

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра галузевого машинобудування**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття

ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Удосконалення технологічного процесу зміцнення робочих  
поверхонь ґрунтообробної техніки»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1  
Кореньов Валентин Валерійович  
Керівник: Ковбаса В. П.  
Рецензент: Шейченко В. О.

**Полтава – 2021 року**

## Вступ

Проблема забезпечення довговічності та надійності сільськогосподарської техніки є однією з найважливіших для забезпечення продуктивності та якості виконуваних робіт, особливо для відповідальних деталей, що знаходяться в контакті з оброблюваним матеріалом.

В сільськогосподарському машинобудуванні важливе місце займає ця проблема в забезпеченні довговічності робочих органів ґрунтообробних машин.

Дані експлуатації свідчать, що строк служби лемешів до першого ремонту не перевищує 8 га, а в цілому не більше 20 га. При затупленні їх лез знижується якість обробки ґрунту, а також збільшуються витрати паливо-мастильних матеріалів [1].

Проблемою підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин займалися ряд ведучих інститутів: Інститут машинознавства сільськогосподарської механіки АН України (м. Київ), ННЦ «ІМЕСГ» (сmt. Глеваха, Київська обл.) та ряд інших наукових закладів. Проте, цілий ряд питань забезпечення довговічності культиваторних лап, плужних лемешів, дискових робочих органів та інших деталей не одержали достатнього вирішення [2].

Важливе значення набуває проблема створення ефективних робочих органів ґрунтообробних машин в теперішній час в зв'язку жорстких обмежень у застосуванні матеріальних ресурсів.

Практика показує, що довговічність зміцнених наплавкою робочих органів ґрунтообробних машин в 2...3 рази вище, ніж звичайних [3].

Доцільність відновлення указаних деталей полягає в зниженні собівартості їх ремонту, а також в зменшенні виробничих затрат при експлуатації ґрунтообробних машин. В собівартості ремонту указаних машин вартість запасних частин досягає 50-60% [4].

Слід відмітити, що при відновленні указаних деталей їх якість повинна бути не нижчою рівня нових. Необхідно забезпечити підвищення зносостійкості робочих поверхонь за рахунок розробки та застосування більш прогресивних технологій відновлення [5].

Тому актуальним є розробка та впровадження ефективних в експлуатації методів забезпечення довговічності ґрунтообробних робочих органів.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Умови експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин

Значний вплив на зношування робочих органів мають вид ґрунту та його властивості. По зношувальній здатності ґрунти поділяються на дві групи: піщані – містять більше 80% твердих частинок розміром вище 0,01 мм і суглинисті (глинисті) – вміст менше 70% цих частинок [6].

Твердість абразивних частинок в ґрунті спричиняє суттєвий вплив на зношування робочих органів ґрунтообробних машин. По даним [7] зношувальна здатність різних ґрунтів відрізняється в 10...12 разів.

Зношування леза культиваторної лапи залежить також і від вологості ґрунту. Остання на глибині культивації змінюється значно більше, ніж на глибині оранки зменшення вологості спричиняє підвищене зношування ріжучої кромки леза [8]. По даним авторів при вологості ґрунту (20...28%) знос обробного органу знижується, так як ґрунт стає рихлим.

По мірі збільшення щільності ґрунту інтенсивність зношування зростає.

Леза культиваторних лап при обробці різних ґрунтів мають різну інтенсивність зношування, що викликає збільшення тягового опору агрегату. Так, на піщаних ґрунтах вона складає 16%, а на глинистих – 33% [9].

На величину зношування спричиняє вплив тиск ґрунту: зниження навантаження на робочий орган на 10% призводить до зменшення величини зносу на 20% [10].

Швидкість руху робочого органу спричиняє вплив на інтенсивність його зношування. При цьому носова частина стрілкової лапи зношується швидше [11].

Аналіз умов експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин дозволяє зробити наступні висновки:

1. Величина зносу ріжучих елементів в значній мірі залежить від складу ґрунту.
2. Чим вища щільність ґрунту, тим більша інтенсивність зношування.

## **1.2. Види пошкоджень робочих органів**

Головною причиною пошкоджень робочих органів ґрунтообробних машин є їх зношування, а також поломки, що в основному зустрічаються при експлуатації на кам'янистих ґрунтах.

Експлуатаційні випробування показують, що для усунення наслідків пошкоджень затрачається близько 20% робочого часу [12].

Фізико-механічні властивості ґрунту, її гранулометричний склад обумовлюють знос ріжучих елементів робочого органу (леміш плуга, лапа культиватора). Суттєву роль в їх зношуванні відіграють наявність в ґрунті абразивних частинок, твердість яких вища твердості матеріалу робочого органу. До таких частинок відносяться оксиди кремнію.

Значний вплив на зношування та форму леза надає характер переміщення частинок, їх розміри. Так частинки кварцового піску переміщуються в 3,0...3,5 рази повільніше, ніж частинки ґрунту. При цьому в зоні їх контакту з поверхнею робочого органу швидкість менша, ніж на деякому віддаленні від поверхні.

При горизонтальному переміщенні леза швидкість частинок по верхній грані нижча, ніж по нижній, оскільки тиск на верхню грань менший. При цьому швидкість переміщення ґрунтових частинок по поверхні в 1,6...4,5 разів менша загальної швидкості ґрунтообробної машини [13].

Взаємодія твердих частинок з поверхнею тертя та руйнування металу леза робочого органу схематично представлено на рис. 1.1 [14].

Якщо твердість абразивних частинок більша твердості матеріалу леза, то руйнування може відбуватися внаслідок мікрорізання (рис. 1.1, а) або в результаті пластичного деформування (рис. 1.1, б). При домінуючій твердості

матеріалу процес руйнування поверхні тертя може відбуватися внаслідок корозійно-механічного зношування або викришування окремих ділянок матеріалу леза.

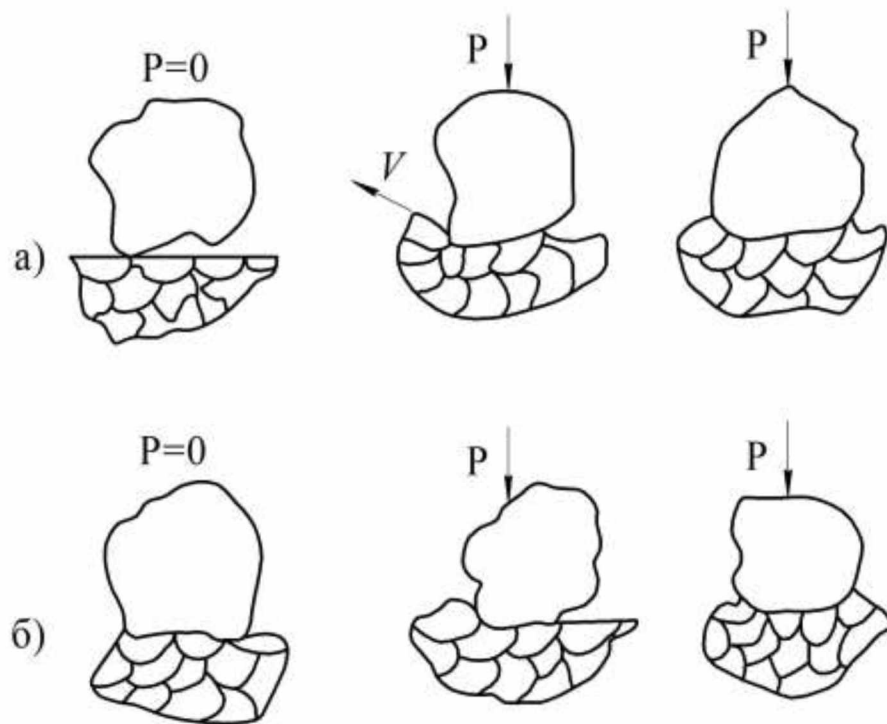


Рис. 1.1 - Схема руйнування поверхні тертя абразивними частинками:  
а) мікрорізання; б) пластичне відтиснення

На думку Б.И. Костецького [15] пропонується дещо інше пояснення зношуванню робочих органів в абразивному середовищі. Автор вважає, що важливішим фактором зношування є вплив формування на поверхні тертя другорядних структур з наступним їх руйнуванням. Внаслідок складного складу ґрунту та наявності в ній різних по твердості частин, відбувається одночасне протікання усіх процесів з переважанням якогось одного з них, яких і визначає інтенсивність зношування робочого органу ґрунтообробних машин.

В результаті абразивного зношування швидкість процесу може досягати 1 мм/год. Характерною ознакою його протікання є утворення подряпин на поверхні тертя, які, як правило, направлені вздовж руху частинок по поверхні деталі. При контакті різального елемента з ґрунтом

відбувається абразивне зношування з пластичним деформуванням мікроб'ємів поверхневого матеріалу, що активізує розвиток втомлюваного руйнування поверхні тертя. При цьому відбувається зношування, величина якого залежить від модуля його пружності.

Зношування леза робочого органу характерне утворенням фаски зносу (потиличної фаски), що призводить до зростання сили опору руху робочого органу (лемешу плуга, лапи культиватора).

Характер зношування леза культиваторної лапи та профілю леза лемешу представлено на рис. 1.2 і 1.3.

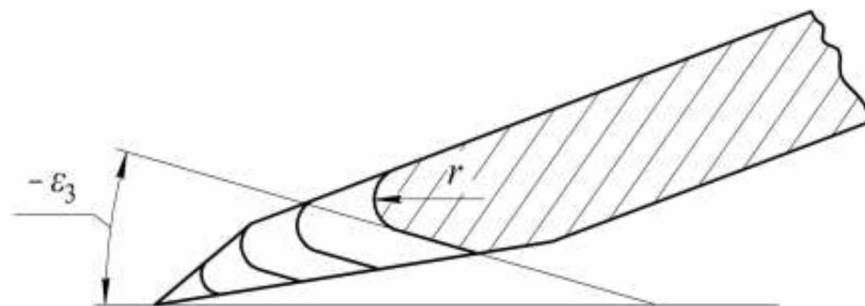


Рис.1.2 - Зміна профілю леза культиваторної лапи з утворенням потиличної фаски

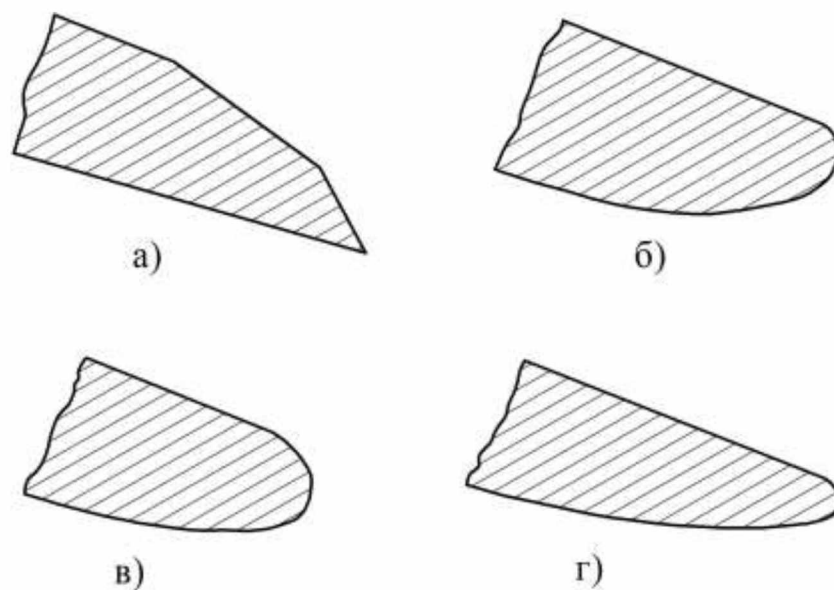


Рис.1.3 - Типові профілі зносу леза лемешів: а) новий; б) на важких глинистих ґрунтах; в) супіщаний ґрунт; г) піщаний ґрунт

Аналіз профілів показує, що вибракувальними параметрами, що лімітують роботоздатність культиваторів та плугів, є геометричні параметри лез: товщина ріжучої кромки, величина та нахил потиличної фаски.

Критерієм граничного стану вказаних робочих органів є конструктивна ознака: зміна конструктивних параметрів, форми, що викликає перехід їх в неробочий стан [16].

На основі проведеного аналізу можна виділити три головних фактори, що викликають пошкодження робочих органів ґрунтообробних машин:

- склад ґрунту, що визначає його абразивну інтенсивність зношування;
- щільність ґрунту;
- фізико-механічні властивості матеріалу деталі.

### **1.3. Технології зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин**

Робочі органи ґрунтообробних машин виготовляють з вуглецевих сталей Л53, Л55, 65Г з наступним загартуванням та відпуском до твердості 350...600 НВ [17].

Наробіток на відмову робочих органів суттєво залежить від типу ґрунту. Заходи підвищення довговічності леза ріжучих органів сільськогосподарських машин можна розділити на наступні групи:

1. Вибір оптимальних параметрів ріжучих елементів: кута заточки та кута ковзання леза.
2. Вибір оптимальних параметрів режиму різання.
3. Застосування зносостійких матеріалів при відновленні деталей та ефективних технологій зміцнення: термозміцнення, механічне зміцнення, нанесення зносостійких покриттів, вібраційне зміцнення та ін.

Для підвищення сторуку служби робочих органів ґрунтообробних машин застосовуються різні зносостійкі наплавки. Зносостійкість наплавленого матеріалу визначається його твердою фазою з рівномірно

розташованими карбідами основної фази, які спричиняють ефективний опір абразивному зношуванню. [18].

В умовах підвищеної абразивності на піщаних ґрунтах зносостійкість указаних деталей може бути підвищена застосуванням псевдосплавів, що являють собою затверділу суміш легкоплавкої зв'язки у вигляді порошку або легованого чавуна та твердих частинок карбідів вольфраму чи карбідів хрому. Індукційна наплавка таких сплавів сприяє підвищенню довговічності деталей ґрунтообробної техніки в 1,4 рази [19].

В машинобудуванні підвищення загальної зносостійкості матеріалів деталей здійснюється шляхом підвищення твердості матриці (основи) введенням легуючих добавок.

Підвищенню довговічності деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, сприяє легування сплавів хромом та іншими елементами, які збільшують опір корозійно-механічному та втомлюваному руйнуванню.

При виготовленні деталей в аграрній промисловості застосовують тверді сплави на основі заліза «Сормайт», які забезпечують підвищену зносостійкість завдяки карбідам хрому, вольфраму та молібдену.

Рекомендації по застосуванню твердих сплавів при індукційній наплавці наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Застосування твердих сплавів при індукційній наплавці

Умови роботи	Деталі	Товщина наплавки, мм	Рекомендований сплав
1. Абразивний знос в ґрунтовому середовищі	Леміші плугів, передплужники	1,4...2,0	ПС-4 (У50Х40ЖС21)
2. Абразивний знос в ґрунтовому середовищі в поєднанні з вимогами достатньої підрізаності бур'янів	Лапи культиваторів	0,3...0,8	ПС-5

Суть методі індукційної наплавки полягає в попередньому нанесенні суміші з порошку твердого сплаву та флюсу на поверхню з наступним нагріванням деталей струмами високої частоти. Цей процес, хоч і легко піддається автоматизації, проте досить енергозатратний.

Проводились спроби застосування двошарового прокату Л53-Х6Ф1 для лемішів. Вони мали наробіток 30...50 га. Недоліком застосування цих лемішів – неефективність застосування легованої сталі, оскільки в безпосередній роботі як зносостійкий матеріал використовувалось лише 15% цього матеріалу [20].

Технологія локального зміцнення деталей робочих органів ґрунтообробних машин розроблена в ГСКТБ ПО «Одесапчвомаш» з ІЕЗ ім. Патона АН України [21], основана на дуговій точковій наплавці твердого сплаву, вона дозволяє регулювати глибину проплавлення та висоту наплавки.

В сучасному машинобудуванні існує ряд методів зміцнення матеріалу указаних деталей, що дозволяють підвищити їх довговічність. В Німеччині (м. Шарлот-тенталь) розробляються нові технології зміцнення зношених деталей наплавкою, зварюванням, пластичним деформуванням, різними полімерними матеріалами.

Компанією «Катерпіллер» (США) розроблені технології відновлення напльвою деталей тракторів.

В Англії, США, Японії застосовується метод нанесення на зношені поверхні деталей полімерних матеріалів [22].

В ремонтному виробництві застосовується наплавка сплавом «Сормайт» із застосуванням нагрівання, що забезпечує одержання на лезі робочого органу міцного шару рівномірної товщини [23].

В табл. 1.2 наведені основні методи відновлення робочих органів сільськогосподарських машин [24].

Таблиця 1.2 - Технології відновлення

Метод відновлення	Нанесений матеріал	Глибина зміцнення, мм	Величина зносу, мм
1. Об'ємне гартування	–	0,6-1,2	11,40
2. Індукційна наплавка	ПС 14-60	0,6-1,2	3,61
3. Поверхнєве гартування СВЧ	–	0,8-1,0	4,16
4. Плазмова наплавка	ПГ-С27	0,6-0,9	8,65
5. Наплавка наморожуванням	ПГ-ФБХ-6-2	2,0-3,0	–
6. Електроконтактне приварювання	УС-25	0,4	0,56
7. Газова металізація	ПГ-12Н-02	0,4-1,0	1,45

Указані методи з огляду на високу вартість обробки та складності доки не знайшли належного застосування в ремонтному виробництві.

### **Висновки, мета і завдання досліджень**

Вивчення літературних джерел та їх аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

1. Існуючі технології підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин з огляду на їх високу трудомісткість та вартість є недостатньо ефективними в ремонтному виробництві та не знайшли доки належного застосування.

2. Використовуваний в аграрній промисловості метод дискретного зміцнення виготовлених деталей не знайшов доки достатнього застосування в сільськогосподарському виробництві при їх відновленні внаслідок відсутності даних по його використанні.

На основі аналізу даних літературних джерел поставлена мета: підвищити довговічність ріжучих робочих органів ґрунтообробних машин шляхом локального зміцнення їх лез.

Для реалізації поставленої мети в даній роботі поставлені наступні задачі.

- проаналізувати та виявити причини відмови робочих органів ґрунтообробних машин та оцінити їх довговічність та надійність;
- виконати оцінку зносостійкості указаних деталей при різних способах їх відновлення;
- обґрунтувати оптимальні параметри технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин шляхом дискретного зміцнення.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Методика мікрометричних та металографічних досліджень

Так як управління зношуванням лез робочих органів з метою підвищення їх довговічності передбачає вибір композиційних пар матеріалів основного і зміцнюючого шарів, то при проведенні відповідних досліджень необхідне вивчення структури та властивостей матеріалів.

Мікроструктурні дослідження, необхідні для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу відновлення стрілочастих лап культиваторів та плужних лемішів, проводили за допомогою оптичного металографічного мікроскопа МИМ-8М, твердоміру ПМТ-3, а також профілометра-профілографа моделі М-253.

Дослідження проводились на зразках розміром  $4 \times 2 \times 4$  см, вирізаних з робочих органів зношених до значних величин, при значному охолодженні з метою усунення виникнення структурних змін.

Шліфи піддавались спочатку тонкому шліфуванню на абразивному папері, потім – тонкому поліруванню до появи дзеркальної поверхні шліфа. Дослідження на металографічному мікроскопі проводили при 100 та 500-кратному збільшенні.

Твердість визначали на приладі ПМТ-3.

#### 2.2. Методика дослідження зношування та зміни форми леза

Дослідження зношування та оцінка зміни форми плужних лемішів, культиваторних лап проводились в лабораторних та стендових випробуваннях.

Для вивчення зміни макрогеометрії леза вздовж його твірної використовується планіметричний метод, що полягає у фіксації геометрії леза в різних стадіях його зношування в залежності від наробітку. Суть

методу полягає у фіксації на міліметровому папері контуру нового робочого органу. Контур леза окреслюється за допомогою гостро заточеного олівця. Вимірювання повторюються через встановлені проміжки наробітку.

В результаті зняття ліній зношування отримуються контури (епюри) зміни геометрії за рівні інтервали наробітку, аналіз яких дозволяє виявити ділянки різних інтенсивностей зношування. Зіставлення їх при різних схемах зміцнення дозволяє зробити висновок про вибір раціонального технологічного процесу зміцнення.

Довговічність ріжучих робочих органів оцінювали часом до граничного зношування.

Лінійні зноси стрілчастих лап та плужних лемішів визначали по 10 точках вздовж їх ріжучих кромок. Застосовувалась така методика вимірювання зносів вказаних експериментальних деталей.

Виявлено, що збільшення кромки леза при зносі ріжучого елемента підпорядковується нормальному закону згідно наступної залежності [25]:

$$f(h,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_h} \exp\left\{-\frac{[h - \bar{h}(t)]^2}{2\sigma_h^2}\right\}, \quad (2.1)$$

де  $h$  – поточне значення товщини кромки леза;

$\bar{h}(t)$  – середнє значення товщини кромки леза;

$\sigma_h$  – середньоквадратичне відхилення в момент часу  $t$ .

Величини  $\bar{h}(t)$  і  $\sigma_h$  можуть бути виражені:

$$\bar{h}(t) = b + kt^2; \quad (2.2)$$

$$\sigma_h = \sigma_b + \sigma_k^\alpha, \quad (2.3)$$

де  $b, k, \sigma_b, \sigma_k$  – постійні коефіцієнти, що визначаються методом найменших квадратів по отриманих експериментальним даним;

$\alpha \leq 1$  – ступеневий показник [25].

Коефіцієнти  $b, \sigma_b$  характеризують початкові параметри робочого органу, а коефіцієнти  $k, \sigma_k$  – швидкість зношування товщини леза ріжучого елемента та розсіювання швидкості.

Вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)$  та довговічність  $T$  робочого органу визначали по формулам:

$$P(t) = 1 - \frac{1 - \Phi\left(\frac{h_{II} - b - kt}{\sigma_b + \sigma_k t}\right)}{\Phi\left(\frac{b + kt}{\sigma_b + \sigma_k t}\right)}; \quad (2.4)$$

$$T = \frac{I_{III} t}{I(t)}, \quad (2.5)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа;

$h_{III}$  – граничний знос;

$t$  – час безвідмовної роботи.

### 2.3. Методика проведення стендових випробувань

Стендові випробування служать для оцінки досліджуваних варіантів, щоб в порівняно короткі строки вибрати найбільш ефективний. Важливою умовою при їх проведенні є забезпечення постійної швидкості роботи агрегату та властивостей ґрунту.

Стендові дослідження зносостійкості культиваторних лап і плужних лемішів проводили на ґрунтовому каналі, загальний вигляд якого показано на рис. 2.1, а його технічна характеристика приведена в табл. 2.1.

В ґрунтовому каналі для оцінки впливу абразивної суміші на зносостійкість указаних робочих органів застосовувалась абразивна суміш наступного складу: 65-70% кварцового піску та гравію; 30-35% глини, цементу та пилу; вологість складала 5-7% [26].

Стендові випробування дозволили визначити розміри різальних кромок культиваторної лапи та плужного лемішу, товщину, величину зносу різальних кромок. Заміри проводились через 4, 8 та 12 год. роботи.

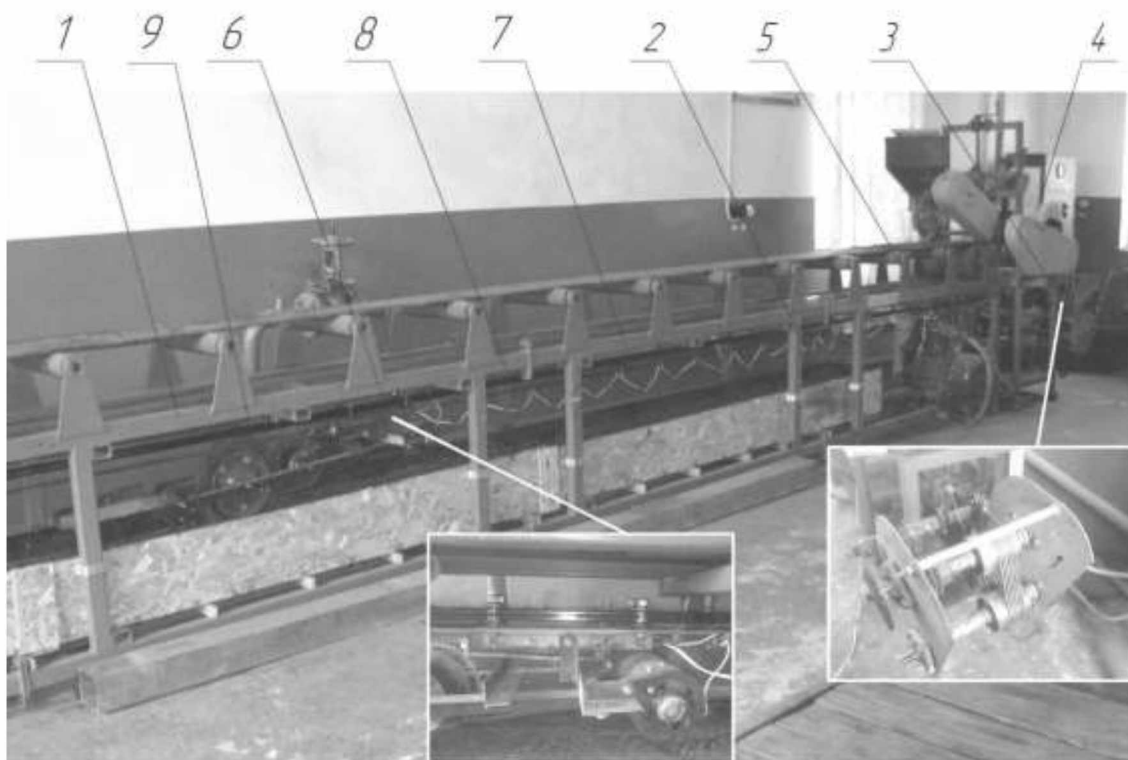


Рис. 2.1 - Стенд для випробування робочих органів ґрунтообробних машин: 1 – рама; 2 – канал ґрунтовий; 3 – лебідка тягова; 4 – редуктор; 5 – електродвигун; 6 – пристосування тягове; 7 – направляюча; 8 – трос; 9 – коток

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика стенду (каналу)

Параметри стенда	Значення
1. Діапазон швидкостей, м/с	1 – 3
2. Кількість можливих швидкостей в редукторі	18
3. Максимальне тягове зусилля, Н	3000
4. Габаритні розміри, м:	
довжина	10
ширина	1,2
висота	0,8
5. Потужність електродвигуна, кВт	10

Порівняльна оцінка вказаних випробувань здійснювалась для таких варіантів культиваторних лап та плужних лемішів:

- нові;
- відновлені способами дискретного зміцнення.

Лабораторними і стендовими випробуваннями указаних варіантів стрілчастих лап та лемішів ставилась задача оцінити їх зносостійкість та довговічність.

### **Висновки**

1. Для підвищення ресурсу указаних ґрунтообробних машин виконано аналіз з встановленням причин пошкодженості робочих органів ґрунтообробних машин, до числа яких відносяться культиваторні лапи та плужні леміші. Для вирішення цього завдання розроблена методика проведення порівняльних досліджень з оцінкою довговічності різальних елементів ґрунтообробних сільськогосподарських машин.

2. Для вибору параметрів технологічного процесу відновлення розроблена методика, що включає в себе експериментальні та теоретичні дослідження з оцінкою зношування різальних елементів, а також довговічності та надійності.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Визначення зусиль, що діють на ріжуче лезо робочого органу

Зношування робочих органів ґрунтообробних машин є складним процесом контактної взаємодії з оброблюваним ґрунтом, в результаті чого відбувається руйнування ґрунту та зношування робочого органу: зміна його форми та розмірів.

Клиновидна форма леза визначає закономірності розподілу зусиль та напружень на його робочих поверхнях. Багаточисельними дослідженнями по їх визначенню [27] встановлена форма ліній тиску на лезо ґрунтообробного органу.

Загальна закономірність зміни напруження руйнування ґрунту з урахуванням швидкості переміщення леза може бути представлена наступним рівнянням:

$$\sigma = \sigma_{II} V \sin \beta \xi, \quad (3.1)$$

де  $\sigma_{II}$  – граничне швидкісне напруження руйнування ґрунту (приведений граничний коефіцієнт в'язкого опору середовища);

$\xi$  – кут між полярною віссю та радіусом кривизни профіля леза;

$V$  – швидкість руху знаряддя.

Дане рівняння дозволяє визначити напруження при русі леза в будь-якій точці його профіля. Множенням величини напруження  $\sigma$  на довжину елементарного профіля  $dl$  одержимо елементарну складову нормальної сили різання при обробці ґрунту:

$$dP = \sigma dl. \quad (3.2)$$

Значення  $dl$  визначається в загальному виді рівнянням:

$$dl = \sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\xi}\right)^2 + \rho^2} d\xi, \quad (3.3)$$

де  $d\rho$  – питоме навантаження ґрунту на лезо.

Тоді величина зусилля, що діє на елемент профіля ріжучої кромки, буде дорівнювати:

$$dP = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\xi}\right)^2 + \rho^2} d\xi. \quad (3.4)$$

З урахуванням того, що після припрацювання лезо одержує округлу форму, а зміна  $d\rho$  на малому відрізку дуги незначна, з достатньою для практичних цілей точністю можна записати:

$$dP = \sigma_{II} V \sin \xi \rho d\xi. \quad (3.5)$$

Розкладаючи отримане елементарне зусилля на складові та враховуючи, що кут між напрямком руху пласта ґрунту по поверхні леза та його твірною складає  $90-\alpha$ , то систему рівнянь можна представити у вигляді:

$$\begin{cases} dN = \sigma_{II} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\beta + \gamma) dc; \\ dT = \sigma_{II} \cdot V \cdot \cos \alpha \cdot \sin \gamma (\beta + \gamma) dc; \\ dF = \sigma_{II} \cdot V \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma (\beta + \gamma) dc, \end{cases} \quad (3.6)$$

де  $N$  – нормальна складова сили різання;

$T$  – тангенціальна складова сили різання;

$F$  – складова сили різання, що направлена вздовж твірної леза;

$\alpha$  – кут нахилу леза;  $\gamma$  – кут тертя між ґрунтом та обробним робочим органом.

Після відповідних перетворень та інтегрування можна записати:

$$N = \sigma_{II} \cdot V \cdot \rho \cdot \cos \gamma \left[ \frac{1}{2}(90^\circ - \beta - \alpha) + \frac{1}{4} \sin 2(\beta + \gamma) \right]. \quad (3.7)$$

$$F = \sigma_{II} \cdot V \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha \left[ \sin(\beta + \gamma) + \rho \cdot \cos(\beta + \alpha) - \rho \right]. \quad (3.8)$$

Загальне зусилля опору різанню ґрунту визначається як геометрична сума нормальної складової  $N$  та складової сили різання  $F$ , направленої вздовж твірної леза:

$$P = \sqrt{N^2 + F^2}. \quad (3.9)$$

Зміна зусиль на лезо в залежності від кута його нахилу  $\alpha$  показана на рис. 3.1.

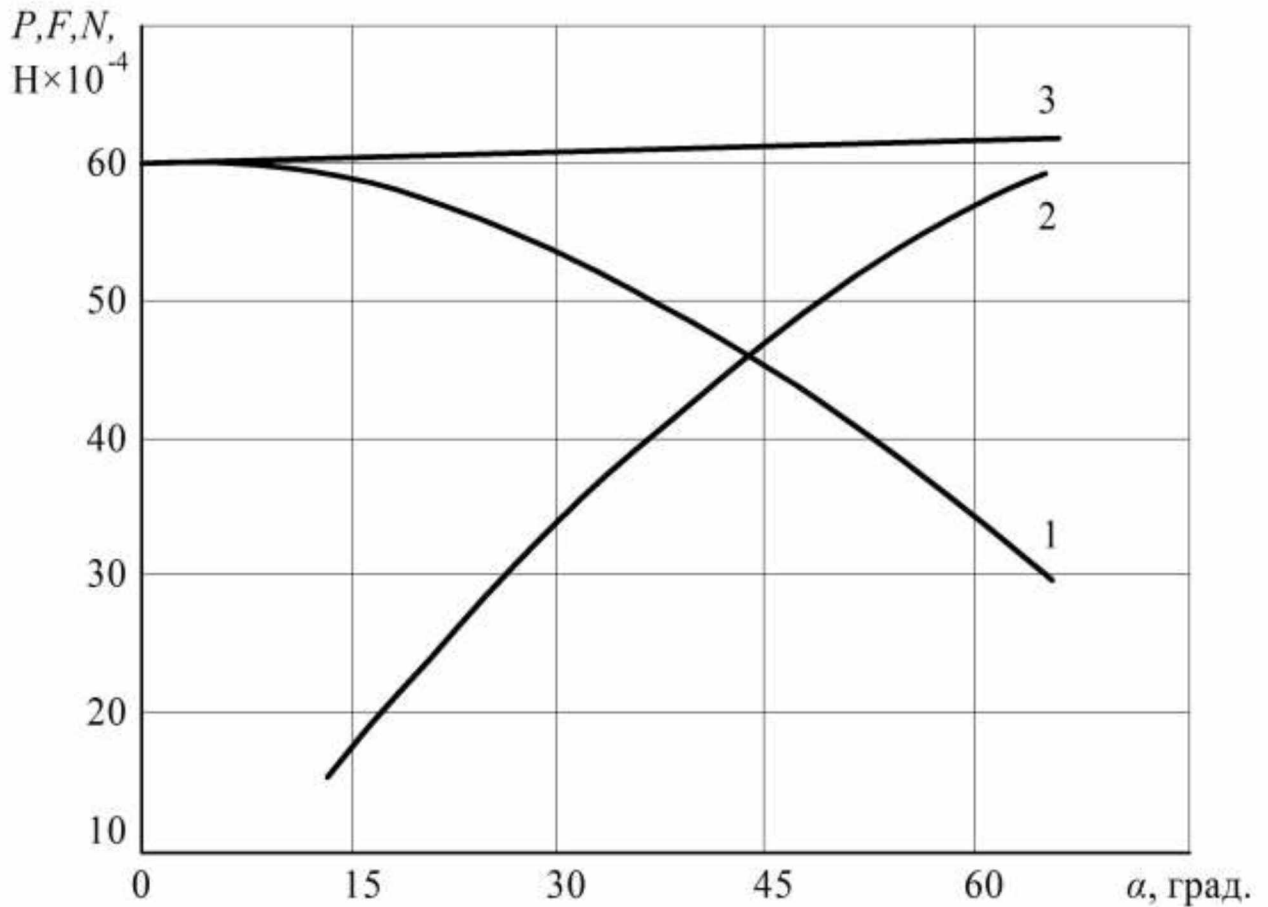


Рис. 3.1 - Зміна зусиль на лезі в залежності від кута його нахилу  $\alpha$ :

1 – нормальна складова сили різання  $N$ ; 2 – складова  $F$ , направлена вздовж твірної; 3 – загальна сила різання  $P$

Як видно з рисунку, зі збільшенням кута нахилу леза, що визначає спосіб різання ґрунту, відбувається перерозподіл зусиль. Нормальна складова сили різання  $N$  зменшується, а складова, направлена вздовж твірної леза  $F$  навпаки зростає. Причому малим значенням кута  $\alpha$  відповідає більш інтенсивне зростання складової  $F$ , яка по мірі збільшення кута постійно зменшується.

Результуюча сила  $P$ , побудована відповідно рівнянню (2.9), має практично постійне значення. Це свідчить про те, що різання ґрунту вимагає практично однакових енергетичних затрат, незалежно від способу різання.

Зміна зусиль на лезі в залежності від кута заточування  $\beta$  показано на рис. 3.2.

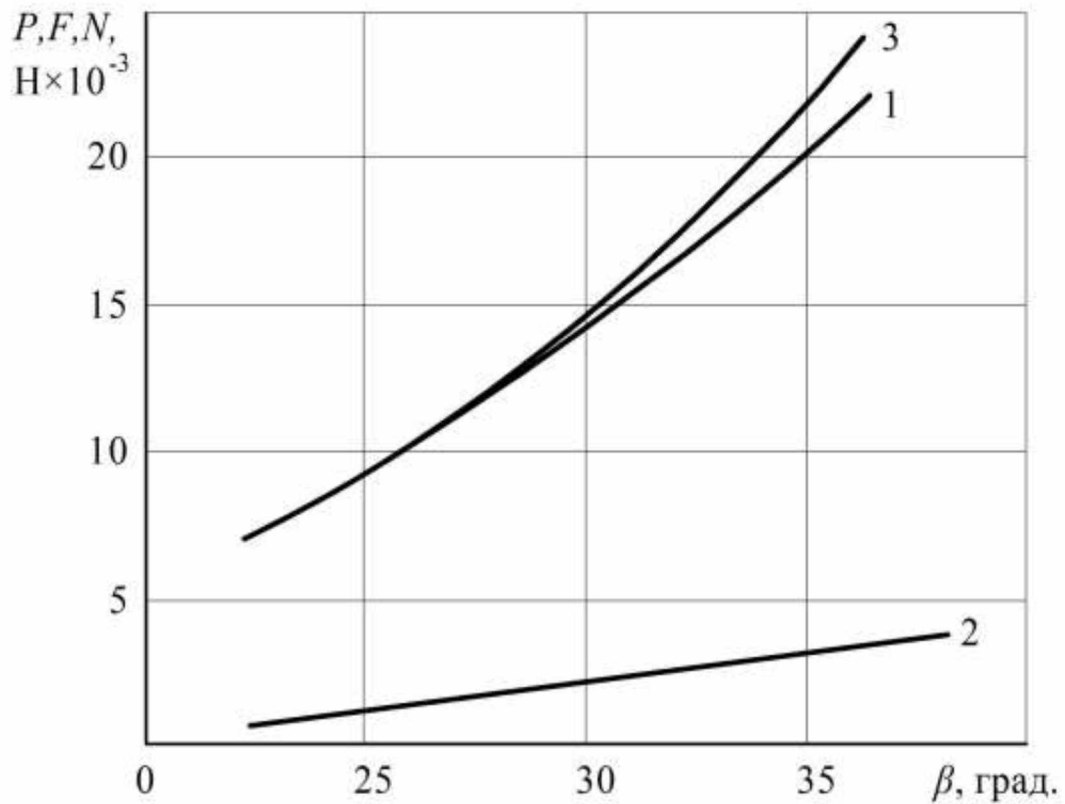


Рис. 3.2 - Зміна зусиль на лезі в залежності від кута заточування  $\beta$ :  
 1 – нормальна складова сили різання  $N$ ; 2 – складова  $F$ , направлена вздовж твірної; 3 – загальна сила різання  $P$

При збільшенні кута  $\beta$  нормальна складова сили різання збільшується (крива 1). На порядок менше значення має складова сили  $F$ , направлена вздовж твірної (крива 2). Загальне зусилля різання, в основному, визначається нормальною складовою  $N$  (крива 3).

Таким чином встановлено, що збільшення кута заточування леза  $\beta$  викликає підвищення в основному нормальної складової різання. Збільшення товщини ріжучої кромки призводить до пропорційному зростанню зусиль різання, а зміна кута нахилу леза практично не впливає на його величину.

### 3.2. Формування профіля лез в результаті їх зношування

В результаті припрацювання лезо ґрунтообробного робочого органу набуває округлої форми. Отримана геометрія леза зберігає загальні обриси протягом тривалого періоду експлуатації, проте внаслідок постійної взаємодії з ґрунтом продовжує зношуватись. При цьому відбувається зміна форми леза та окремих його параметрів [28].

Робочі поверхні леза постійно зношуються під впливом силової взаємодії, змінюючи оптимальну його форму. Зношування леза можна представити як переміщення в глибину його матеріалу з кінцевою швидкістю  $\gamma_z$ . Для елементарної ділянки леза в його перерізі таким переміщенням є паралельний самому собі рух елементарної дуги  $dl$  (рис. 3.3).

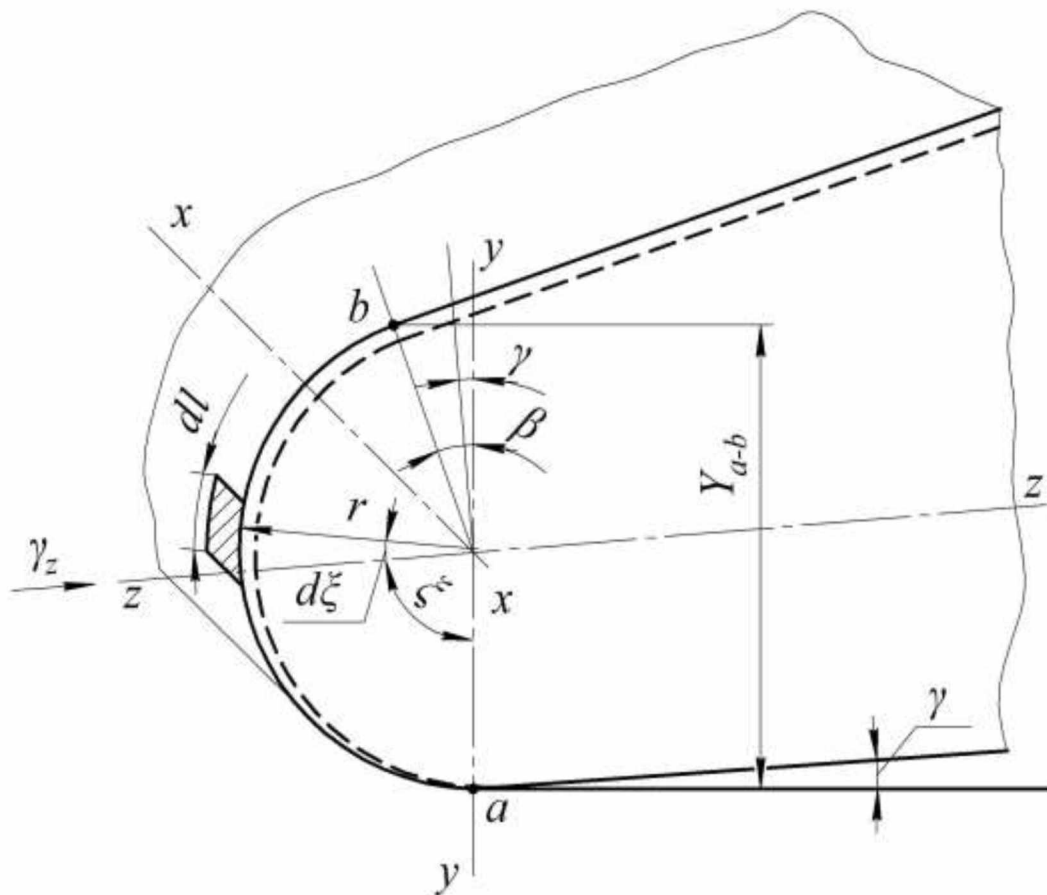


Рис. 3.3 - Формування профілю леза при зношуванні

Ґрунт являє собою абразивне середовище, що містить тверді частинки оксидів кремнію, які найчастіше є головною причиною зношування ґрунтообробного робочого органу.

По відношенню до елемента дуги кривої профіля зношеного леза можна записати значення тиску ґрунтової маси в розглянутій точці профіля леза:

$$P_{II} = \frac{dN}{dl} = \sigma_{II} \cdot V \cdot \sin \xi. \quad (3.10)$$

При абразивній формі зношування швидкість зношування по нормалі до поверхні тертя можна визначити по наступній формулі:

$$\gamma_{II} = K \cdot P_{II} \cdot V_T, \quad (3.11)$$

де  $K$  – коефіцієнт зношування;

$V_T$  – швидкість відносного переміщення ґрунту по поверхні леза.

Підставляючи значення  $P_{II}$  з рівняння (3.10) отримаємо:

$$\gamma_{II} = K \cdot \sigma_{II} \cdot V \cdot \sin \xi. \quad (3.12)$$

Значення радіуса затуплення (кривизни)  $r$  може бути визначено за формулою:

$$\ln \left( \frac{r\sqrt{3} + \sqrt{C}}{r\sqrt{C}} \right) = \frac{\pi}{2\sqrt{C}}, \quad (3.13)$$

де  $C$  – стала інтегрування, що визначається з початкових умов.

Результати розрахунків параметрів профіля леза ґрунтообробного робочого органу приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку параметрів профіля леза

Полярний кут, $\xi$	0	30	60	90	120	150	180
	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{1,5}$	$\frac{\pi}{1,2}$	$\pi$
	0	0,52	1,03	1,58	2,0	2,60	3,14
Радіус кривизни, $r$	0,75	0,71	0,69	0,64	0,60	0,58	0,54

Вид профілю, побудованого по даним табл. 3.1 показано на рис. 3.4.

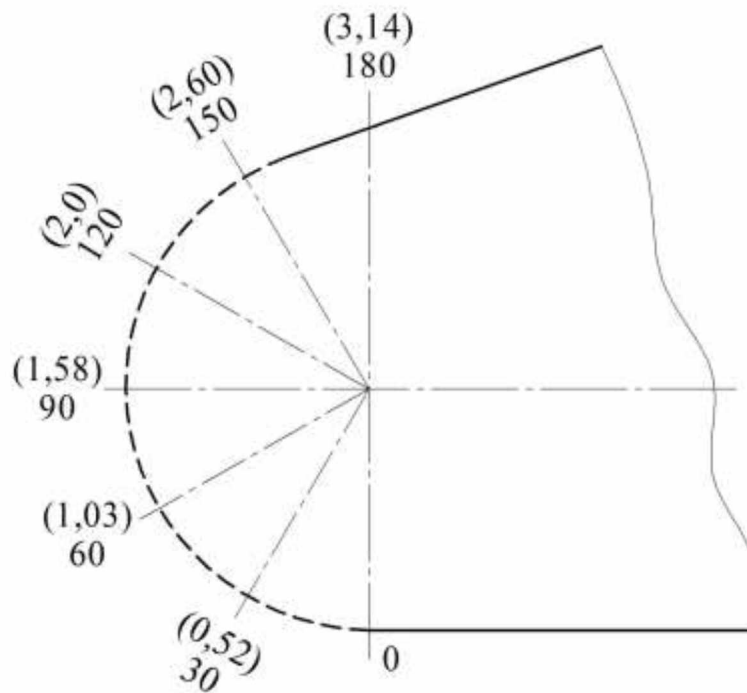


Рис. 3.4 - Побудова профілю зношування леза

### 3.3. Вибір матеріалу зміцнюючих шарів

Роботоздатність сільськогосподарських обробних машин в значній мірі визначається станом лез робочих органів, безпосередньо з тим, що взаємодіють з ґрунтом при виконанні технологічного процесу. Якість обробки ґрунту залежить від геометричних параметрів лез, форма яких надає суттєвий вплив на інтенсивність зношування, а відповідно, і на довговічність. Строк служби лез робочих органів залежить від розстановки локальних ділянок (точок) зміцнення і співвідношення зносостійкості основного та зміцнюючого матеріалів.

Наявність в оброблюваному ґрунті твердих частинок оксидів висуває до наплавленого матеріалу вимоги високої зносостійкості. Тільки при умові, коли в мікроструктурі наплавленого матеріалу існують частинки, твердість яких вище твердості кварцового піску, можливе ефективне підвищення зносостійкості ріжучого леза. Такими складовими в наплавці

можуть бути карбіди вольфраму ( $1300...1600 \text{ кг/мм}^2$ ) або більш тверді бориди хрому ( $1800...1980 \text{ кг/мм}^2$ ).

В якості основного матеріалу рекомендується порошковий самозахисний дріт ПП-АН170М діаметром 3,2 мм, що випускається промисловістю, хімічний склад якого наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Хімічний склад порошкового дроту

Матеріал	Вміст основних компонентів, %						Твердість HRC
	C	Cu	Mn	Si	Ti	B	
Порошковий дріт ПП-АН170М	0,7	20,0	0,6	0,6	0,2	3,0	60...65

Матеріалом випускаємих культиваторних лап і плужних лемішів є сталь марки Л-53, хімічний склад якої і механічні властивості приведені в табл. 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад сталі Л-53

Матеріал	Вміст основних компонентів, %					Примітка
	C	Mn	Si	S	P	
Сталь Л-53	0,45...0,50	0,30...0,80	0,30...0,40	$\geq 0,06$	$\geq 0,06$	Залишковий вміст Cr, Ni, Cu

Таблиця 3.4 - Механічні властивості сталі Л-53

Матеріал	$\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta_S$ , %	$a_n$ , кг/мм <sup>2</sup>	НВ не більше	
					гарячекатана	відпалена
Сталь Л-53	64,0	38,0	14,0	40	241	207

Результати вимірювань твердості в зоні сплавлення представлені в табл. 3.5.

Середнє значення твердості в матеріалі основного шару складає 58HRC, а матеріалу основи 20HRC.

Таблиця 3.5 - Значення твердості зміцнених зразків лемішів та лап

Матеріал ріжучої частини	Твердість зміцнюючої точки, HRC	Твердість основного матеріалу, HRC
1. Сталь Л-53	56...60	18...22
2. Порошковий дріт ПП-АН170М		

Приведені дані свідчать, що дугова точкова наплавка забезпечує необхідну структуру та співвідношення твердостей в основному матеріалі та в зоні зміцнення.

#### 3.4. Дослідження технологічних особливостей точкової наплавки лемішів та лап

Зміцнення указаних деталей здійснюється дискретним нанесенням ділянок (точок) порошкового дроту електродуговим методом. Для підвищення зносостійкості деталей в процесі роботи важливе значення має співвідношення геометричних параметрів напавленої точки та зносостійкості зміцнюючого та основного металу.

За основні параметри напавлюваної точки можуть бути прийняті її геометричні розміри: діаметр головки  $D_z$ , висота над поверхнею зміцнення  $h$ , глибина проплавлення  $h_{np}$  (рис. 3.5).

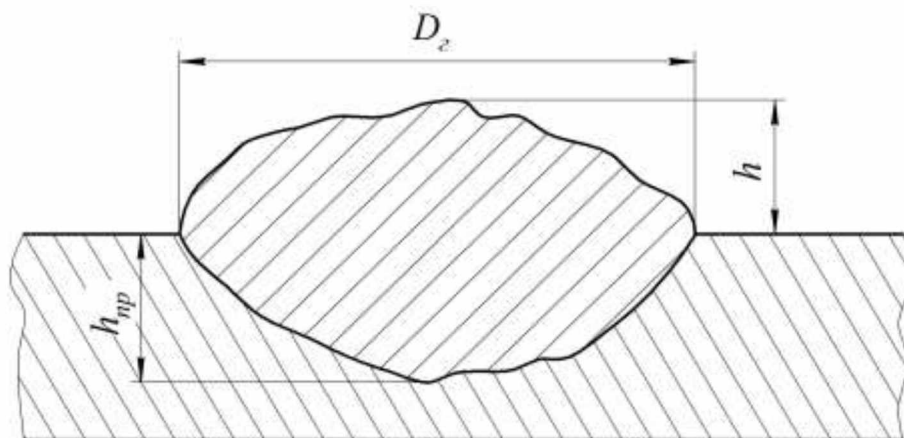


Рис. 3.5 - Основні геометричні параметри зміцнюючої точки:  $D_z$  – діаметр головки точки;  $h$  – висота головки;  $h_{np}$  – глибина проплавлення

Суттєвий вплив на геометрію зношеного леза окрім розмірів зміцнюючих точок, чинить вплив їх взаємне розташування.

Основні геометричні розміри точкового шва, що утворюється рядом точок зміцнення, представлені на рис. 3.6 та визначаються технологічними режимами його нанесення.

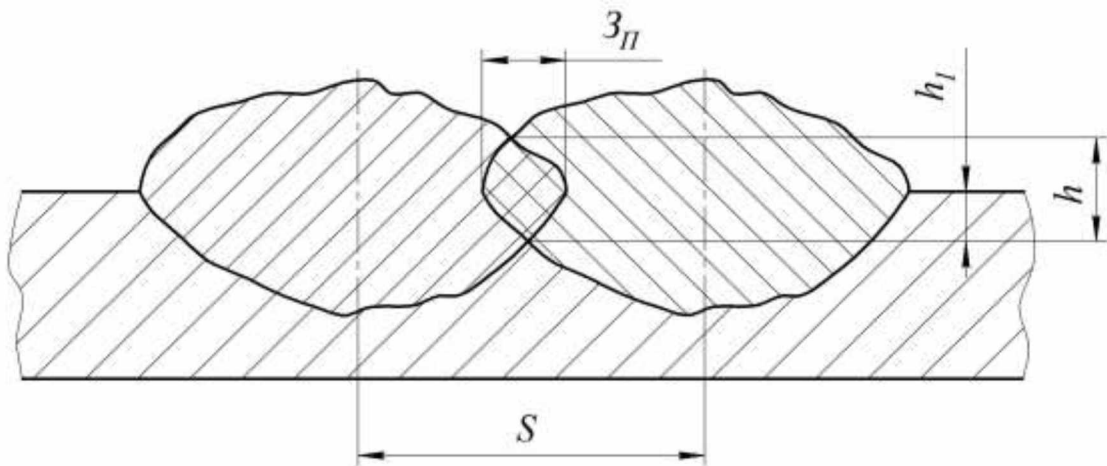


Рис. 3.6 - Геометричні параметри зміцнюючого шва:  $Z_{\Pi}$  – зона перекриття;  $S$  – крок розташування окремих точок;  $h_1$  – глибина зони перекриття;  $h$  – величина зони перекриття

На глибину проплавлення впливають наступні параметри наплавки: зварювальний струм, швидкість подачі зварювального дроту та час протікання зварювального процесу. Діаметр головки нанесеної точки в основному визначається напруженням дуги, що окрім цього впливає на форму шва і висоту наплавки над поверхнею деталі.

Така технологія підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин застосовується на ПАТ «Спецлісмаш» (м. Лубни, Полтавська область). Процес дугової наплавки складається з трьох етапів.

Перший передбачає запалювання луги і попередній розігрів металу основи деталі, що залежить від стану торця дроту направленої до поверхні зміцнення.

Другий етап – забезпечення стабільного горіння дуги при необхідних значеннях зварювального струму та напруження дуги.

Завершальний третій етап пов'язаний з перенесенням матеріалу порошкового дроту на заварювання та формування зовнішньої частини шва – головки зміцнюючої точки.

Дослідження, проведені кафедрою «Технології та засоби механізації аграрного виробництва» показали, що найкращі результати наплавки досягаються при діаметрів точки  $D_2$  в межах 19...23 мм.

Важливе значення на ступінь деформації лап та лемішів при нагріванні внаслідок їх зміцнення чинить послідовність постановки точок. Якщо точки розташовувати в ряд одна за одною, то прогинання зміцнюючих деталей може досягати для леміша приблизно 10 мм, а лапи – 15 мм. Зниження величини деформації можливе шляхом раціонального вибору послідовності нанесення точок (рис.3.7).

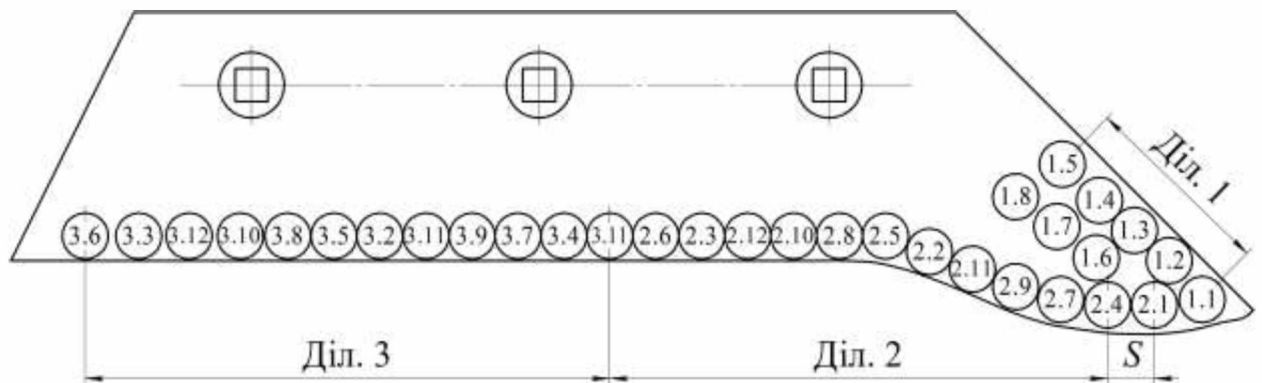


Рис. 3.7 - Послідовність постановки точок при зміцненні лемішів

Для носка леміша порядок постановки точок суттєвого значення не має.

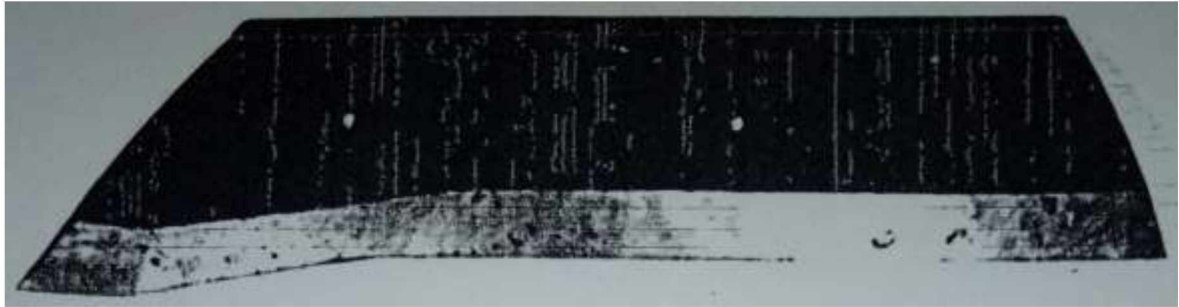
Розподіл точок вздовж леза крил культиваторної лапи практично відповідає розташуванню точок на ділянці 3 лемішу.

### 3.5. Дослідження процесу зношування лез плужних лемішів

Експериментальними дослідженнями встановлено, що поверхні зношування робочої частини лемішів мають складний рельєф. Впадини між

ділянками наплавки відповідають матеріалу основи леміша. Геометрія зношування робочої частини свідчить про утворення пилоподібного лемішу.

Загальний вигляд нового (*a*) і зміцненого точковою дуговою наплавкою (*б*) лемішів показано на рис. 3.8.



*a)*



*б)*

Рис. 3.8 - Нові леміші: а) серійні зі сталі Л53; б) зміцнені дуговою точковою наплавкою порошковим дротом ППАН-170М

Дослідженнями встановлено, що при розташуванні точок зміцнення (20, 25 мм) середнє значення перепаду між виступами та впадинами складає не більше 2...3 мм, що сприяє стабілізації форми, прийнятної для тривалої експлуатації.

Виявлено, що зі збільшенням кроку окрім збільшення рельєфності зубчатої форми зростає і ступінь затуплення леза в проміжках між точками зміцнення.

Характер зношування контуру леміша в залежності від наробітку показано на рис. 3.9.

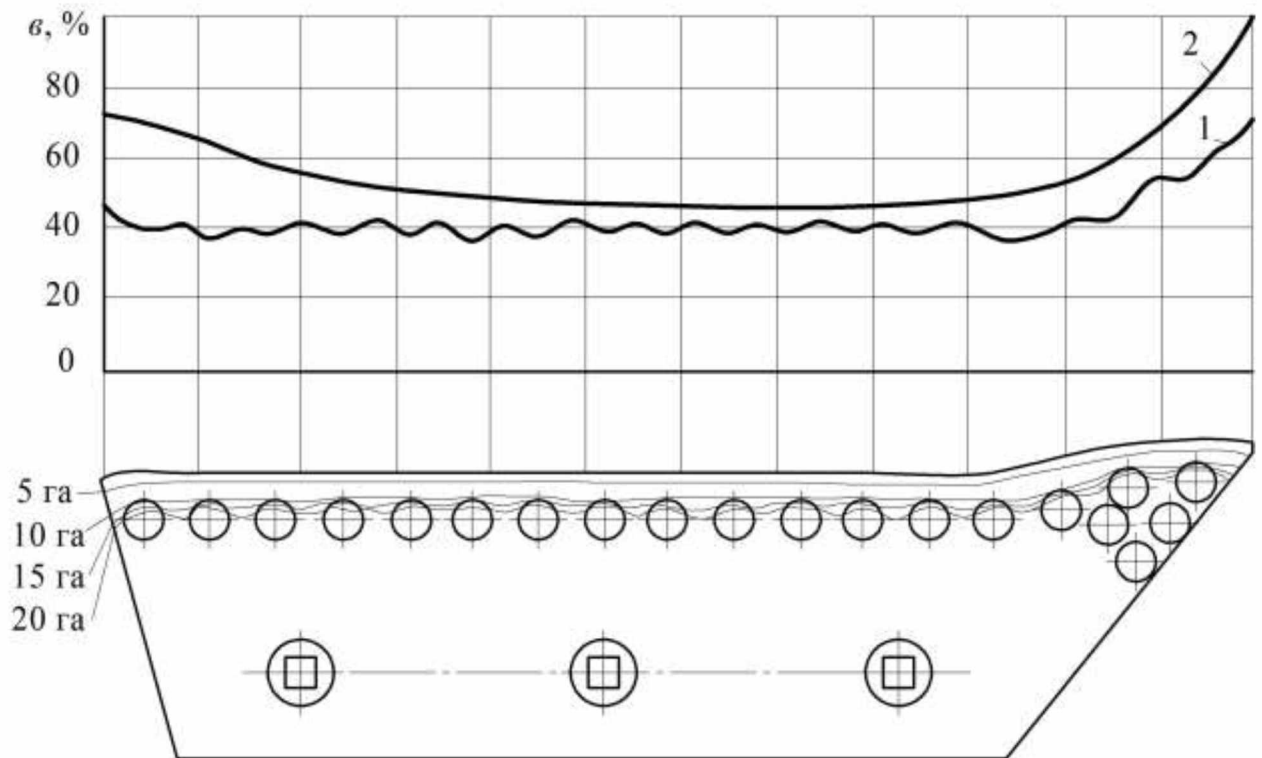


Рис. 3.9 - Розподіл зносу лемішів в залежності від наробітку:

1 – зміцнений (крок установки точок  $S = 31$  мм; діаметр точок  $D_2 = 19...23$  мм); 2 – серійний (сталь Л53)

Даний графік показує розподіл величини зносу по окремих ділянках вздовж ріжучої частини.

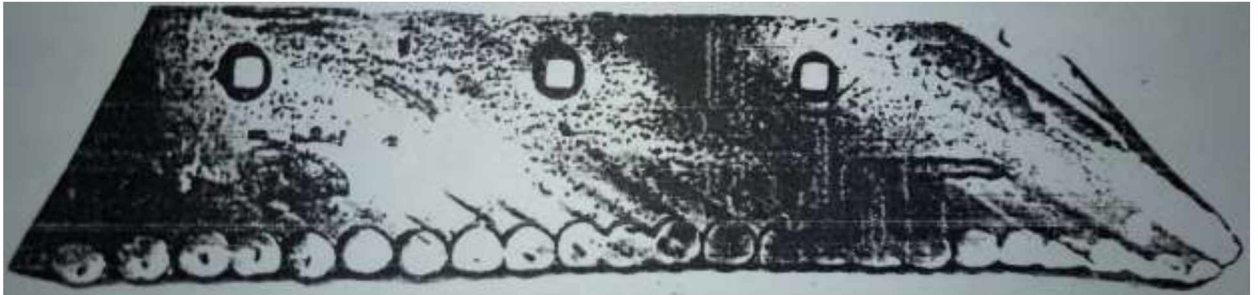
Зубчата рельєфність лез тим більша, чим вища інтенсивність зносу, тобто в більшій ступені проявляється на носку лемішів.

Нерівномірність зносу по довжині леза обумовлена двома основними факторами: впливом ґрунту і різної зносостійкості окремих зміцнених і незміцнених ділянок леза. Інтенсивність зношування носової частини приблизно в 2 рази вища, внаслідок чого носок постійно втрачає свою форму зливаючись в криву леза.

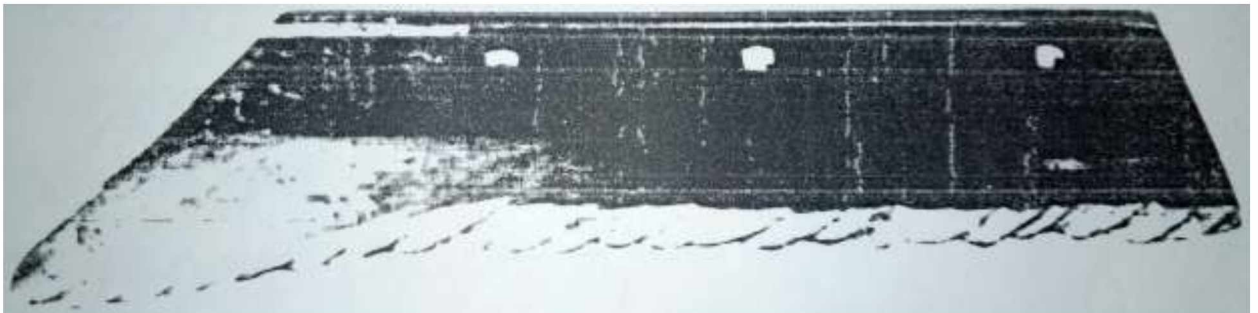
Дані дослідження зміцнених дуговою точковою направкою лемішів показує, що при рядній постановці точок їх довговічність збільшується в 2,3...2,4 рази в порівнянні зі зміцненням «Сормайтом». При цьому середній

наробіток їх складає 35...37 га. Внаслідок зношування на лезі формується пилоподібний профіль з перепадом висот 5...6 мм.

Загальний вигляд зміцнених лемішів після проведення випробувань показано на рис. 3.10, з яких видно зони зміцнення матеріалу основи лемішів, формування зубчатого профіля в процесі зношування та розподіл зносу по довжині леза. на робочих поверхнях лемішів проглядаються нерівномірності зносу, що вказують на потоки руху відділеного ґрунту.



*a)*



*б)*

Рис. 3.10 - Формування зубчатого леза в процесі зношування леміша зміцненого дуговою точковою наплавкою: *a)* вид зі сторони постановки точок зміцнення; *б)* вид в плані з тильної сторони

## Висновки

1. Одержані теоретичні вирази зміни інтенсивності зношування ріжучої кромки культиваторної лапи в певний момент часу. Характер зношування пояснюється нерівномірним тиском ґрунту на елемент довжини поверхні

зношування лез являють собою поєднання гладких ділянок з пошкодженими глибиною до 200 мкм.

2. При дискретному точковому зміцненні указаних деталей з кроком постановки точок більше 20 мкм в процесі зношування формується зубчасте пилоподібне лезо.

3. Перепад між виступами та впадинами зубчастого леза залежить від кроку постановки точко зміцнення та збільшується зі збільшенням кроку.

4. Найбільшому зношуванню як в леміші, так і в стрілчастій лапі піддається носок. Інтенсивність його зношування при зміцненні дуговою точковою наплавкою більша чим в 2 рази вища, ніж інших ділянок леза.

5. Граничним зносом лемішів можна вважати їх зношування до втрати виступаючої форми носка, після чого він не забезпечує необхідне заглиблення корпусу плуга.

6. Величина зносу носка стрілчастих лап в 1,6...1,8 разів більша, ніж ширини захват крила. Тому величину зносу носка культиваторної лапи та ширину крила на кінці леза можна вважати критеріями відмови.

7. Зміцнення плужних лемішів і культиваторних лап дуговою точковою наплавкою порошковим дротом ПП-АН170 можна підвищити їх довговічність більше, ніж в 4 рази.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат,

питомих і загальних газо- димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газодимових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Залежно від категорії небезпеки вводиться періодичність звітності в системі держобліку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Найбільша ефективність в захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог і правильних об'ємно-планувальних рішень.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколоґо-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузовому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

## 4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів, направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;

- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;
- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогащення, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;
- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;
- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;
- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;

- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;
- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;
- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;
- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектного або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектного устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну

або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

Розрахунок вентиляційних систем проводять виходячи з інтенсивності забруднення повітря. Кількість виділень, що забруднюють повітря в приміщенні, визначають по кожному джерелу. У виробничих приміщеннях до основних забруднень відносяться: відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання; гази і аерозолі, що утворюються в процесі зварки, наплавлення, паяння; випаровування миючих розчинів, розчинників емалей і лаків, охолоджуючих рідин, електроліту та ін.

Кількість повітря, необхідну для розбавлення газових і аерозольних забруднень, тобто продуктивність вентиляційної установки, визначають за формулою:

$$W_v = 10^6 Q_c / (C_{p.z} - C_n) \quad (4.1)$$

де  $W_v$  – продуктивність вентиляційної установки, м<sup>3</sup>/год.;

$Q_c$  – сумарна кількість забруднень, що виділяються, кг/год.;

$C_{p.z}$  – гранично допустима концентрація даного забруднення в робочій зоні, мг/м<sup>3</sup>;

$C_n$  – концентрація даної забруднення у повітрі, що поступає, мг/м<sup>3</sup>.

У випадках, коли зовнішнє повітря, що поступає в приміщення, не містить шкідливих домішок, величину  $C_n$  приймають рівною нулю.

У приміщеннях ділянок діагностики і технічного обслуговування, ремонтно-монтажної кількості шкідливих виділень від працюючого дизельного двигуна визначають за формулою:

$$Q_d = (160 + 13,5V_y) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.2)$$

де  $Q_d$  – кількість шкідливих виділень від працюючого дизеля, кг/год.;

$V_y$  – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

$P$  – вміст забруднень у відпрацьованих газах %;

$T$  – час роботи двигуна, хв.

При роботі карбюраторного двигуна:

$$Q_k = 15(0,6 + 0,8V_y) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}. \quad (4.3)$$

Кількість аерозолів свинцю при роботі карбюраторного двигуна на етильованому бензині буде рівна:

$$Q_c = \frac{0,05C(0,6 + 0,8V_y)}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.4)$$

де  $C$  – вміст тетраетилсвинця в бензині, г/кг ( $C = 0,05 \dots 0,10\%$ ).

Час роботи двигунів в приміщеннях приймають: при розігріванні – 2 хв.; при установці на пост (лінію) технічного обслуговування – 1,0...1,5 хв.; при рейсуванні і виїзді (в'їзді) – 0,2...0,5 хв.; на кожних 10 м шляху при переміщенні з поста на пост своїм ходом – 1,0...1,5 хв.; при регулюванні двигуна – 10...15 хв.

Вміст забруднень у відпрацьованих газах ( $P$ ) наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Вміст забруднень відпрацьованих газів, % до маси

Умови роботи двигуна	Дизельні двигуни			Карбюраторні двигуни	
	Оксид вуглецю	Оксид азоту	Альдегіди	Оксид вуглецю	Аерозолі свинцю
Розігрів у приміщенні	0,071	0,007	0,510	6,0	0,0025
Рейсування в приміщенні	0,054	0,009	0,037	4,0	0,0018
В'їзд до приміщення і місця розташування	0,035	0,005	0,022	2,0	0,0010

На ділянці зварювання роботи супроводжуються виділенням зварювальних аерозолів і шкідливих газоподібних речовин (фтористого водню, оксидів азоту, оксиду вуглецю і ін.). При визначенні кількості забруднень, що виділяються, під час зварки (різки) враховують питомі показники їх викидів (таблиці 4.2 і 4.3).

Кількість шкідливих виділень при зварці визначають за формулою

$$Q_a = 10^{-3} G_e q_a \quad (4.5)$$

де  $Q_a$  – кількість зварювального аерозолу, кг/год.;

$G_e$  – максимальна витрата електродів, кг/год.;

$q_a$  – питоме виділення аерозолу, г/кг.

Аналогічно визначають кількість шкідливих газів, що виділяються при зварюванні.

Таблиця 4.2 - Питомі виділення шкідливих речовин при зварці (наплавленню) металів (г на 1 кг електродів)

Марка електроду	Тверді частинки				Шкідливі гази		
	Зварювальні аерозолі	Зокрема			Фтористий водень	Оксиди азоту	Оксид вуглецю
		оксиди марганцю	оксиди хрому	фториди			
УОНІ-13/45	14,0	0,51	-	1,40	1,00	-	-
УОНІ-13/55	18,6	0,97	-	2,60	0,93	-	-
ЕА-60В/11	11,0	0,68	0,60	-	0,004	1,30	1,40
АНО-3	17,8	1,85	-	-	-	-	-
АНО-5	14,0	1,87	-	-	-	-	-
АНО-9	16,0	0,90	-	1,13	0,47	-	-
ОМА-2	9,2	0,83	-	-	-	-	-
ЦЧ-4	13,8	0,43	-	-	1,87	-	-
ОЗЧ-1	14,7	0,47	-	-	1,65	-	-
ОЗЧ-3	14,0	0,49	0,18	-	1,97	-	-
МНЧ-2	20,4	0,92	-	-	1,34	-	-
Т-590	45,5	-	3,70	-	-	-	-

При зарядці акумуляторних батарей максимальна кількість забруднюючих речовин виділяються в кінці зарядки. Для розрахунку викидів сірчаної кислоти на ділянці зарядки акумуляторних батарей в майстерні використовують значення питомого виділення аерозолу кислоти, яке приймають рівним 1 мг/А·год.

Таблиця 4.3 - Виділення шкідливих речовин при газовому різанні металу

Матеріал	Товщина, мм	Зварювальний аерозоль				Гази			
		г/1 м різки	г/год.	зокрема		Оксид вуглецю		Оксид азоту	
				оксид марганцю, г/год.	оксид хрому, г/год.	г/1 м різки	г/год	г/1 м різки	г/год
Сталь вуглецева	5	2,25	74,0	2,31	-	1,50	49,5	1,18	39,0
	10	4,50	131,0	3,79	-	2,18	63,4	2,20	64,1
	20	9,0	200,0	6,00	-	2,93	65,0	2,40	53,2
Сталь легована	5	2,50	82,5	-	3,96	1,30	42,9	1,02	33,6
	10	5,00	145,0	-	6,68	1,90	55,9	1,49	43,4
	20	10,00	222,0	-	10,35	2,60	57,2	2,02	40,9

Викид сірчаної кислоти підраховують за формулою

$$Q_k = q_k (C_1 a_1 + C_2 a_2 + \dots + C_n a_n), \quad (4.6)$$

де  $Q_k$  – кількість сірчаної кислоти, що виділяється, мг;

$q_k$  – питома виділення сірчаної кислоти, мг/кг;

$C_{1..n}$  – номінальні ємкості батарей, що одночасно заряджають, А·год.;

$a_{1..n}$  – кількість батарей відповідної ємкості.

На мідницькій ділянці при ремонті радіаторів, баків використовують м'які припої, що містять, свинець і олово. Розрахунок викидів шкідливих речовин проводять окремо по свинцю і олову.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин на ділянках вулканізації, перевірки і регулювання паливної апаратури проводиться також по питомих виділеннях забруднень (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Склад емалей і ґрунтовок %

Розчинник	Емаль						Ґрунтовка		
	МЛ-152	МЛ-197	НЦ-11	ПФ-115	МС-17	НЦ-25	МЛ-029	ГФ-017	ФЛ-03К
Ацетон	-	-	-	-	-	4,62	-	-	-
Бутілацетат	-	-	13,75	-	-	6,60	-	-	-
Бутиловий спирт	12,9	21,89	5,50	-	-	9,9	26,0	-	-
Ксилол	24,6	38,67	-	22,5	60,0	-	32,8	50,0	15,0
Уайт спірит	8,06	0,04	-	22,5	-	-	-	-	-
Толуол	-	-	13,75	-	-	29,7	2,2	-	15,0
Етиловий спирт	-	-	8,25	-	-	9,9	-	-	-
Етилацетат	-	-	13,75	-	-	-	-	-	-
Сольвент	8,72	-	-	-	-	-	-	-	-
Етілцеллозольв	-	-	-	-	-	5,28	-	-	-
Ізобутиловий спирт	5,58	-	-	-	-	5,28	-	-	-
Бензин	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-
Летюча частина	62	61	55	45	60	66	61	50	30
Сухий залишок	38	39	45	55	40	34	39	50	70

При митті деталей і агрегатів застосовують синтетичні миючі засоби (СМЗ) на основі кальцинованої соди (лабомид-101, лабомид-102, МС-6 та ін.), розчин каустичної соди, гас і т. д. Викид забруднюючої речовини при митті визначають за формулою:

$$Q_3 = 3600q_3 F, \quad (4.7)$$

де  $Q_3$  – кількість забруднень, що виділяються, г/год.;

$q_3$  – питомі виділення (викид) забруднюючих речовин при митті, г/(с·м<sup>2</sup>);

$F$  – площа дзеркала ванни, м<sup>2</sup>.

При проектуванні ділянки фарбування ремонтваних об'єктів розрахунок виділення забруднюючих речовин слід вести роздільно для пігменту фарби і для розчинника. Кількість твердих забруднюючих частинок, що виділяються, розраховують за формулою:

$$Q_m = m_k f_c \sigma_n \cdot 10^{-4}, \quad (4.8)$$

де  $Q_m$  – кількість твердих частинок, що утворюються, кг/год.;

$m_k$  – кількість використаної емалі (фарби), кг/год.;

$f_c$  – кількість фарби

Таблиця 4.5 - Виділення забруднюючих речовин при фарбуванні і сушці %

Спосіб нанесення фарби (емалі)	Виділення шкідливих компонентів		
	Втрата фарби у вигляді аерозолі	Виділення розчинника	
		при забарвленні	при сушці
Розпилювання:			
пневматичне	30	25	75
безповітряне	2,5	23	77
пневмоелектростатичне	3,5	20	80
електростатичне	0,3	50	50
Вручну пензлем або валиком	-	50	50

Викид пари розчинників, якщо фарбування і сушка проводяться в одному приміщенні, розраховують за формулою:

$$Q_{p_i} = m_k f_u f_{l_i} \cdot 10^{-4} \quad (4.9)$$

де  $Q_{p_i}$  – кількість пари  $i$ -го речовини, що виділяється, яка входить до складу розчинника емалі, , кг/год.;

$f_u$  – частка фарби, що випаровується (летюча) %;

$f_{l_i}$  – кількість летючої  $i$ -го забруднюючої речовини у фарбі %.

### 4.3. Техніко-економічне обґрунтування ефективності відновлення деталей ґрунтообробних машин

Економічна ефективність від впровадження результатів досліджень формується за рахунок підвищення довговічності самогоструюваних зміцнених робочих органів ґрунтообробних машин.

Техніко-економічна оцінка ефективності підвищення надійності ґрунтообробних машин (культиваторів) проведена у відповідності з рекомендаціями [29].

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології відновлення стрілчастих культиваторних лап визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n k_1) - (c_2 + E_n k_2)] B_G, \quad (4.10)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  – собівартість нової та відновленої методом дискретного зміцнення культиваторної лапи;

$E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [30];

$B_G$  – річний обсяг відновлених лап за розробленою технологією, шт.

Затрати  $C_y$  на виготовлення установки для точкового зміцнення за такою формулою:

$$C_y = C_k + C_{od} + C_{nd} + C_{cb} + C_{zv}, \quad (4.11)$$

де  $C_k$  – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{od}$  – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{nd}$  – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{cb}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{on}$  – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою (4.11) витрати склали 10350 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях [31]:

$$\kappa_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}}; \quad \kappa_2 = \frac{C_{O2}}{B_{Г2}}, \quad (4.12)$$

де  $C_{O1}$  і  $C_{O2}$  – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології відновлення стрілчастих лап;

$B_{Г1}$  і  $B_{Г2}$  – річна програма виготовлення та відновлення за розробленою технологією.

Питомі капіталовкладення склали  $\kappa_1 = 2,40$  грн.;  $\kappa_2 = 1,75$  грн.

Собівартість відновлення  $C$  лапи визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_M + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.}, \quad (4.13)$$

де  $C_{з.п.}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

$C_M$  – витрати на використанні при відновленні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$  – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$  – накладні витрати, грн.;

$C_{i.в.}$  – інші витрати, грн.

Собівартість однієї нової культиваторної лапи по даним [32] в середньому на січень 2021 року складає  $C_1 = 72$  грн., а відновленої  $C_2 = 51$  грн.

Очікуваний економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(72 + 0,15 \cdot 2,40) - (51 + 0,15 \cdot 1,75)] \cdot 3200 = 67520 \text{ грн.},$$

де 3200 – річний обсяг відновлення лап.

Економічний ефект на одиницю продукції становить 21,10 грн.

Додатковий прибуток від реалізації річного обсягу продукції у виробника становитиме:

$$П = [(Ц_2 - C_2) - (Ц_1 - C_1)] B_T, \quad (4.14)$$

де  $Ц_1$  і  $Ц_2$  – оптова ціна нової культиваторної лапи і відновленої за розробленою технологією, грн.

$$П = [(82,8 - 51) - (82,8 - 72)] \cdot 3200 = 67840 \text{ грн.}$$

Основні показники техніко-економічної ефективності відновлення стрілочастих культиваторних лап наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показників	
	існуюча технологія виготовлення	розроблена технологія відновлення
1. Річний обсяг виготовлення і відновлення лап, шт.	3200	3200
2. Собівартість однієї лапи, грн.	72	51
3. Собівартість комплекту лап, грн.	2304	1632
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	2,40	1,75
5. Річний економічний ефект, грн.		67520
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		21,1

## Висновки

1. Вартість однієї стрілочасті лапи, відновленої по розробленій технології в 1,41 рази нижча ніж вартість нової лапи.

2. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 67520 грн. при річному обсязі впровадження 3200 деталей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуючі технології підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин в виду високої трудомісткості та вартості є недостатньо ефективними і в ремонтному виробництві не знайшли доки належного застосування.

2. Застосований в промисловості метод дискретного зміцнення виготовлених деталей недостатньо застосовується в сільськогосподарському виробництві при відновленні внаслідок відсутності даних по його застосуванню.

3. Для підвищення ресурсу указаних ґрунтообробних машин розроблена методика проведення порівняльних досліджень з оцінкою довговічності ріжучих елементів ґрунтообробних органів.

4. Для вибору параметрів технологічного процесу відновлення розроблена методика, що включає експериментальні та теоретичні дослідження з оцінкою зношування ріжучих елементів, а також довговічності та надійності.

5. Найбільшому зношуванню як в лемеші, так і в стрілчастій лапі піддається носок. Інтенсивність його зношування в 2 рази вища, ніж інших ділянок леза.

6. Величина зносу носка стрілчастої лапи в 1,6... 1,87 рази більша, ніж – ширин захвату крила. Тому величину зносу носка культиваторної лапи та ширину крила на кінці леза можна рахувати критеріями відмови.

7. Зміцнення плужних лемешів і культиваторних лап дуговою точковою наплавкою дротом ПП-АН170М можна підвищити їх довговічність більше ніж в 4 рази.