, а при наробітку 80-100 км – 2,75-2,98 грн/га. Різниця дорівнює 0,09-0,32 грн/га.

У цілому, економічна ефективність від застосування нового методу оптимізації міжремонтного наробітку (для культиватора КПС-4 при річному навантаженні 400 га/рік) становить у середньому 27600 грн/рік.(табл.5.1).

Дотримання положень агротехнічних вимог, щодо роботи культиваторних лап, відображається не лише на збільшенні врожайності сільськогосподарських культур, а й на підвищенні економічної ефективності роботи лап внаслідок зменшення питомих енерговитрат.

Таблиця 5.1 - Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показника	
	класичний метод	новий метод
1. Річне навантаження лапи, га/рік	400	400
2. Собівартість однієї лапи, грн.	480	350
3. Собівартість комплекту лап, грн.	15360	11200
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	1,58	1,17

5. Річний економічний ефект, грн.	-	27600
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.	-	14,6

### Висновки до п'ятого розділу

1. Враховуючи результати теоретичних розрахунків та дані експериментальних досліджень, граничне допустиме значення радіуса леза приймаємо  $r=0,4$  мм, при цьому показник підрізання коренів бур'янів складає не менше 96%.

2. Проведено обґрунтування допустимого спрацювання за мінімальними сумарними затратами на енерговитрати та відновлення лап.

3. Проведені розрахунки економічної ефективності досліджень.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Правила охорони праці під час ремонту ґрунтообробних машин

Правила охорони праці під час ремонту ґрунтообробних машин повинні бути розроблені на підприємстві і відповідати загальним вимогам техніки безпеки.

Ремонтні роботи у стаціонарних умовах повинні проводитись у пристосованих для цих робіт приміщеннях, або спеціальних майданчиках та виконуватись працівниками, що мають відповідну кваліфікацію. Робочі місця по ремонту ґрунтообробних машин повинні бути обладнанні підйомними механізмами. Захаращування проходів і робочих місць вузлами та деталями машин, що ремонтуються, матеріалами і відходами забороняється.

До роботи на свердлильних, шліфувальних та заточувальних верстатах допускаються механізатори та інші працівники, які залучаються на період ремонту, пройшли навчання, а також інструктаж з охорони праці при роботі на даному обладнанні.

Під колеса машини, яка встановлена для ремонту або технічного обслуговування, з метою попередження її довільного руху необхідно підкласти противідкатні башмаки.

Забороняється: виконувати будь-які роботи з машиною, вивішеною тільки на одних підйомних механізмах (домкратах, телях тощо); встановлювати машину на випадкові предмети замість спеціальних підставок; знімати і ставити ресори на машинах (причепях) всіх конструкцій і типів без надійних підставок.

Кожен нещасний випадок характеризується завданою шкодою для здоров'я, втратою робочого часу, матеріальними витратами.

## 6.2 Техніка безпеки під час роботи з пристроями

До роботи на верстатах допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктаж на робочому місці.

Працівник повинен користуватися спецодягом і засобами індивідуального захисту, виконувати тільки ту роботу, за якою він проінструктований і яка доручена керівником робіт. На робочих місцях повинні бути відповідні інструкції з охорони праці під час роботи з інструментом, обладнанням і пристроями. Не дозволяється виконувати роботи на несправному обладнанні та використовувати обладнання та інструмент не за призначенням.

Ремонтно-технологічне обладнання повинно бути забезпечено зручними в експлуатації запобіжними пристроями, що забезпечують добрий огляд і видимість виробу, що ремонтується (оброблюється) та захист очей.

У випадку неможливості за технічними причинами використання запобіжного щитка власник повинен видати працівникам захисні окуляри.

Для виконання постійних робіт пневматичним ударним інструментом повинно бути виділено спеціальне приміщення або окреме робоче місце, яке необхідно огородити переносними або стаціонарними звукопоглинаючими екранами. З метою запобігання вібраційній хворобі у працівників із механізованим (пневматичним) ручним інструментом необхідно застосовувати пневматичні молотки з пристроями для гасіння вібрації та видавати працівникам

засоби індивідуального захисту рук від вібрації. Ручний пневматичний інструмент (молотки для клепання та рубання, свердлувальні та шліфувальні машинки тощо) повинен бути обладнаний ефективними глушителями шуму й викиду стисненого повітря.

Пристрої, призначені для роботи під навантаженням (металеві підставки, домкрати тощо), слід щоденно оглядати перед початком роботи. Ручні важільно-рейкові домкрати повинні виключати самовільне опускання вантажу при знятті зусилля з важеля або рукоятки, забезпечуватися стопорами, що виключають вихід гвинта або рейки при знаходженні штоку у верхньому крайньому положенні. Витікання рідини або повітря з робочих циліндрів домкратів або підйомників під час переміщення вантажів не допускається.

Виготовлення, ремонт та заточування інструменту повинні проводитися централізовано спеціально навченим працівником.

Використання нового або відремонтованого інструменту та пристроїв допускається тільки після випробування та приймання в експлуатацію.

Для перенесення інструменту, якщо це потрібно за умовами роботи, кожному працівникові видається сумка або легкий переносний ящик. Для складання дрібних нарізаних заготовок повинна бути передбачена спеціальна тара, що забезпечує зручне транспортування краном. Тара повинна бути розрахованою на необхідну вантажопідйомність, мати напис про максимально допустиме навантаження і періодично перевірятись та випробовуватися.

### 6.3 Безпечність технологічного обладнання

З точки зору охорони праці основними вимогами до устаткування є безпечність для здоров'я і життя людей, надійність і зручність під час експлуатації.

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дій, конструктивних схем, елементів конструкції;

- використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;
- застосуванням в конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням в конструкції відповідних безпечних матеріалів.

При проектуванні машин і механізмів обов'язково повинні враховуватися ергономічні вимоги: розміщення механізмів керування на робочому місці, зусилля для приведення в дію механізмів керування тощо.

При конструюванні устаткування частини, що обертаються, рухаються, комунікації (трубопроводи, кабелі тощо) необхідно розміщувати у корпусі машини, щоб вилучити можливість доступу до них працюючих.

Устаткування має відповідати вимогам електробезпеки і гарантувати захист працюючих від ураження електричним струмом.

У конструкції устаткування повинні передбачатися вбудовані (місцеві) відсмоктувачі, необхідні для видалення пожежо- і вибухонебезпечних сумішей, небезпечних і шкідливих хімічних речовин, пилу тощо безпосередньо з місця їх виникнення.

Щоб уникнути шуму та вібрації або знизити їх до регламентованих рівнів, необхідно застосовувати звукопоглинаючі матеріали, кожухи тощо.

Механізми керування технологічним обладнанням повинні мати безпечні та зручні форми і поверхню, встановлюватися у безпечному для працюючих місці, приводитись у дію зусиллями, що встановлені відповідними нормами, мати напис про призначення, інструкцію з експлуатації тощо.

При монтажі всі стаціонарні машини, апарати тощо мають бути встановлені й закріплені таким чином, щоб вилучити можливість їхнього зсуву під час роботи.

Під час експлуатації все технологічне устаткування має утримуватися у справному стані й використовуватися лише за призначенням. Крім того, необхідно усунути можливість випадкового дотику працюючих до устаткування,

що має температуру понад 45°C. Якщо цього зробити неможливо, поверхня устаткування повинна мати теплоізоляцію або огороження.

Технологічне устаткування, обслуговування якого пов'язане з переміщеннями працюючого на висоті, повинне мати безпечні й зручні за конструкцією і розмірами робочі майданчики, переходи та драбини. Майданчики та драбини заввишки понад 1,3 м від підлоги обладнуються поручнями.

Устаткування має підлягати періодичному профілактичному оглядові, ремонтам за графіками.

Щойно встановлене устаткування приймається комісією за участю представників органів державного нагляду за охороною праці.

Дотримання цих вимог в повному обсязі можливе лише на стадії проектування. Тому в усіх випадках проектної документації передбачаються вимоги безпеки. Вони містяться в спеціальному розділі технічного завдання, технічних умов та стандартів на обладнання, що випускається.

#### Висновки до шостого розділу

1. Розроблені правила охорони праці під час ремонту ґрунтообробних машин

2. Розроблені правила з техніки безпеки під час роботи з пристроями і технологічним обладнанням.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Аналізом умов і режимів роботи, видів та причин відмов культиваторних лап у процесі їх експлуатації встановлено, що головною причиною відмов роботи є швидке затуплення кромки лез лап. Внаслідок різноманіття й специфіки умов роботи культиваторних лап науково обґрунтованої допустимої величини затуплення лез лап не встановлено. Аналіз існуючих досліджень засвідчив перспективність вирішення багатокритеріальної задачі, пов'язаної з визначенням оптимальної допустимої величини затуплення кромки леза лап через урахування якісних та енергетичних показників їх роботи.

2. Теоретичними дослідженнями процесу взаємодії спрацьованої кромки лез лап з ґрунтом встановлено характер впливу величини її спрацювання на питомий опір ґрунту та одержано математичний опис даного процесу.

3. Експериментальними дослідженнями якісних показників роботи лап виявлено, що для дотримання встановленої глибини обробітку в межах агротехнічних вимог необхідно через кожні 25 км пройденого шляху лапою заглиблювати робочі органи культиватора на 1 см; рівномірність глибини ходу

зберігається на допустимому рівні ( $\nu=37,5\%$ ) при радіусі кромки леза лапи до 0,5 мм; прийнятний ступінь подрізання коренів (94-96%) спостерігається при радіусі леза 0,3-0,4 мм, при цьому рекомендована швидкість має бути не менше 8 км/год .

4. Проведено аналіз та обґрунтовано умови для визначення допустимого радіуса леза в залежності від твердості ґрунту, руйнуючого напруження кореня бур'яну, глибини обробітку та кутів тертя коренів по лезу і ґрунту. Для поширених видів бур'янів (осот, хвощ, берізка, молочай) експериментально визначено кути тертя коренів по лезу  $\varphi_1=25,7-31,5^0$  і по ґрунту  $\varphi_2=36-39^0$  та величину руйнуючого напруження  $\sigma_3=40-90$  Па.

5. Обґрунтовано метод визначення оптимального міжремонтного наробітку лап. Аналітично визначено залежність оптимального міжремонтного наробітку від коефіцієнтів поліному залежності питомого опору від пройденого шляху, ККД трактора, вартості пального та вартості відновлення.

6. За дотримання оптимального міжремонтного наробітку порівняно із прийнятими у господарствах (80-100км), економічна ефективність від застосування нового методу визначення оптимального міжремонтного наробітку (для культиватора КПС-4 при річному наробітку 400 га) становить у середньому 27600 грн/рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анілович В.Я. Надійність машин в завданнях та прикладах/ В.Я. Анілович , О.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко. Харків: Око, 2001. 320с.
2. Берник П.С. Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки / П.С. Берник, І.П. Паламарчук. Львів: Вища школа, 2006. 237 с.
3. Біловод О.І. Деякі аспекти процесу зношування при терті ковзанням / О.І. Біловод, О.В. Горбенко та ін. // Вісник ХДТУСГ: Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки. Вип. 40. Харків: 2005. С. 35-41.
4. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на різальні частини ґрунтообробного робочого органу / А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопільського державного технічного університету. Тернопіль: ТДТУ, 2000. С.78-82.
5. Бойко А.І. Дослідження форми зносу монометалевих лез ґрунтообробних машин / А.І. Бойко, А.В. Балабуха // Зб. наук праць Кіровоградського державного технічного університету. Кіровоград: КДТУ. 2000. С. 78-82.
6. Василенко М. Відновлення лемешів із застосуванням електрофізичного методу / М. Василенко, В. Верхуша // Техніка АПК. 2000. №7. С. 15-16.

7. Василенко П.М., Бабій П.Т. Культиватори. Київ: Урожай, 1991. 237 с.
8. Верхуша В. Не поспішайте вибраковувати леміш / В. Верхуша, О. Болтян // АПК. Наука, техніка, практика. №9, 1999. С. 19.
9. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Р.Г. Гаврилюк Київ: Каравелла, 2004. 552с.
10. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубовін, Т.Д. Іщенко та ін. Київ: Вища освіта, 2004. 544с.
11. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464с.
12. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол та ін. Київ.: Урожай, 2008. 208 с.
13. Дубровін М.І. Напрями розвитку механізації рослинництва / Н. Дубровін, Я. Гуков, М. Єсенчук // Вісник аграрної науки. №4, 2001. С. 58-62.
14. Дудніков А.А. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств / А.А. Дудніков, П.В. Писаренко, О.І. Біловод, І.А. Дудніков, О.П. Ківшик. Вінниця: Нова книга, 2011. 400 с.
15. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту / П.М. Заїка. Харків: Око, 2011. 444с.
16. Козаченко О.В. До методики визначення енергоємності сільськогосподарських агрегатів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: Вип. 103. ХНТУСГ, 2020. С.244-249.
17. Комаристов В.Ю. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.Ф. Дунай. Київ: Вища школа, 2007. 486с.
18. Кушнар'ов А.С. Механіко-технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'ов, В.С. Кочев. Київ: Урожай, 1989. 140 с.
19. Мазнев Г.Є. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК / Г.Є. Мазнев, М.М. Турченко, М.Д. Щетінін. Харків: ХДТУСГ, 2001. 401 с.
20. Марченко В.І. Сільськогосподарські машини / В.І. Марченко. Київ: Вища школа, 1999. 344с

21. Методичні рекомендації для виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, Комарніцький С.П. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.

22. Погорілий Л. Перспективні конструкції ґрунтообробних машин / Л. Погорілий, М. Лінник, В. Дубровін та ін. // Сільськогосподарська техніка України. Київ.1998. №2. С. 6-12.

23. Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі / За ред. Я.К. Білоуська. Київ: ННУ «ІАЕ», 2007. 215с.

24. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. Тернопіль: ВАТ "ТВПК", 2003. 332с.

25. Ткач В.Н. Зношування і підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин / В.Н. Ткач. Київ: Техніка, 2001. 264 с.

26. Царенко О.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін. Київ: Мета, 2003. 448с.

27. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ, Видавництво “Нора-прінт”, 1999. 280 с.

28. Дубровін В.О. Основи диференціації засобів механізації оранки. Київ: НАУ, 2006. 64 с.

