

НУБІП України

НУБІП України

**«Оцінка технічного стану та підвищення  
довговічності робочих органів плугів  
електроконтактною обробкою»**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ  
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
01.12 – МР.463«С»28.03.2023.042

**Стоян Олександр Васильович**

НУБІП України

НУБІП України

Форма № Н-9.02

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**  
**ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ**  
 УДК 681.533.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
 надійності техніки  
 (назва кафедри)  
 доц. Новицький А.В.  
 (підпис) (ПІБ)  
 “ ” 2022 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на «Оцінка технічного стану та підвищення довговічності**  
**робочих органів плугів електроконтактною обробкою»**

Спеціальність 133 - «Галузеве машинобудування»  
 (код і назва)  
 Спеціалізація -  
 Магістерська програма «Технічний сервіс машин та обладнання  
 сільськогосподарського виробництва»  
 (назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
 Гарант освітньої програми  
 к.т.н., доц. Новицький А.В.  
 (науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівники магістерської роботи**  
 к.т.н., доцент Новицький А.В.  
 (науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ керівника)  
**Виконав** Стояк О.В.  
 (підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доцент Новицький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
" " 20 року

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ  
РОБОТИ СТУДЕНТА

Стояну Олександрю Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(назва)

Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Оцінка технічного стану та підвищення  
довговічності робочих органів плугів електроконтактною  
обробкою»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «28» 03.2023 р. №463 «С»

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру 16.11.2022 р.  
(рік, місяць, число)

3. Вихідні дані магістерської роботи: 3.1. Сучасні конструкції гідророзподільників тракторів. 3.2. Типові норми праці на ТО і ремонт агрегатів гідросистем тракторів. 3.3. Перспективні методи відновлення гідророзподільників. 3.4. Каталоги ремонтно-технологічного обладнання для ремонту гідравлічних систем тракторів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 4.1. Стан питання підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. 4.2. Теоретичні передумови підвищення довговічності лемешів із застосуванням імпульсного електроконтактного нагрівання. 4.3. Програма і методика експериментальних досліджень.

Висновки. Літературні джерела. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1. Тема МР, предмет, об'єкт і методи дослідження. 5.2. Мета і задачі дослідження. 5.3. Аналіз характерних відмов лемешів плугів. 5.4. Розподіл несправностей гідравлічних систем тракторів. 5.5. Схема технологічного процесу відновлення золотникових пар гідророзподільників. 5.6. Підвищення довговічності лемешів плугів. 5.7. Результати експлуатаційних випробувань лемешів плугів. Висновки.

---

Дата видачі завдання «22» жовтня 2022 р.

Керівник магістерської роботи

( підпис )

Новицький А.В.

( прізвище та ініціали )

Завдання прийняв до виконання

( підпис )

Стоян О.В.

( прізвище та ініціали студента )

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ І. СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН	
1.1. Особливості зношування робочих органів ґрунтообробних машин	
1.2. Способи відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин	
Висновки та завдання дослідження	
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЛЕМЕШІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВАННЯ	
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1. Прискорені стендові випробування на абразивну зносостійкість	
3.2. Методика проведення експлуатаційних випробувань	
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ	
4.1. Вибір оптимального режиму нагрівання	
4.2. Температурне випробування в зоні контакту електрод - деталь	
РОЗДІЛ 5. СТЕНДОВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ	
5.1. Дослідження впливу швидкості на зношування в абразивному середовищі	
5.2. Дослідження залежності між інтенсивністю зношування та максимальною молекулярною вологістю ґрунтів	
5.3. Експлуатаційні випробування лемешів, зміцнених імпульсним нагріванням	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	

## ВСТУП

НУБІП УКРАЇНИ

Обробіток ґрунту відіграє величезну роль в отриманні врожаю та забезпеченні продовольчої безпеки держави. Якість обробки ґрунту

насамперед залежить від стану робочих органів ґрунтообробних машин, які експлуатуються в абразивному та корозійному середовищі. В останнє десятиліття з'явилися нові технології обробки ґрунту (no-till, мінімальна, безгербицидна та ін.). Проте оранка все ще залишається однією з

найважливіших технологічних операцій землеробства, оскільки забезпечує якісну підготовку ґрунту до посіву сільськогосподарських культур. культури на найрізноманітніших фонах і типах ґрунтів.

НУБІП УКРАЇНИ

Про значимість і важливість плугів свідчить той факт, що їх виробництвом займаються понад 100 компаній США, Канади, Австралії,

Західної Європи. Найважливішим напрямком підвищення технічного рівня та якості плугів є підвищення ресурсу робочих органів, які значною мірою визначають такі показники, як плінність праці, тягові характеристики ґрунтообробного агрегату, економія праці та енергоресурсів. і т.д. За кордоном надають великого значення якості виготовлення робочих вузлів.

НУБІП УКРАЇНИ

Створено спеціалізовані виробництва, численні фірми, в тому числі великі, які займаються виробництвом тільки робочих органів. Як приклад можна навести La Pina (Іспанія), Fordes de Niawx (Франція), Land (США,

Великобританія) . Багатокомпаній випускають різні за вартістю і ресурсом робочі органи, призначені для роботи в різних ґрунтових умовах. Наприклад,

НУБІП УКРАЇНИ

іспанська фірма La Pina виробляє 5 типів борін , фірма Bellota (Іспанія) – 14 типів . Машинобудівні фірми Німеччини випускають близько 30 плугів типів для задоволення попиту фермерів, які використовують плуги в різних

ґрунтових умовах. В країні склалась негативна ситуація щодо забезпечення

НУБІП УКРАЇНИ

виробників сільгосппродукції необхідними запчастинами. лемешами, польовими дошками, скреперами та багатьма іншими. Їх конструктивні параметри були розроблені 30-40 років тому. І в минулі роки ця продукція,

яка вироблялася на спеціалізованих підприємствах, не відповідає вимогам якості та ресурсів, а зараз її технічний рівень ще більше знизився. Крім того, робочі органи почали виготовляти підприємства, які раніше цим не займалися.

В результаті фермери отримують неякісні деталі, які необхідно міняти 3-7 разів на рік. Затрати тільки на заміну робочого обороту при оранці частини 100 га складають 5000 – 6000 грн. При роботі плугів з такими робочими органами відбуваються втрати енергії внаслідок збільшення тягового опору, зменшення глибини, погіршення роздробленості ґрунту та інших агротехнічних показників і, в кінцевому підсумку, зниження врожайності.

Сьогодні в країні близько 43,37 млн. га орних земель. Щорічно потреба в робочих органах становить: в лемешах — 3 млн. шт., в польових дошках — 1,5 млн. шт., в відвалах — 1,2 млн. шт., а собівартість їх виробництва відповідно близько 3521/100 і 504 млн. грн. в рік. З метою збільшення ресурсу робочих органів проводяться роботи по забезпеченню самозаточування зносостійких сплавів, використанням керамічних матеріалів, підвищення поверхневої твердості різними методами.

Однак більшість застосовуваних технологій є досить трудомісткими і пов'язані зі збільшенням вартості.

Дана робота присвячена вивченню можливості створення ефекту самозаточування на лемешах в результаті точкового зміцнення з використанням електроконтактного нагрівання та розробки технології зміцнення.

## РОЗДІЛ І. СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

### Особливості зношування робочих органів ґрунтообробних машин

Під зносом прийнято розуміти результат зношування робочих вузлів в землеробних агрегатах, оцінений за зміною розмірів деталі при терті, відриві від поверхні фрикційного матеріалу, а також залишкової деформації.

Зношування поверхні при терті — властивість не матеріалу, а системи, що складається з тіла, що третється, і зовнішнього середовища (у нашому випадку

ґрунту). Через це будь-який вид зносу викликаний процесом руйнування матеріалу або конкретної деталі.

Найбільш поширеним є абразивне зношування, яке визначається процесами безпосередньої взаємодії робочих поверхонь з твердими абразивними частинками [12, 23]. Цей вид зношування характерний для умов експлуатації ґрунтообробних і землерийних машин, вузлів тертя із забрудненим мастилом, землеруйнівного інструменту тощо.

Наступний вид зношування – адгезійний, пов'язаний з послідовним утворенням і руйнуванням фрикційних зв'язків на поверхнях контактуючих

тіл і супроводжується руйнуванням матеріалу межевої поверхні. Виникає тертя двох металевих поверхонь під навантаженням, це в умовах пластичної деформації металу в місцях контакту, розвиток якої супроводжується їх

зближенням аж до активації сил зчеплення між атомами. В результаті пластичної деформації відбувається зчеплення двох поверхонь в окремих

виступаючих точках, однак в умовах дії зсувних напруг зчеплення неминуче руйнується. Руйнування починається в місцях найменших сил зчеплення - на границі розділу між поверхнями.

Частим явищем є втомне зношування, при якому утворюються мікротріщини з викришуванням частинок і здавленням поверхонь деталей машин, що піддаються знакозмінним напруженням і деформаціям. У режимі втомного зношування, як правило, працює переважна більшість рухомих

з'єднань.

При експлуатації трубопроводів, насосів для перекачування різних рідин, підшипників ковзання, що працюють в умовах гідродинамічного змащення, плунжерів гідравлічних пресів, морських земснарядів, грейдерів виникає кавітаційний знос, причиною якого зазвичай є наявність зон змінного тиску в турбулентному потоці рідини.

Корозійне зношування відбувається під впливом рідких або газоподібних різних хімічно активних середовищ на поверхні деталей, що труться. Цей тип зношування характерний для різних видів інструменту, а також для рухомих з'єднань хімічного, нафтохімічного та технологічного обладнання [23].

Під дією одного з перерахованих видів зношування, а найчастіше під впливом комплексу фізичних явищ, що відбуваються в поверхневих шарах поверхонь, що труться, деталі втрачають свою працездатність, і зношення конкретної деталі слід враховувати залежно від переважаючих умов роботи.

Відомо, що основними видами зношування робочих органів сільськогосподарської техніки є абразивне зношування та корозія. На думку автора роботи, це пов'язано не тільки з тим, що багато вузлів сільськогосподарських машин за характером виконуваних функцій безпосередньо пов'язані з матеріалами, здатними викликати абразивне зношування, але також і тим, що при локалізації та високому ступені концентрації контактних напружень відбувається інтенсивне руйнування поверхневого шару навіть при невеликій кількості абразивних частинок.

Відомо також, що інтенсивність абразивного зношування вуглецевих сталей в основному залежить від твердості матеріалу, фізико-механічних властивостей ґрунту, режимів роботи та інших факторів. Значний вплив на інтенсивність абразивного зношування має також структура матеріалу деталей. Підвищення довговічності робочих органів можливе шляхом відновлення включають дослідження:

- методів отримання первинних структур з властивостями, що забезпечують можливість оптимальної реконструкції та додаткового зміцнення в умовах експлуатації (механічний і фазовий наклеп). При цьому

при терті відбувається утворення вторинних захисних структур, що сприяє розширенню діапазону нормальних процесів і зниженню інтенсивності тертя і зношування,

- методів створення первинних структур з максимально можливою стійкістю до механічних і хімічних впливів.

Проте в складних умовах експлуатації не завжди можливий оптимальний перехід від початкових станів і властивостей поверхневих шарів до вторинних армованих структур [8, 9]. В першу чергу це стосується машин і механізмів, що працюють на високих швидкостях і в хімічно

активних середовищах, тому для забезпечення зносостійкості і захисту деталей від пошкоджень, є кращим другий варіант. У той же час створення

такої первинної структури може здійснюватися шляхом зміцнення робочих поверхонь деталей різними способами нанесення зносостійких покриттів, які

мають високу стійкість до механічних і хімічних впливів і забезпечують оптимальні умови зношування навіть за несприятливих умов при навантаженнях.

Зношення робочого органу ґрунтообробних машин виникає при безперервній взаємодії металу з ґрунтом. Інтенсивність і характер

зношування металу залежать від природи і властивостей ґрунту, а також від умов взаємодії з ним робочих органів.

Процес абразивного зношування визначається не лише характером руйнування поверхневого шару, а й типом втрати міцності матеріалу.

Розрізняють чотири основних види втрати міцності матеріалу при терті: механічне, термічне, адсорбційне та хімічне.

Механічна втрата міцності відбувається в результаті деформації поверхневого шару, що призводить до появи і розвитку структурних дефектів, крихкості матеріалу, підвищення внутрішніх напруг.

Термічна втрата міцності матеріалу відбувається під дією тепла, що виділяється при терті (наприклад, вивільнення сталі, розм'якшеної полімерами, тощо).

Адсорбційна втрата міцності є результатом фізичної взаємодії матеріалу з поверхнево-активними речовинами, що викликає зниження твердості.

Хімічна втрата міцності характеризується утворенням хімічних продуктів при взаємодії матеріалу зносу із зовнішнім середовищем або протіканням послаблюючих матеріал у внутрішніх хімічних і механохімічних процесах, зокрема, в полімерних матеріалах. У реальних умовах тертя можливі комбінації різних видів тертя.

За заданих умов абразивної дії конкретний матеріал зазнає певного процесу зношування, але в різних матеріалах процеси зношування можуть бути різними. Зміна умов праці на окремих ділянках не супроводжується зміною процесу зношування, а лише впливає на його інтенсивність. Зношування - це процес саморегулювання, який залежить від різних факторів, про які йшлося вище.

Механізм абразивного зношування пояснюється впливом абразивних частинок при їхньому впровадженні в матеріал деталі та її поступовим руйнуванням різанням і сколюванням. Дослідженнями встановлено, що стійкість до зношування сталі в ґрунтовій масі визначається двома факторами — твердістю та вмістом вуглецю, який утворює надлишок карбідів у структурі. При однаковій макротвердості зносостійкість деталі в ґрунті тим вища, чим більше в її структурі карбідів, твердість яких перевищує твердість частинок ґрунту. Виключення впливу абразивних частинок можливо, коли твердість матеріалу дорівнює або перевищує твердість абразивних частинок ґрунту. Довговічність різних металів залежить від співвідношення твердості абразивних зерен  $H_1$  і твердості матеріалу  $H_2$ , яке називається коефіцієнтом твердості  $K = H_1/H_2$ . Тому при

виборі матеріалу для заданих умов роботи основною умовою, що забезпечує виключення можливості абразивного зношування, повинен бути правильний підбір коефіцієнта твердості.

З досвіду експлуатації відомо, що для довговічності та зносостійкості леміш має бути виготовлений зі сталі з вмістом вуглецю не менше 0,4 %.

Не менш важливими факторами, що впливають на зношування робочих органів, є вологість і склад ґрунту. Волога істотно впливає на ефективність тертя між ґрунтом і сталлю, а отже, і на знос поверхні, що

труться. Для кожного ґрунту існує своє значення вологості, при якому

коефіцієнт тертя досягає максимуму (мал. 1.1). Коефіцієнт тертя для різних ґрунтів змінюється від 0,25 до 0,9. Для довідкових розрахунків прийнято коефіцієнт тертя = 0,5.

Зі збільшенням вологості піщаних ґрунтів збільшується зношування

робочих органів агрегатів. На глинистих і суглинистих ґрунтах

спостерігається зворотнє явище. Волога впливає не тільки на інтенсивність зношування, а й на тип зношування. Так, при оранці піщаних ґрунтів вологістю 2,8 – 4 % леміші зношуються здебільшого по ширині, а вологістю

9,4 – 12 % – у носовій частині.

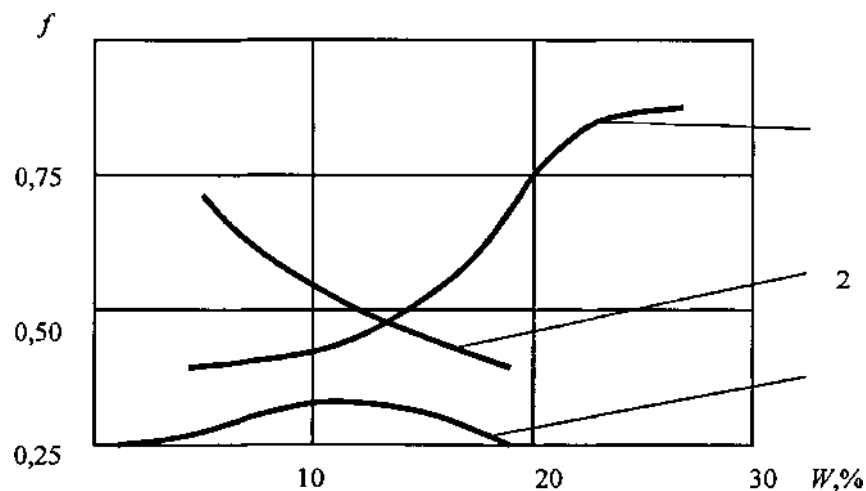


Рис.. 1.1 Залежність коефіцієнта тертя/ґрунт від сталі та вологості :

1 — піщані ґрунти; 2 — піщані ґрунти; 3 — важкі суглинки.

Вода має значний вплив як на стан частинок ґрунту, так і на

властивості металевих шарів. Крім того, адсорбція молекул води в зоні контакту змінює картину взаємодії між частинками ґрунту та металом. Встановлено, що водне середовище не впливає на зношування при великій інтенсивності зношування. Оцінки кислотності

Водного середовища показником Ph недостатньо з його кислотним числом, оскільки здатність води впливати на зношування сталі також залежить від природи розчинених у ній речовин.

Встановлено, що при оранці піщаного ґрунту вологістю 10-14 % питомий тиск на робочу поверхню лемеша розподіляється нерівномірно.

Найбільший тиск відчуває носова частина лемеша. Середній тиск у зоні пальців стопи в 4,6-12,8 разів перевищує середній тиск у його центральній частині. Максимальний тиск у нижній частині зони носка при швидкості 1,4 м/с на глибині 22 см досягає 1,6-1,8 МПа. Найбільш чутливий до змін режиму оранки - ніс лемеша.

Різниця в інтенсивності зносу носка і середни лемеша для різних ґрунтів приблизно однакова. З-за різниці в давленні ґрунту по кромці лемеша знос носка приблизно в два рази перевищує знос середньої частини, що показано на рис. 1.2.

Інтенсивність зношування ножів стрілок культиваторів на різних етапах має подібний характер і наведена на малюнку 1.3.

Найбільша інтенсивність зношування лемешів за масою (0,260-0,450 кг/га) спостерігається на піщаних ґрунтах (80-95% фізичного піску) з великими включеннями. При оранці піщаних і субпіщаних ґрунтів без каменистих включень інтенсивність зношування лемешів лезвях змінюється від 0,10 до 0,26 г/га.

При обробці глинистих і суглинистих ґрунтів (менше 80% фізичного піску) інтенсивність зносу становить 0,002-0,03 кг/га. Таким чином, швидкість зносу плуга на піщаних і субпіщаних ґрунтах у 3-4 рази більша, ніж на глинистих і субглинистих (табл. 1.1) г/га, на важкосуглинкових 0,1-0,3 кг/га, на легких 0,037-0,1 кг/га, на середніх суглинках 0,012-0,037 кг/га, на

важких суглинках і глині 0,002-0,012 кг/га.

За даними, інтенсивність зношування передслужників по ширині становить: на торф'яних ґрунтах 0,34, на глинистих – 2,74, на піщаних – 3,45 і на супіщаних – 4,56 мм/га.

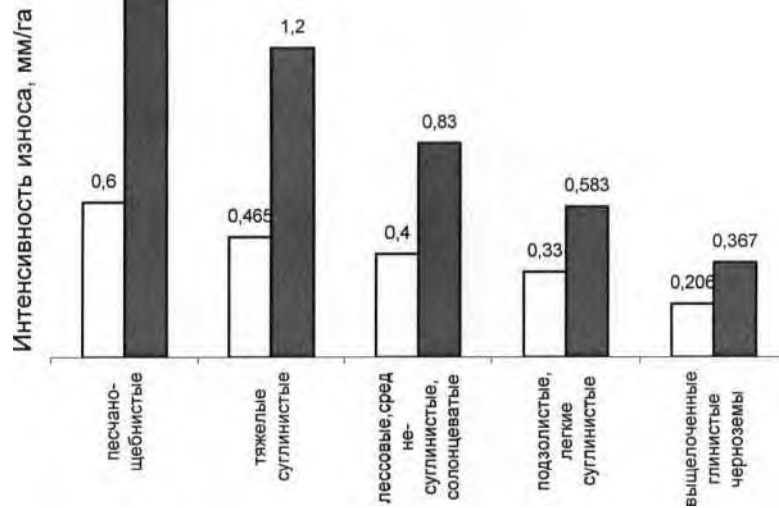


Рис. 1.2. Інтенсивність зношування лемішів на різних ґрунтах

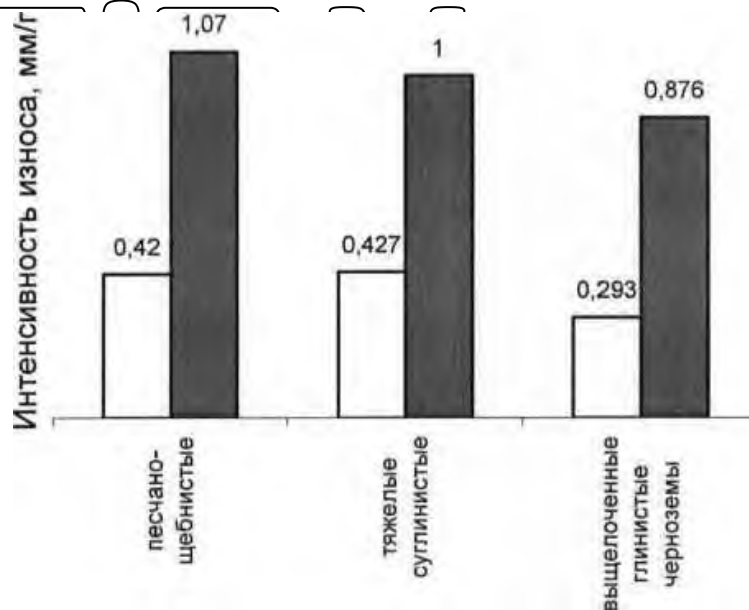


Рис. 1.3. Інтенсивність зношування плоскоріжущих лап культиватора на різних ґрунтах

# НУБІП України

Основним недоліком відвальних плугів є великий тяговий опір. За даними WISHOMA, зменшення тягового опору на 5% дозволило б заощадити до 50 000 тонн пального в національному масштабі (за період

# НУБІП України

1989). Опір плугів складається з опору, протяжки плуга, роботи лемеша, відвалу і польової дошки. Причому основну частину опору плугу дає саме плуг (50 - 60%). У роботі відвалу і польової дошки запропоновано

використання зубчатих лемішів долотоподібної форми зуба, запропонованих

# НУБІП України

Харківським інститутами механізації сільського господарства. Під час випробувань дослідниками визначено тяговий опір трикорпусного плуга ПН-5-35, обладнаного зубовими і стандартними лемешами, в залежності від

швидкості руху з глибиною оранки 0,15 ; 0,19; 0,23 і 0,27 м. Зниження

тягового опору плуга з зубчастими лемешами становило 48 % при швидкості

# НУБІП України

6 км/год і глибині залягання 0,15 м, а при швидкості 10 км/год – 54 % (мал. 1.4).

Таке зниження тягового опору відбувається тому, що кожен зуб

спричиняє осипання шару ґрунту. У стандартного лемеша найбільше

збільшення зносу спостерігається при обробці до 4 га, у зубчастого – 14 га.

# НУБІП України

Недоліком зубчастих лемішів є зношування зубів за утворюють їх пластини. Це приводило до облому пластин. Зношування зубчатих лемеша

було на 27% більше стандартного. Зношування ріжучої кромки зубчастого

лемеша в 10 разів менше стандартного з твердого сплаву ВК8.

# НУБІП України

Аналіз процесів зношування робочих органів ґрунтообробних машин показав, що з великої різноманітності факторів, що впливають на

зношування, можна виділити два основних, які легко оцінити:

механічний склад ґрунту, що визначає його абразивну агресивність і

# НУБІП України

в'язкість ;

щільність ґрунту, що визначає тиск на лезо ґрунтової маси та

інтенсивність зношування ріжучої частини леза.

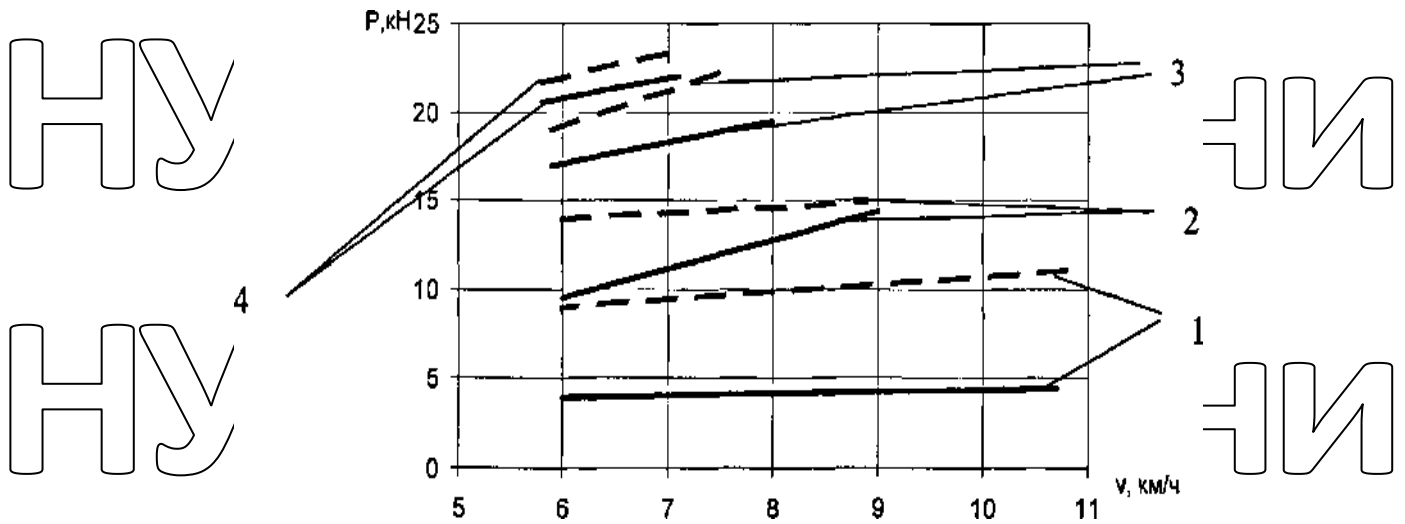


Рис.1.4 Залежність тягової протидії плуга від швидкості руху  $V$

(■ — зубчатий леміж; стандартний леміж): при глибині оранки 15 (1), 19 (2), 23 (3), 27 (4) см.

Інші фактори, що характеризують ґрунт, такі як вологість, коефіцієнт тертя, слід вважати другорядними, так як їх дія може виражатися через дію двох основних факторів. Так, зміна вологості викликано зміною щільності ґрунту, а відповідно і тиску, що діє на площу лопати.

### 1.3. Способи відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин

Підвищення стійкості робочих органів землеобробних агрегатів - одне з найактуальніших завдань, яке потребує вирішення. Це визначається не тільки важливістю зниження металомісткості на їх виготовлення, а й вимогами їх експлуатації. У таблиці 1.2 наведені нові напрямки підвищення довговічності лемешів.

Відомо, що опір ріжучих органів сільськогосподарських шин, виміряний інструментом до граничного затуплення, низький. Тому їх або експлуатують з порушенням агротехнічних умов, або неодноразово піддають ремонту.

За багатовікову історію розвитку техніки конструкція лемеша

змінилася відносно мало. Удосконалення лемішів відбувалося в основному за рахунок добору матеріалів, способів їх обробки, а також удосконалення геометричної форми лемішів. Проте ефективність лемішів, особливо при оранці твердих ґрунтів, залишалася дуже низькою, і цей недолік все більше позначався на продуктивності праці в сільському господарстві. Таким чином, підвищується ефективність роботи лемішів, лоп культиваторів та інших ґрунторізів має важливе значення і є однією з найважливіших наукових проблем.

Як показали дослідження, основним засобом вирішення цієї проблеми є створення самогостривальних ріжучих деталей, які в процесі зношування зберігають свою працездатність і не потребують ремонту.

У порівнянні зі стандартними деталями самогостривальні робочі органи мають переваги, основні з яких:

Протягом усього періоду експлуатації ґрунтообробне знаряддя виконує технологічну операцію з однаковою достатньо високою якістю та іншими показниками;

Усувається простій в експлуатації та втрати часу на регулювання яке було пов'язане заміною тупих деталей ;

Усуваються витрати на ремонт тупих деталей;

Підвищується термін служби і відповідно зменшується витрата запасних ріжучих робочих органів.

Самозагострюючі леза складаються з двох шарів, матеріали яких істотно відрізняються по зносостійкості. Ріжучий шар, товщина якого встановлюється залежно від агротехнічних вимог до деталі, виготовляється з більш зносостійкого матеріалу. Другий шар відносно м'якого, в'язкого матеріалу є базовим (несучим); Його призначення – захистити ріжучий шар від пошкоджень. Під час роботи леза зносостійкий шар повинен постійно виступати на лезі та розрізати ґрунт (бур'яни чи інші сільськогосподарські матеріали). Вся складність отримання самогостривального леза полягає в тому, що в роботі необхідно підтримувати достатню гостроту профільне леза.

Сама форма профілю двошарового леза і отримане зношування, як показали дослідження, залежить від співвідношення тиску ґрунту на різні ділянки леза, зносостійкості шарів матеріалу та їх товщини. Створення

самозагострювальних лемешів та інших ріжучих деталей базується на правильному підборі параметрів леза для різних умов його експлуатації. Ідея

самозаточування лез виникла дуже давно. Так, київські ковалі в XI ст. виготовляли тришарові ножі з тонкої мідної пластини і двох пластин м'якого заліза, приварених до неї з боків ковальським способом.

Понад 150 років в Англії використовуються чавунні лемеші, що самозагострюються, з вибіленою нижньою стороною леза, але такі лемеші працюють лише на легких ґрунтах і непридатні для твердих.

Слід зазначити, що прагнення зробити лезо «як можна гострішим» у всіх випадках призводить до зниження його міцності і довговічності. Тому

мінімальна товщина ріжучої кромки леза повинна бути пов'язана з економічно вигідним терміном служби деталі. Максимальна товщина цієї кромки обмежена агротехнічними вимогами до якості роботи ріжучої частини. При виборі товщини ріжучого шару самозагострювального леза,

очевидно, повинні бути забезпечені такі показники якості різання, які будуть не нижче середніх показників, отриманих при роботі з тупими, однорідними лезами однакових частин.

Для повного зрізання бур'янів потрібна значно менша товщина ножа, ніж для обробки ґрунту. Однак і тут не можна говорити про абсолютну

гостроту: необхідно вказати межі товщини леза, допустимі за умови якісного виконання технологічної операції. При використанні однорідних

(одношарових) матеріалів ці вимоги призводять до необхідності заточування лез під великими кутами, внаслідок чого леза при зношуванні швидко затупляються, досягаючи граничної товщини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

## Обнесення грошей програми долънегестости лемехов

Напрямок працювати	Лемеші; конструктивно-технологічна характеристика	Техніко-економічні показники	
		позитивний	негативний
Удосконалення конструкції	Долотоподібна  Составные со сменным носком  З вишуканим лезом Зі зміцненням на носке	Збільшення термінів служби в 1,5 рази при виконанні трапецієвидними  Економія металу за рахунок зношеної лемеша. Можливе застосування зносостійких матеріалів  Збільшення ремонтних робіт  Увеличение сторінки служби при обра ботку каменістих почв	Періодичне прикоткування збільшувати леза, збільшення тягового опору плуга на 5-10 % .  Зниження міцності, ускладнення монтажу оздоблювальних стійок  Зменшення міцності та терміну служби спеціальні або спеціально обладнані стелажі; труднощі в ремонті
Підбір матеріалу для виготовлення та обробки	З лезами зі зносостійкої сталі типу ХІ2  З міцного чавуну  З розширеною зоною заточування	Повищення і зносостійкості в 2-3 рази  Заміна проката литтям, зниження собівартості  Збільшення терміну служби на власних позиціях в 1,5 -2 рази	Важкі для обробки матеріали, висока вартість виготовлення  Зменшення довговічності, більша товщина леза та неможливість ремонту леза  Зниження сили
Посилення леза і самозаточування	Наплавлення твердими марками сталей		

Ріжуче полотно має передню (верхню) і задню (нижню) сторони.

Залежно від сторони зносостійкого шару процес зношування двошарового полотна буде проходити по-різному.

Коли шар зносостійкого матеріалу знаходиться на нижній стороні леза, а верхній м'який шар зношується так, що нижній залишається постійно оголеним, відбувається самозаточування леза, яке умовно можна назвати

самозаточуванням заточка 1-го роду (рис. 1.5, а). В даному випадку ріжучий край леза має товщину нижнього шару  $k\%$ . Ця товщина повинна бути менше граничної для цих умов. Тільки в цьому випадку лезо буде виконувати роботу з дотриманням агротехнічних вимог, без необхідності ремонту до повного зносу двохшарової частини ріжучого органу сільськогосподарських машин.

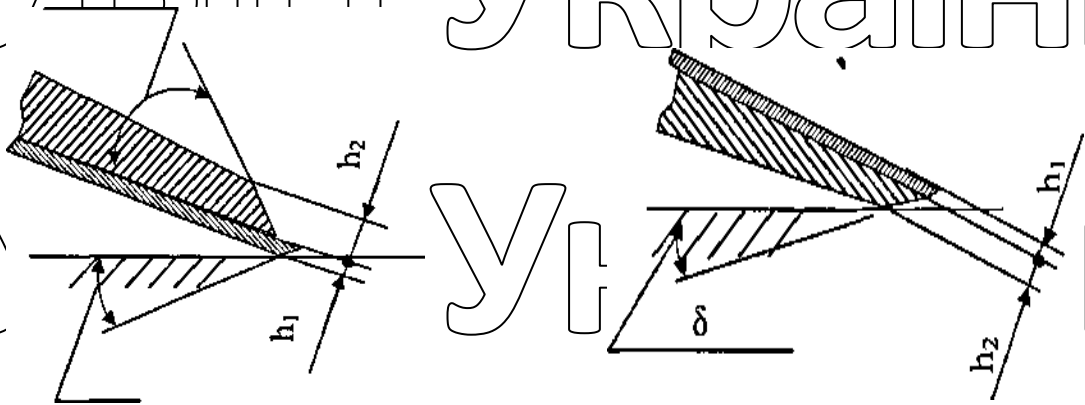


Рис. 1.5 Схеми самозагострюючихся двохшарових лез: а — першого роду — зносостійкий шар знизу; б — другого роду — зносостійкий шар зверху

Для самозаточувального леза лемеша це означає, що задня фаска, яка з'являється на нижньому ріжучому шарі і нахилена під від'ємним кутом  $5^\circ$  до дна борозни, має настільки малу ширину, що не має помітного впливу на рівномірність і середню глибину оранки. Тому товщину зносостійкого шару слід вибирати залежно від стану ґрунту. Товщина верхнього шару  $B$  кг повинна забезпечувати міцність самозаточувального леза. При зношенні такого леза утворюється фаска, подібна до тієї, що виходить при заточуванні нового леза, тому таку фаску називають самозагострювальною.

Таблиця 1.3

## Середні дані по затупленню та довговічності лез

Назва ріжучого органу	Початкова товщина різання краю, мм	Ліміт товщина різання краю, мм	Стійкість до ремонту, тільки на одній деталі	Основні причини вибору для ремонту
Плуг сошник	1,00	2.5	3.0	Погіршення роботи і вимілення плуга;
Леміш предплужника	1,00	2.5	6.0	Збільшення тягового опору
Культиватор листовий	0,20	0,8	1.0	Невирізання бур'янів
Нож болотної фрези	0,50	1,2	0,2	Збільшення енерговитрат на мінеральному
Диск луцильника	0,35	1.5	6.0	Вимілення батареї
Лапа бурякозбирального комбайна	1,00	3.0	15,0	Погіршення підкопування
Ніж бадиля-відрізаючого комбайна	0,05	0,2	1.0	Косий зріз і розколювання головок
Подрібнювач листя кукурудзозбиральний комбайн зернозбиральний	0,50	1,2	6	Збільшення споживання енергії та довжини
Ніж подрібнювача кормозбиральний комбайн зернозбиральний комбайн	0,15	0,6	1.6	Збільшення споживання енергії та довжини різання

З верхньої сторони леза також можна помістити шар зносостійкого матеріалу, але великий виступ, як у розглянутому вище випадку, неможливий (рис. 1.5, б). Нижній шар м'якого матеріалу цієї конструкції також служить для забезпечення довговічності леза. Однак це більшою мірою, ніж у першому випадку, впливає на продуктивність лемеша. Цей шар зношується під дією тиску ґрунту з дна борозни. На ній утворюється

додаткова фаска, яка завдяки захисній дії зносостійкого шару має менший кут нахилу 5 до дна борозни, ніж задня фаска на цьому ж відвалу або стандартному лемеші. Такий двошарове лезо при певних умовах може працювати без ремонту. Цей вид називається самозагостренням 2-го роду.

Підвищення ріжучої здатності леза, що самозагострюється, можна також забезпечити наданням йому пилкоподібної форми, яка б компенсувала дещо збільшену товщину ріжучого шару.

На підставі досліджень, проведених на кафедрі конструювання машин та обладнання НУБіП, загальний принцип самозагострювальних лез ріжучих частин можна сформулювати наступним чином: самозагострюючими називають леза, які під час зношування зберігають товщину ріжучого краю, достатньою для міцності і зносостійкості і оптимального профілю, допустимого для технологічних операцій.

Тільки таке визначення є правильним, оскільки воно пов'язує вимоги до ріжучої кромки з умовами її експлуатації.

Крім згаданих вище чавунних лемешів з вибіленою нижньою стороною леза, в ряді країн велися і ведуться роботи по створенню сталевих самозаточувальних лемешів.

Найбільшу ефективність показало використання біметалічних матеріалів. Такі матеріали мають шарувату структуру з великою різницею в зносостійкості шарів, які забезпечують стабілізацію робочої форми та самонарізування за рахунок прискореного зношування одного шару та повільного зношування іншого. Для отримання двошарового леза застосовують різні види наплавлення твердих сплавів, одностороннє гартування та цементацію тощо..

Принцип самонарізування вперше був використаний у нашій країні при ремонті лемешів, леза яких після кування покривали твердим сплавом. Слід зазначити, що змінення робочих органів сільськогосподарських машин твердосплавним покриттям у США та країнах Західної Європи не набуло широкого розповсюдження. Причини цього, мабуть, у меншому річному

завантаженні машин і в меншій значущості зміни робочих органів під час їх роботи.

Основними напрямками підвищення довговічності робочих органів є : застосування зносостійких матеріалів; застосування біметалічних матеріалів, отриманих шляхом нанесення покриттів; застосування двошарового прокату; застосування твердих сплавів; зміна форми деталей в його конструкції.

Широкого поширення набуло застосування твердих сплавів, у тому числі, наприклад, дугове наплавлення електродами ЦН-29, Т-590, Т-620;

покриття проводами порошковими ПП-АН-123, ПП-АН-125, стрічкою порошковою ЛС-У10Х7ГР; точкове покриття порошковим дротом ПП-1-Ні-8020РЗТ-Н-С-32; наплавка сплаву ФБХ-6-2; індуктивна наплавка сплавів типу «сормайт», ПГ-УС-25, ФБХ-6-2; плазминне наплавлення сплаву ФБХ-6-2 та деякі інші. Повищення ресурсу при цьому в розміщенні ґрунтових умовах складає 1,5-2,5 рази.

Для підвищення довговічності землерийних, будівельних і дорожніх машин застосовують покриття порошковими дротами 1111С-У30Х25С2РГ-0, 1111-102, 1111-226, порошковою стрічкою ПЛ-628 і ПЛ-634, сплавом ВСН-6

та іншими матеріалами. У нашій країні для металізації використовують переважно високохромисті сплави, а за кордоном, зокрема в США, сплави на основі карбиду вольфраму.

Сплави з вмістом карбідної фази 25-30% володіють високою зносостійкістю при абразивному зношуванні і ямковому зношуванні . При цьому найкращою структурою наплавленого металу є аустенітна мартенситна матриця (основа) з карбідами.

Роботи по наплавленню лемішів були розпочаті в 30-х роках ХХ століття. Найбільшого поширення в ремонтних умовах набуло покриття поверхні газовим полум'ям. Газова наплавка забезпечує рівний шар на лезі

товщина. Однак продуктивність ручного газового зварювання дуже низька. Так, на покриття площі в 1 см витрачається 0,1-1,5 г сорміту, при цьому за годину роботи покривається площа 100-140 см<sup>2</sup>. Процес гальванізації однієї лопати триває 15-18 хвилин, витрата карбиду кальцію 0,85 кг, кисню 0,165 м<sup>3</sup>.

В Інституті Зварювання ім.Патона робилися спроби створити обладнання для автоматизованого газополуменового зварювання. Однак ця технологія не знайшла застосування, оскільки для сплаву одного плуга потрібно було 3 м<sup>3</sup> кисню і 0,8 кг пропан-бутану.

Для підвищення довговічності лемешів їх ріжучу кромку оплавляли пороховим зарядом з вугільним електродом. Твердість шару, наплавленого вугільним електродом, у сталініту НЯА 74, у сплаву КБХ НЯА 75 - 80.

Спроби виконати автоматичне покриття лемешів порошковим дротом не дали задовільних результатів через змінну товщину та конфігурацію лопати.

Стрічкові порошкові електроди також не знайшли застосування для зварювання лемешів через різну ширину поверхні, що зварюється, і технічні труднощі при зварюванні на тонке лезо, оскільки глибина провару при зварюванні твердих сплавів стрічкою становить 1-2 мм, при цьому товщина ріжучої кромки нового плуга не повинна перевищувати 1,5-2,1 мм. Друга складність пов'язана з отриманням рівномірних тонких шарів поверх металевої вати.

Деякі дослідники проводили досліди по наплавці лемешів твердими сплавами при нагріванні ТВЧ. Зварювання проводили за допомогою лампового генератора ГЗ-46 потужністю 60 кВт, в чотиривитковому індукторі, виконаному у вигляді плоскої спіралі. Проте результати наплавлення, отримані в лабораторних умовах, не підтверджені на практиці, оскільки авторам не вдалося встановити закономірності індукційної наплавки і відповідно вибрати оптимальні склади флюсів і технологічні параметри процесу наплавки.

Суттєві технологічні обмеження, які існують в індукційному покритті, не дозволяють удосконалити конструкцію армованих робочих органів з метою підвищення їх конструктивної зносостійкості. До таких обмежень, перш за все, відносяться:

обмеження по товщині шару, що наноситься, не більше 1,5 мм за рахунок текучості сплаву;

обмеження хімічного складу застосовуваних твердих сплавів через вимогу немагнітності;

надмірний перегрів основ і твердих сплавів, що знижує потенційні технічні можливості використовуваних матеріалів;

неоптимальна глибина проплавлення (в окремих випадках низька адгезія зварюваних матеріалів), що часто сприяє появі ефекту «перемотування» при зношуванні леза;

складність або неможливість нанесення покриттів на робочі органи складної форми, що мають циліндричні, сферичні, гвинтові, похилі поверхні; низька якість нанесених покриттів, нестабільність геометричних і фізико-механічних характеристик.

Крім того, процес індукційного напилення має значні недоліки в економічному та екологічному відношенні, автоматизація процесу ускладнена.

Довговічність ножів автогрейдера визначається шириною їх зносу, яка становить 45-55 мм при куті різання ножа  $\alpha = 35^\circ$ . При цьому площа зносу ножа досягає 17 мм, знос по товщині ножа не читається, і ним зазвичай нехтують. Граничне значення площі зносу становить 10-12 м. Для будівельних машин найбільш повно відповідає вимогам зносостійкості тіл працівників. У таблиці 1.4 результати застосування різних сплавів, нанесених на основу деталі електродуговим наплавленням з ціллю підвищення зносостійкості.

У ремонтних майстернях відновлюють зношені ріжучі частини лемешів, які досягли граничних розмірів (табл. 1.5), покриваючи їх новим

твердим сплавом, забезпечуючи самозаточування лез. Як твердий сплав використовують порошкові сплави ЦГ-СР, сормайт-1, УС-25, змішуючи їх з флюсами. Паралельно з розробкою методів різання поверхневого зміцнення ріжучих деталей багато дослідницьких організацій доклали багато зусиль для

створення двошарового рулону. Інститутом чорної металургії АН УРСР розроблено технологію виготовлення лемешів з двошаровим відвалом для корпусів з висувним долотом. Основа лемеша і верхній шар відвала виготовлені з лемішної сталі Л53. Леза піддавалися термічній обробці, в

результаті якої твердість зносостійкого шару досягала 60-63 НЯС при твердості основного металу 20-25 НЛС. Польові випробування корпусів з

висувним долотом показали їх високі характеристики. Виробниче обстеження технологічного процесу прокатки смуги показало, що

собівартість лемешів шаруватої сталі значно вища, ніж з покриттям, незважаючи на те, що вони мають просту трапецієподібну форму.

Продуктивність процесу прокатки шару низька, що різко знижує продуктивність обладнання.

Одним із нових напрямів підвищення довговічності робочих органів є нанесення металокерамічних покриттів.

Технологія зміцнення керамічними матеріалами, загалом, полягає в тому, що поверхні робочих органів, які піддаються найбільшому впливу ґрунту, а отже, найбільше зношуються, захищають керамічними пластинами.

Кріплення пластин на поверхнях робочих органів здійснюється за допомогою клею високої міцності.

Порошкові матеріали широко застосовують для зміцнення та відновлення деталей машин методом запікання. Серед них механічні суміші, що складаються з матричних металевих порошків (на основі заліза, нікелю, міді та ін.) і наповнювачів (карбідів, оксидів, сплавів на основі заліза,

графіту, дисульфіду молібдену, полімерів та ін.). Нанесення складних покриттів методом електроімпульсного спікання забезпечується електронагрівним порошком, розміщеним між деталлю та електродом за

рахунок теплової енергії, що виділяється електричним струмом в зоні активного опору. Застосування механічних сумішей дає можливість досягти необхідної якості та властивостей покриття шляхом зміни складу суміші (хімічного та кількісного) і розмірів часток.

За типом структури розрізняють плакувальні і конгломератні порошки.

Покрита частинка являє собою початкове ядро одного з матеріалів (карбиду, оксиду та ін.), на поверхні якого розташовано один або декілька шарів інших матеріалів (міді, нікелю та ін.). Частинка композитного порошку

конгломератного типу формується з багатьох вихідних частинок кількох

матеріалів. Поєднання цих основних типів дозволяє отримати ряд конструкцій змішаного типу. Проведені експерименти [51] показали, що у випадку розпікання композиційних порошків багато властивостей покриття

значно підвищуються. Так, наприклад, пористість зменшується з 10-15 до 1-

2%; міцність зчеплення на відрив збільшується від 180 до 270 МН/м.

Рентгенівський кількісний аналіз показав різке збільшення ступеня міжфазної взаємодії між окремими компонентами покриття, що

перешкоджає видаленню керамічних частинок з поверхні деталі при терті. На

підставі проведених досліджень рекомендовані композитні покриття для відновлення та зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування

у роботі описано спосіб одержання біметалічних

самонавантажувальних робочих органів сільськогосподарських машин

шляхом покриття зносостійким матеріалом ділянок, що піддаються найбільш

інтенсивному зношенню. Відмінна особливість способу контактного

плакування - можливість суміщення процесу металізації і термічної обробки

біметалічної лопати. Посилення сошників і дискових ножів контактним

покриттям збільшує їх довговічність вдвічі.

По технології Харківського науково-дослідного інституту Лемеші дологодобієні марки П-702 Б заправляються із заміною зношеної частини приварюванням вкладишів з катаного клинового профілю. За цією

технологією можна відновити до 70% лемішів, що надійшли на ремонтні підприємства, зношених на глинистих ґрунтах. Однак метод приварювання вкладишів має свої недоліки: носова частина лемеша при відновленні слабшає; геометричні параметри відновленого нуга дещо відрізняються від нового;

відновлені лемеші можна використовувати тільки на глинистих і суглиннистих ґрунтах.

У таблиці 1.5 наведено показники зношеності деяких ґрунтообробних знарядь.

По технології долотоподібний леміш цієї ж марки зберігає жорсткість носка, вставка носка виконана з катаного клинового профілю шириною 50 і висотою 85 мм. При цьому досягається збільшення жорсткості, але відсоток можливості відновлення знижується в 1,7 рази. Леза піддаються відпалу, що призводить до зниження їх твердості.

Розроблено технологічні процеси відновлення лемешів без опалювання, що дозволяє відновлювати удвічі більше лемешів, ніж за технологією, з економією 3 кг рулонної сталі.

Економічно вигідний процес реставрації з використанням повітряно-пластинчастого ріжучого обладнання (зрізання зношених частин лемешів) та зварювальних апаратів (зварювання рамки з вставками зварювального дроту в середовищі вуглецю), оскільки дозволяє відновлювати лемеші різних марок. Процес можна автоматизувати.

Термодифузійна металізація (титанування, хромування) знайшла широке застосування для зміцнення і відновлення деталей. Однією з переваг цього методу є хороша адгезія між основним і суцільним шарами. Але у цього методу є свої недоліки. Тривалість процесу — основний недолік, 8 год, висихання тильної сторони після обмазки захисною сумішшю -2 год, вивільнення 2 год. Для підвищення довговічності носка розпушувача автори роботи прикріпили до тильної сторони заклепками елемент лопаті зі сталі 60С2, термічно обробленої до твердості 50 — 62 НС. При цьому марка сталі

значення не має, а важливе співвідношення значень твердості і відносної зносостійкості матеріалів.

Для підвищення зносостійкості лицьової частини також пропонується додатково покрити цю поверхню композитним покриттям. Введення в'язких

прошарків, що мають металевий зв'язок з основним металом і гальванічним,

створює ряд факторів, які позитивно впливають на процес крихкого руйнування твердих сплавів. Композитні гальванічні покриття рекомендують наносити на носик і ріжучу частину з передньої сторони по всій довжині

лемеша суцільною смугою шириною 45-50 мм замість накладного покриття.

Зношування леміша, відновленого таким способом, виявився в 3,2-4 рази меншим за леміші, покриті сормаїтом.

#### Висновки та завдання дослідження

У процесі роботи плугів інтенсивно зношуються їх робочі органи .

Інтенсивність і характер зношування робочих органів визначаються механічним складом і агрегатним станом ґрунту, а також характером руйнування шару ґрунту і макрогеометрією частинок ґрунту, що складають механічний «скелет» ґрунту;

Аналіз показав, що для підвищення довговічності деталей ґрунтообробних машин найчастіше використовують їх армування твердими сплавами. Останні містять тверді карбіди дефіцитних металів (хрому, вольфраму, бору та ін.). Зміцнення твердих сплавів дозволяє збільшити

ресурс робочих органів в 1,5-2 рази, і це не завжди економічно вигідно , оскільки ефект від збільшення ресурсу не компенсує вартості матеріалів і технології їх застосування;

Електроконтактний обігрів слід вважати одним із перспективних методів підвищення довговічності робочих органів плуга, який не потребує складного та дорогого обладнання та допоміжних матеріалів. У цьому плані науковий та практичний інтерес представляє дослідження технологічного процесу зміцнення лемешів із застосуванням імпульсного

електроконтактного нагріву з метою забезпечення їх самозаточування.

Викладеними міркуваннями визначаються такі основні цілі дослідження:

Вивчити відомі способи відновлення та зміцнення ріжучих елементів робочих органів ґрунтообробних машин та вибрати найбільш оптимальний.

Розробити методику продуктивної лабораторної сторінки, стендових і експлуатаційних випробувань;

Провести експериментальні дослідження з вибору оптимального режиму зміцнення методом багатofакторного планувального експерименту,

вивчити структуру та механічні властивості армованих перерізів для вибору оптимальної схеми зміцнення;

Провести лабораторні, стендові та експлуатаційні випробування посиленних лемешів;

Розробити технологію зміцнення лемешів із застосуванням імпульсного електроконтактного нагріву без використання добавок матеріалу зі створенням ефекту самовсмоктування та реалізувати процес і дати техніко-економічну оцінку способу зміцнення лемешів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЛЕМЕШІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВАННЯ

У процесі використання ґрунтообробних машин здійснюється взаємодія ґрунту та клина в плоскою або криволінійною поверхнею робочих органів. При цьому відбувається ущільнення, сколювання, а потім переміщення ґрунту по робочій поверхні.

Тиск ґрунту на клин залежить від характеру деформації, параметрів клина, швидкості переміщення, фізико-механічних властивостей і стану ґрунту.

Завдяки різноманітності форм, розмірів, механічних властивостей абразивних частинок і прикладених навантажень у поверхневому шарі зношуваного матеріалу виникає широкий діапазон контактних напружень.

Величина залежить від радіуса контактної поверхні абразивної частинки, її механічних властивостей (міцності, модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та ін.), навантаження, що прикладається до цієї частинки, сил зчеплення між частинками (визначення ступеня «герметичності» абразивних зерен) і

відсутність властивостей матеріалу, на який ця частинка діє.

### 2.1. Вплив точкового зміцнення імпульсним

електроконтактним нагріванням на зносостійкість робочих органів

Процес зношування робочих органів плуга залежить від ряду факторів, складно пов'язаних між собою (вологість, гранулометричний склад ґрунту, твердість матеріалу робочого органу та ін.).

Загалом величина зносу абразивного матеріалу в масі ґрунту виражається як функція ряду змінних значень:

$$\Delta G = f(p, L, S, m, H), \quad (2.1)$$

де  $p$  - тиск ґрунту;

$L$  - шлях тертя;

$S$  - зона тертя;

$m$  - показник зношеної здатності ґрунту;

$H$  - твердість матеріалу.

Абразивні частинки ґрунту під дією прикладеного до них нормального тиску і рушійної сили викликають нерівномірне зношування робочого органу, що також залежить від твердості поверхні леза. В даній роботі пропонується виробляти леза лемешів точково укріплених електроконтактним нагрівом з охолодженням у воді. В результаті неоднорідні структури з різною твердістю зішкрябуються на однорідному лезі. Різниця твердості повинна задовольняти умову самозаточування

$$H = \delta H_0, \quad (2.2)$$

де  $H$  - твердість армованого шару;

$\delta$  - коефіцієнт пропорційності;

$H_0$  - твердість основного шару.

Залежність інтенсивності зношування деталей у ґрунтовому середовищі від сили різання ґрунту та тертя має такий вигляд [26]:

$$\frac{\Delta G}{\Delta S} = kP, \quad (2.3)$$

де  $\Delta G$  - величина абразивного зношування;

$\Delta S$  - шлях тренування;

$k$  - коефіцієнт пропорційності;

$P$  - сила різання шару ґрунту.

Залежність інтенсивності абразивного зношування від твердості матеріалу виглядає наступним чином

$$\frac{\Delta G}{\Delta t} = k \frac{Pv_{отн}}{H}, \quad (2.4)г$$

де  $v_{отн}$  - швидкість відносного переміщення частинок контакту в зношуваних місцях;

$\Delta t$  - час дії абразива;

$H$  - твердість металу.

За аналогією з різанням металу на малюнку 2.1 представлена система сил, що прикладаються до передньої та задньої сторін лемеша в процесі

зрізання шару ґрунту. У точці  $M$  результуюча нормальна сила ( $Q$ , перпендикулярна до передньої сторони, і результуюча сила тертя, що виникає внаслідок переміщення шару вздовж передньої сторони леза) прикладаються до передньої поверхні леза ( $f_1$  – коефіцієнт зовнішнього тертя ковзання обробленого ґрунту по поверхні плуга) У точці  $O$  до задньої поверхні лемеша в лежачому положенні діє сила  $L$ , перпендикулярна до напрямку руху лемеша зі швидкістю  $V$ , і силою тертя  $fL$ , спрямованою проти руху лемеша Сила різання  $P$  прикладена в точці  $M$  до передньої сторони, вона збігається зі швидкістю переміщення лемеша.

З умови рівноваги випливає, що сила  $P$  дорівнює сумі проєкцій усіх сил, прикладених до лопати лемеша, на пряму  $A-A$ , уздовж якої діє сила  $P$ . Спроектуювши розглянуті сили на горизонтальну лінію  $A-A$ , отримаємо рівняння

$$P = Q \cos \gamma + f_1 Q \sin \gamma + f_1 R. \quad (2.5)$$

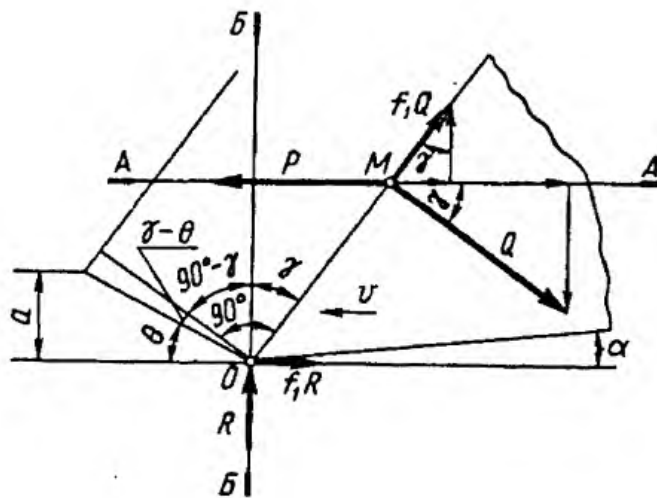


Рис. 2.1. Схема збалансування сил, діючих на лезо лемеша

Використовуючи принцип рівноваги системи і проєктуючи розглянуті вищі сили на вертикальну пряму  $B-B$ , визначимо силу реакції на ґрунт  $R$ :

$$R = Q \sin \gamma - f_1 Q \cos \gamma. \quad (2.6)$$

Підставивши отримане за рівнянням (2.6) значення сили  $R$  в рівнянні (2.5), отримуємо

$$P = Q \cos \gamma + f_1 Q \sin \gamma + f_1 Q \sin \gamma - f_1^2 Q \cos \gamma, \tag{2.7}$$

Н або

$$P = q[(1 - f_1^2) \cos \gamma + 2f_1 \sin \gamma]. \tag{2.8}$$

У рівнянні (2.8) сила  $Q$  визначає динамічний тиск ґрунту на нормальну поверхню клина. Розглядаючи систему сил, що діють в зоні утворення шару, представимо опір руйнуванню шару трьома прикладеними силами:

- а) нормальна сила  $N$ ;
- б) силою інтернет тренування  $f_2 N$ , де  $f_2$  — коефіцієнт внутрішнього тертя в зрізаному шарі ґрунту;

в) сила  $F$ , утворений дотичними напругами, що діють у площині кісткового ріжучого шару (рис. 2.2). Напрямок зосередженої нормальній сили  $N$  збігається з прямою  $B - B$ , перпендикулярним перерізом площини. Січна площина утворює з напрямком руху леза кут  $\theta$ , а з лінією — кут  $(\gamma - \theta)$ .

$E - E$ , перпендикулярно до передньої поверхні лемеша, заточений під кутом  $\gamma$

На рис. 2.1 сила  $Q$  и  $f_1 Q$  вважалися прикріпленими до поверхні плуга клином. на рис. 2.2 такі ж сили вважаються прикладеними до зрізаного шару ґрунту, тому вони діють у протилежному напрямку. Спроектувавши сили, що діють у цій системі, на пряму  $B - B$ , отримаємо умову рівноваги

$$f_2 N \cos(\gamma - \theta) = Q \sin(\gamma - \theta). \tag{2.9}$$

Тоді сила внутрішнього тертя ґрунту в площині перерізу виявляється за рівнянням:

$$f_2 N = f_1 f_2 Q \cos(\gamma - \theta) - f_2 Q \sin(\gamma - \theta). \tag{2.10}$$

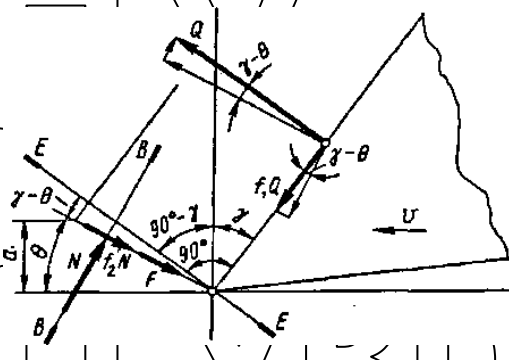


Рис. 2.2. Схема зрівноважених сил опору шару ґрунту та осипання на зрізі

# НУБІП УКРАЇНИ

Припустимо, що дотичні напруги виникають у площині шару зсуву, по всій його площі, у шарі деформованого ґрунту, що стоїть. Результируюча напруга на малюнку 2.2 представлена силою  $T^*$ :

$$T^* = a b T_{\text{аипб}}, \quad (2.11)$$

де  $a$  – товщина зрізаного шару;  $b$  – ширина зрізаного шару.

Проектуючи систему сил, що діють на ґрунт у зоні різання, на лінію площини руйнування, знаходимо з умови рівноваги

$$F = Q \cos(\gamma - \theta) + f_1 Q \sin(\gamma - \theta) - f_2 Q \cos(\gamma - \theta) + f_2 Q \sin(\gamma - \theta), \quad (2.12)$$

звідки береться сила  $Q$  нормаль леза до торця лемеша (з урахуванням виразу для сили  $F$ ), дорівнює:

$$Q = \frac{abT}{[(1-f_1f_2)\cos(\gamma-\theta) + (f_1+f_2)\sin(\gamma-\theta)]\sin\theta}. \quad (2.13)$$

Підставляючи отримані значення сили  $Q$  в рівняння (2.8) і виходячи з припущення про рівність сил, що діють одночасно на відвал лемеша і в площині шару дроблення, можна вивести теоретичне рівняння для сила різання:

$$P = \frac{abT[(1-f_1^2)\cos\gamma + 2f_1\sin\gamma]}{\sin\theta[(1-f_1f_2)\cos(\gamma-\theta) + (f_1+f_2)\sin(\gamma-\theta)]}. \quad (2.14)$$

Кут  $\gamma$  є одним з найважливіших факторів і його зміна призводить до зміни сили різання. Аналіз виразу (2.14) показав, що при збільшенні кута  $\gamma$  сила різання зменшується. На малюнку 2.3 показана теоретично отримана залежність сили різання від кута  $\gamma$ . У стан дартного меха ізно по довжині лезвія не змінює свого актора. Під час роботи дослідного лемеша головний кут змінюється в процесі зношування, на неармованих ділянках робочої частини в меншу сторону (мал. 2.2) і,

отже, зусилля різання на цих ділянках збільшується, а на армованих секціях – це кут не змінюється, а сила залишається постійною. Оскільки сила збільшується тільки на неармованих ділянках леза, сила різання на лезі збільшується в меншій мірі при зношуванні.

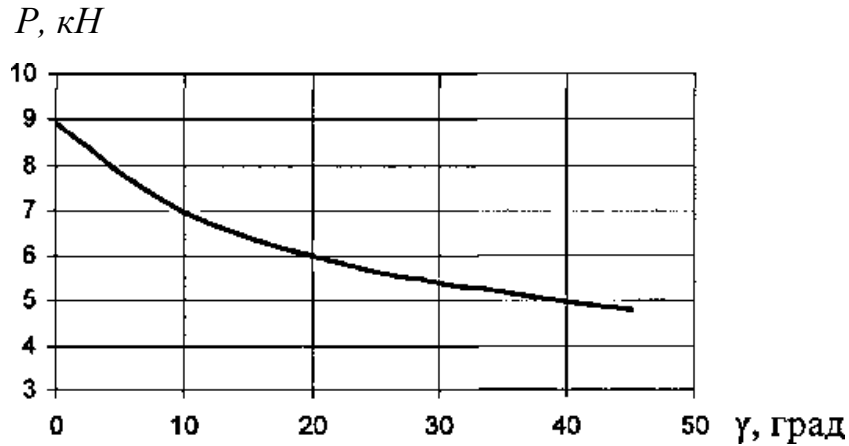


Рис. 2.3 Теоретична залежність міцності ріжучого шару від кута

Для зрізання шару ґрунту необхідно витратити деяку кількість енергії – щоб зробити роботу зрізу. Потужність, яка в середньому не потрібна для різання, називається ефективною потужністю. Оскільки напрямки сили різання  $P$  і швидкості поступального руху лемеша збігаються з

$$N_e = 60 P v_{\text{п}}. \quad (2,15)$$

Враховуючи, що  $v_{\text{п}}$  є постійною величиною, ефективна потужність залежатиме лише від сили різання шару, яка, у свою чергу, залежить від кута  $\gamma$ . З цього можна зробити висновок, що при зношуванні леза утворюється профіль з різними кутами  $\gamma$ . Зменшується загальна сила розрізання шару ґрунту і потужність, необхідна для різання, і як наслідок – зменшується тяговий опір плуга.

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Прискорені стендові випробування на абразивну зносостійкість

У другому випадку прискорені стендові випробування абразивної зносостійкості зразків проводили в умовах, що імітують реальні умови експлуатації робочих органів і передбачають роботу досліджуваних зразків у ґрунтах практично будь-якого складу за вмістом піску, гравію, органічні залишки, глина та інші добавки.

Для проведення випробувань на абразивне зношування розроблено пристрій (схема – рис. 3.1, загальний вигляд – рис. 3.2), який являє собою циліндричну посудину у вигляді чашки 2, всередині якої розміщено абразивне середовище 3. Дослідні зразки кріпилися до оправки 1 на шпинделі вертикально-сверлильного станка і повантажувалися в чашу з абразивом. Абразивну масу ущільнювали за допомогою ущільнювальних вальців 5. До складу середовища входили: 80 % піску, 15 % глини та для підвищення зносостійкості 5 % електрокорунду.

В основу конструкції розробленого пристрою лягла ідея, реалізована в машині типу «обертова чашка». Конструкція цієї машини істотно спрощена з одночасним розширенням діапазону можливих режимів випробувань.

Було поставлено завдання одночасного випробування кількох зразків.

В даному випадку було випробувано два зразки: один з неармованої лопаті, інший з армованої, що дозволило порівняти процес зношування в однакових умовах.

Контроль інтенсивності зношування лопаті визначали лінійним методом. Вимірювання товщини проводили за допомогою індикаторної головки та приладу (мал. 3.14) з точністю 0,01 мм, вимірювання ширини – штангенциркулем з точністю 0,05 мм.

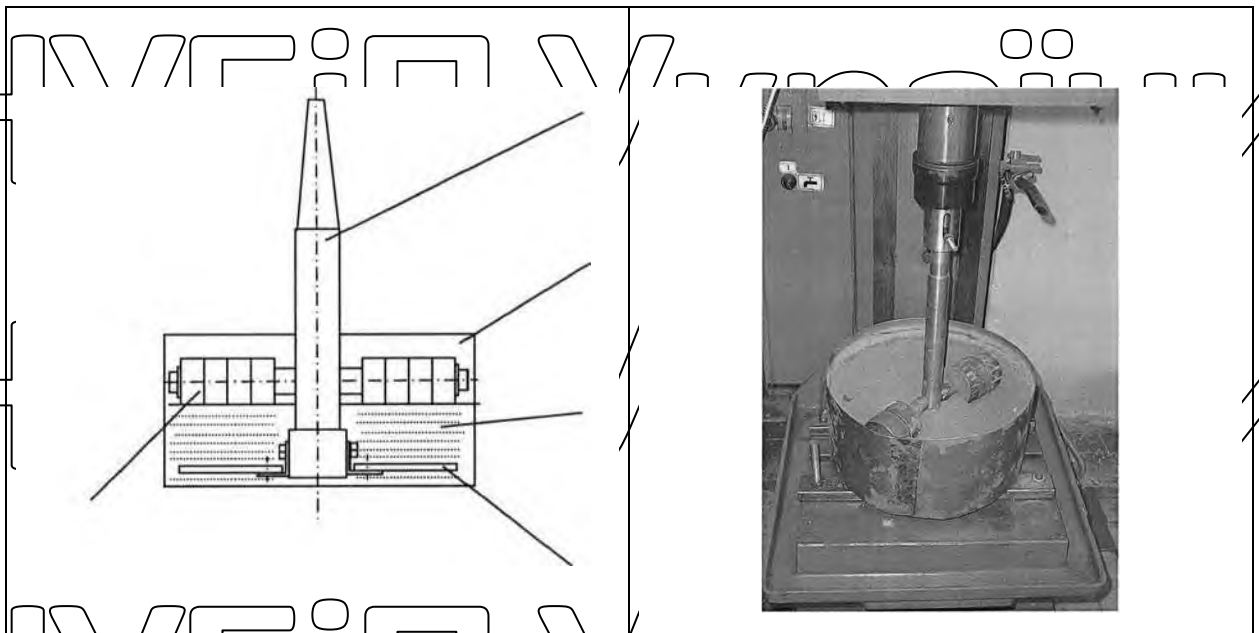


Рис. 3.1 Загальний вигляд пристрою до вертикально-сверлильного верстату для випробувань на абразивне зношення.

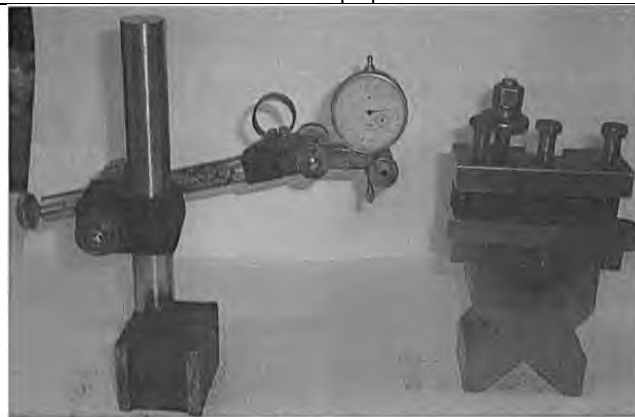


Рис. 3.2 Загальний тип приладу для вимірювання зносу

### 3.2. Методика проведення експлуатаційних випробувань

Випробування проводили лемішній плуг, посиленій за допомогою імпульсного електроконтактного нагріву, та серійні, призначені для встановлення на плуги загального призначення.

Виходячи з умов роботи плуга, а також на основі досвіду зміцнення їх різними способами виготовляли лемеші, посилені з тильного боку окремими

ділянками (точками).

В якості дослідних зразків для посилення були взяті плуги, ковані зі сталі Л53. В задачу предетавлено входило: визначення ресурсо-енергетичних показників укріплених лемешів; специфікація їх ресурсів відповідно до умов роботи та відмінностей конструктивних параметрів (з урахуванням технології та посилення); визначення роботи роботи по програмуванню ресурсу лемехов.

Випробування проводилися в агрокомплексі "Зелена Долина", агроформування "Пропозиція", с. Крищенці, Тульчинського району. Для цього були підготовлені плуги ПЛН-3-35 (або ПЛН-4-35, ПЛН-8-35).

Всі машини агрегувалися з тракторами одного тягового класу і працювали на швидкостях, прийнятих у вказаній зоні.

Порівнянність результатів випробувань, проведених у різний час і в різних ґрунтових умовах, забезпечувалась одночасним випробуванням різних і дослідних робочих органів.

Кожен плуг оснащувався двома серійними і двома дослідними лемешами. Серійні та дослідні робочі органи промарковані та пронумеровані в порядку зростання.

Перед початком випробувань проводився первинний огляд робочих органів на відповідність кресленням і технічним вимогам, для чого проводився 100% контроль деталей за всіма розмірними параметрами, твердістю матеріалу і геометрією. заточування леза. Первинний технічний огляд бічних органів проводили згідно ОСТ 10.2.1-97 для наступного визначення величини зносу.

Розміри образних зображень контролюються за параметрами, вказаними на рисунку 3.14.

Установку робочих органів на плуг проводили за такою схемою: на першій і третій стійках серійні плуги, на другій і останній – дослідні.

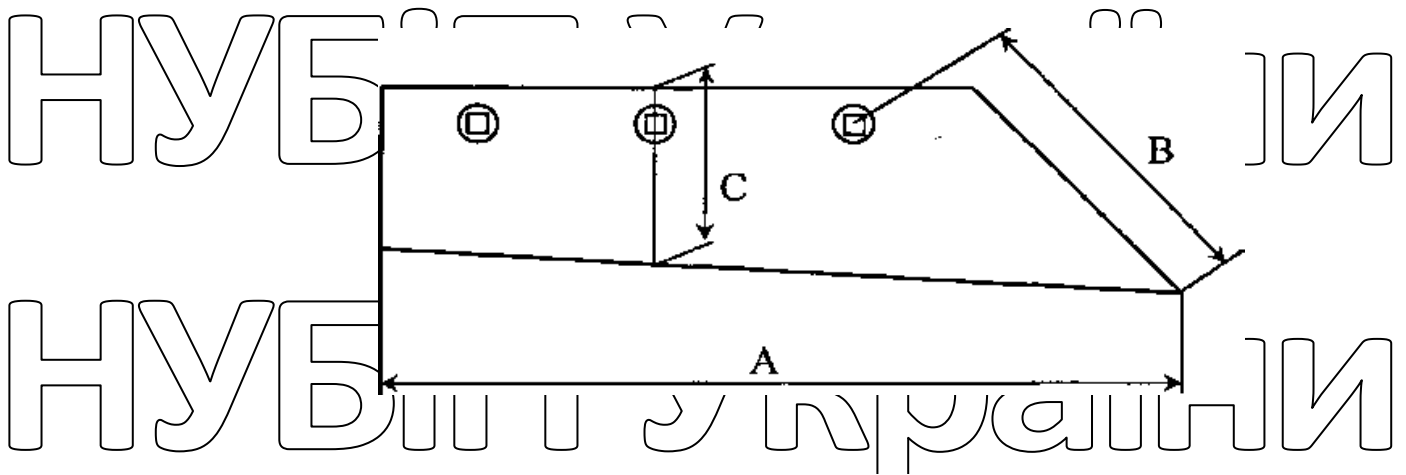


Рис. 3.14 Контрольовані параметри лемеша

При необхідності порівняння результатів випробувань серійних і дослідних робочих органів ця схема забезпечує достатню точність результатів випробувань, оскільки навантаження на робочі органи плуга змінюється в сторону зведення від першого випадку до останнього.

Випробування проводили на полях із типовим для даної зони ґрунтом механічного складу, рослинні залишки, з однаковими значеннями жорсткості та вологості. Ділянки на площі були обрані з метою забезпечення виконання на них повної програми планових випробувань, тобто до граничного стану робочих органів.

Встановлені регулювання машин та прийнятий режим і умови випробувань фіксувалися в протоколі. Випробування проводилися до того часу, поки кожен робочий орган не досягав свого граничного стану.

Вимірювання параметрів, що виробляються, робочі обробні пропозиції продаються через кожні 2 — 5 га. Лінійний і знос вимірювали

штатгенциркулем з точністю до 0,1 мм. Показники продуктивності технологічного процесу оранки укріпленими робочими органами визначали порівняно із серійними робочими органами на плузі ПЛН-4-35 в агрегаті з

трактором МТЗ-82-100. Спочатку на плуг встановлювали серійні робочі

органи, налагоджували плуг на глибину оранки 22 см з наступним

визначенням показників якості технологічного процесу. Після цього

замінили робочі органи без зміни регулювання плуга.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ

### ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ

#### 4.1. Вибір оптимального режиму нагріву

Для отримання необхідних фізико-механічних параметрів зміцненої плями необхідно було встановити оптимальний режим нагріву.

Дослідження щодо вибору оптимального режиму нагріву проводяться з використанням теорії багатofакторного математичного планування

експериментів. Була застосована копія 1/2 частки повного фактора

експерименту  $2^4$ . Використовуючи матрицю планування багатofакторного

експерименту  $2^4$  і нехтуючи взаємодією факторів, які виражаються

порядкуючими співвідношеннями  $x_1x_2=x_3x_4$ ,  $x_1x_3=x_2x_4$ ,  $x_2x_3=x_1x_4$ ,  $x_1x_3=x_2x_4$ ,

$x_2x_3=x_1x_4$ , проведено 8 досвідів.

Для кожної компонентної моди встановлено: базовий рівень, інтервал варіації, верхній і нижній рівні. Значення цих значень контролювали за

допомогою регулятора часу типу РВН-801. Досліди проводили при постійному електродному тиску 1000 МПа. Для дослідження застосували

зразки типорозмера №1. Матриця планування представлена в таблиці 4.1.

Математичною моделлю є поліном першого степеня

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4, \quad (4.1)$$

За результатами експериментів визначено коефіцієнти (табл. 4.1) та отримано рівняння регресії

$$y = 704,32 - 78,28x_1 - 59,88x_2 - 9,58x_3 - 29,38x_4, \quad (4.2)$$

Вплив кожного фактора на параметр оптимізації можна оцінити за величиною та знаком коефіцієнтів рівняння регресії. При цьому на твердість

арматури найбільше впливають інтервал імпульсів ( $x_1$ ), час імпульсів ( $x_2$ ), сила струму ( $x_3$ ) і кількість імпульсів ( $x_4$ ). розділ . Коефіцієнти при  $x_1, x_2, x_3, x_4$

свідчать про те, що для збільшення параметра оптимізації необхідно зменшити інтервал імпульсів, час імпульсу, кількість імпульсів і силу

струму. Перевищення всіх параметрів призводить до зниження твердості

оброблених ділянок через перегрів зразка.

Таблиця 4.1 Матриця планування 2<sup>4</sup> факторів та

інтервали варіації

	Інтервал медух ім- пульсами T <sub>п</sub> , с	Час імпульсу T <sub>імп</sub> с	Сила тока I, кА	Кількість імпульсів N, од	Твердість пляма HV
Базовий рівень	0,6	2.4	7	6	
Верхній рівень	0,8	3	8	7	
Нижній рівень	0,4	1.8	6	5	
Інтервал варіації	0,2	0,6	1	1	

Кодування значень факторів	XI	x 2	x 3	x 4	Y1
Номер дослідку:	+	+			661,6
2 +	-	-	-	-	837,6
3 +	+	-	-	+	507,4
4 +	-	+	-	+	849,0
5 +	+	+	+	+	483,4
6 +	-	-	+	+	860,0
7 +	+	-	+	-	851,8
8 +	-	+	+	-	583,8
b <sub>0</sub> =704,32	-78,28	-59,88	-9,58	-29,38	

# НУБІП УКРАЇНИ

Далі було проведено математичний аналіз отриманих результатів за

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 ,$$

методиками. Оцінку дисперсії виробляли

# НУБІП УКРАЇНИ

за формулою:

(4.3)

де  $n$  — число опытов в каждой точке факторного пространства,  $n = 5$ ;  $y$

— результат испытаний в каждом опыте;  $\bar{y}$  - среднее значение опыта.

Среднее квадратическое отклонение определяли по формуле

# НУБІП УКРАЇНИ

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{n-1}} .$$

(4.4)

# НУБІП УКРАЇНИ

Розрахунок дисперсії наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок відхилень

№ дослідів	$Y_i$	$U$	$4y$	$O_2$	$1 \text{ Ав } 2$ $\neq 1$	$Я_2$	$\text{£}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	532	661,6	129,0	16641,00	46932,02	11733,01	108,32
	753		91,4	8353,96			
	753		91,4	8353,96			
	713		51,4	2641,16			
	557		104,6	10941,16			
2	874	837,6	36,4	1324,96	15771,20	3942,80	62,79
	909		71,4	5097,96			
	795		42,6	1814,76			
	857		19,4	376,36			
	753		84,6	7157,16			

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБІП України

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
3	76		25	6687			
	41		89	7992			
	45	5	54	2959	8443	211	145,29
	45		54	2959			
4	44		60	3648			
	92		78	6084			
	84		8.	64,0			
	79	8	54	2916	9704	242	49.25
5	85		8.	64,0			
	82		24	576,			
	84		35	1278			
	50		17	309,			
6	45	4	30	924,	1443	360	190,00
	46		23	547,			
	36		12	1473			
	90		49	2401			
7	78		80	6400			
	0	,0	,00				
	79	8	65	4225	1847	461	67,96
	92		67	4489			
8	89		31	961,			
	89		39	1536			
	76		85	7361			
	92	8	75	5655	2518	629	79,35
8	76		85	7361			
	90		57	3271			
	34		24	5895			
	66		82	6756			
3	66	5	82	6756	7553	188	137,42
	62		39	1536			
	62		39	1536			
	3	.2	,64				

Перевірку однорідності дисперсій проводили за допомогою критерію

Фішера

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2},$$

Таблиця 5.2 Результати дослід

зивну зносостійкість

(4,5)

де  $S_{\max}^2$  и  $S_{\min}^2$  - відповідно максимальне і мінімальне значення дисперсій;

$$F = \frac{36099,31}{2426} = 14,88.$$

(4.6)

Якщо виконується умова  $F < F_T$ , то дисперсії вважаються однорідними. Відповідно до таблиці для значень  $f_1 = 2$  і  $f_2 = 8$  критерій Фішера становить  $F_T = 19,4$ , що більше розрахункового, отже, умова однорідності не виконується

Дисперсійний експеримент

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N},$$

де  $N$  – кількість дослідів;

$$S_{(y)}^2 = \frac{105109,84}{8} = 13138,73.$$

Перевірку гіпотез про адекватність моделі також проводили за допомогою критерію Фішера

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{(y)}^2},$$

де  $S_{ад}^2$  - дисперсія адекватності.

Дисперсію адекватності визначали за формулою

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2,$$

де  $f$  - число ступенів свободи, що дорівнює різниці між кількістю

експериментів і числом коефіцієнтів, розрахованих за результатами цих експериментів;  $y_i$  - розрахункова оптимізація параметрів;  $\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$  - остаточно сума квадратів.

У таблиці 4.3 наведено розрахунок кінцевої суми квадратів.

Таблиця 4.3  
Розрахунок підсумкової суми квадратів

	$U$	$\sqrt{B}$ $U_I$	%	$I_{VI-YU}$
1	661,6	605,12	56,48	3190,00
2	837,6	881,40	43,84	1921,95
3	507,4	666,12	158,72	25192,0
4	849,0	702,92	146,08	21339,3
5	483,4	527,30	43,90	1927,21
6	860,0	803,00	57,00	3249,00
7	851,8	705,72	146,08	21339,3
8	583,8	742,52	158,72	25192,0
				4
				98
				103352,

$$F = \frac{51675,48}{2} = 3,93. \quad (4.11)$$

$$S' = 103352,98 = 5167548.$$

$$p = 51675^48 = 3,93$$

(4  
.1  
1)

Для  $f_1 = 2$  та  $f_2 = 8$ ,  $P_T = 19,4$ . Оскільки  $F < F_T$ , модель адекватна (придатна).

$$V = \frac{|b_i|}{S(b_i)}$$

Значимість

коефіцієнтів визначали за критерієм Стьюдента:

(4.12)

де  $b_i$  - коефіцієнти рівнянь регресії;  $S(b_i)$  - квадратична похибка коефіцієнта рівняння регресії. Квадратичну похибку визначали за формулою

# НУБІП

$$S(b_i) = \sqrt{\frac{S(y)}{N}}; \quad (4.13)$$

$$S(b_i) = \sqrt{\frac{13138,73}{8}} = 40,52. \quad (4.14)$$

При  $N=8$  табличне значення t-критерію Стюдента дорівнює 2,306.

Коефіцієнти несуттєві за умови

# НУБІП

$$t = \frac{|b_i|}{S(b_i)} > t_{\text{таб}}. \quad (4.15)$$

В отриманому рівнянні регресії всі коефіцієнти значущі, оскільки

мінімальне значення  $t$  для коефіцієнта  $b_i$  більше значень  $t_{\text{таб}}$

# НУБІП

$$t = \frac{78,28}{40,52} = 1,93. \quad (4.16)$$

Значущість коефіцієнтів рівняння вказує на те, що на обраних

інтервалах варіаційні фактори впливають на параметр оптимізації.

У результаті аналізу встановлено, що функція є симетричною за коефіцієнтами (коефіцієнти відрізняються несуттєво), усі коефіцієнти значущі, модель адекватна. У зв'язку з цим буде вирішено продовжити пошуки оптимального режиму крутою ходьбою по схилу.

В результаті досліджень встановлено, що збільшення інтервалу між імпульсами більшою мірою призводить до зниження твердості оброблених зображень. Розрахунок зводиться до вибору кроку руху за одним із факторів і пропорційно добутку коефіцієнтів регресії на інтервали варіації розрахувати кроки за іншими факторами. У нашому випадку вибрано крок руху першого фактора - інтервал між імпульсами.

У таблиці 4.4 розрахунок крокових переміщень розрахований за коефіцієнтами.

# НУБІП України

Таблиця 4.4

Визначення кроків руху факторами

	X1	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	*4
6,3	-15	-35	-9,58	-
Шаг при змінених x\ на -	-0,1	-0,23	0,061	-0,19
Округлення	—	-0,2	-1	-1

Значення виконання дослідів з крутим підйомом по градієнту наведені

таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Реалізація дослідів

№ досліду	*1	x <sub>2</sub>	*3	X4	U (НУ)
9	0,5	2	6	6	557.4
10	0,4	1.8	5	5	788.2
11	0,3	1.6	4	4	611.6
12	0,2	1.4	3	3	543.6

Крутий підйом по градієнту дозволив отримати оптимальне значення твердості в 10 досліді. Подальше зменшення тривалості імпульсу струму і зменшення кількості імпульсів і сили струму призводить до зниження твердості. Цей контакт стався через недостатньо нагріте місце.

Дослідження щодо вибору оптимального режиму зміцнення за допомогою імпульсного електроконтактного нагріву з метою отримання оптимального значення твердості зміцнених делянок на попаті лемеша дозволили встановити наступний режим :

- сила струму — 5 кА;
- кількість імпульсів - 5;
- тривалість імпульсів 1,8 с;
- інтервал між імпульсами - 0,4 с.

#### 4.2 Температурне випробування в зоні контакту електрод - деталь

Коли деталі покриті покриттям, відбувається надмірне нагрівання, і існує ймовірність деформації деталей. На відміну від вібродугового і плазмового зварювання, зварювання за допомогою електроконтактного зварювального апарату відбувається з меншим нагріванням деталі в цілому. У нашому випадку спостерігається точкове зміцнення лопатей без добавок. Для отримання потрібних властивостей закалених плям необхідний правильний темперний режим зворотної обробки. Нагрівання металу здійснюється за рахунок виділення теплоти (за законом Джоуля Ленца) від електричного опору при проходженні через них струму. Особливістю нагріву при такому способі зміцнення є мала тривалість імпульсу струму і наявність досить високих температур.

Температура є одним з основних активуючих факторів, що впливають на зміцнення металу. Величина нагріву різних ділянок уздовж лопаті в різний час залежить від тепловиділення (інтенсивності джерела тепла) і тепловіддачі на сусідні, більш холодні ділянки, а також від тепловіддачі в навколишнє середовище. Нагрівання й охолодження зумовлені різноманітними фізико-механічними процесами в матеріалі, такими як структурні перетворення, об'ємні зміни, поява внутрішніх напружень і пластичних деформацій тощо. Ці процеси впливають на загальну якість деталей. Для визначення характеру впливу процесів необхідно детально знати розподіл температури та її зміну в часі. Досліди проводили на апараті точкового зварювання. Температуру вимірювали на поверхні зразка та на глибині в оптимальному режимі (сила струму — 5 кА; кількість імпульсів — 5; тривалість імпульсів — 1,8 с; інтервал між імпульсами — 0,4 с; тиск — 1000 МПа.

Вимірювання на поверхні зразка проводили точковою термопарою, прикріпленою до його поверхні. Потім зразок піддавали обробці. 4.1 показано зміну температури на поверхні зразка за наявності охолоджуючої рідини безпосередньо в зоні гарту. Зміна температури туру за цикл

характеризується трьома ділянками. На першому з них при проходженні імпульсу спостерігається різке підвищення температури до 1400 К. Великий градієнт температури в цій області пояснюється короткою тривалістю імпульсу струму, коли в малому об'ємі виділяється велика кількість тепла, а процеси теплопровідності за цей час не роблять великого впливу на температуру.

На другій частині кривої після закінчення імпульсу струму спостерігається різке зниження температури поверхні до 1000 К. Висока швидкість охолодження на початку цієї стадії зумовлена недостатнім нагріванням металу навколо зони нагріву, яка має високу теплопровідність, яка зменшується в міру нагрівання контактної зони. Крім того, тепло передається від поверхні деталі до охолодженого верхнього електрода, який притискається до нагрітої поверхні протягом деякого часу після проходження імпульсу струму. Третя ділянка характеризує охолодження зони нагріву.

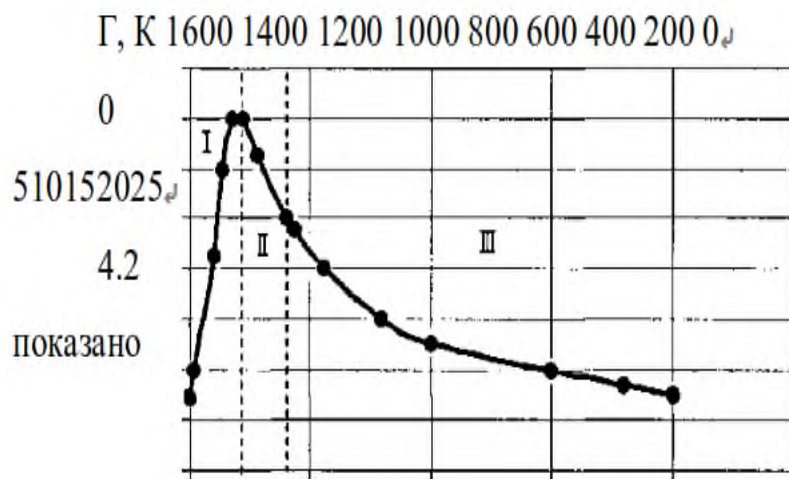


Рис. 4.1 Розподіл температури при ЕКО на поверхні зразка в зоні контакту електрод - деталь

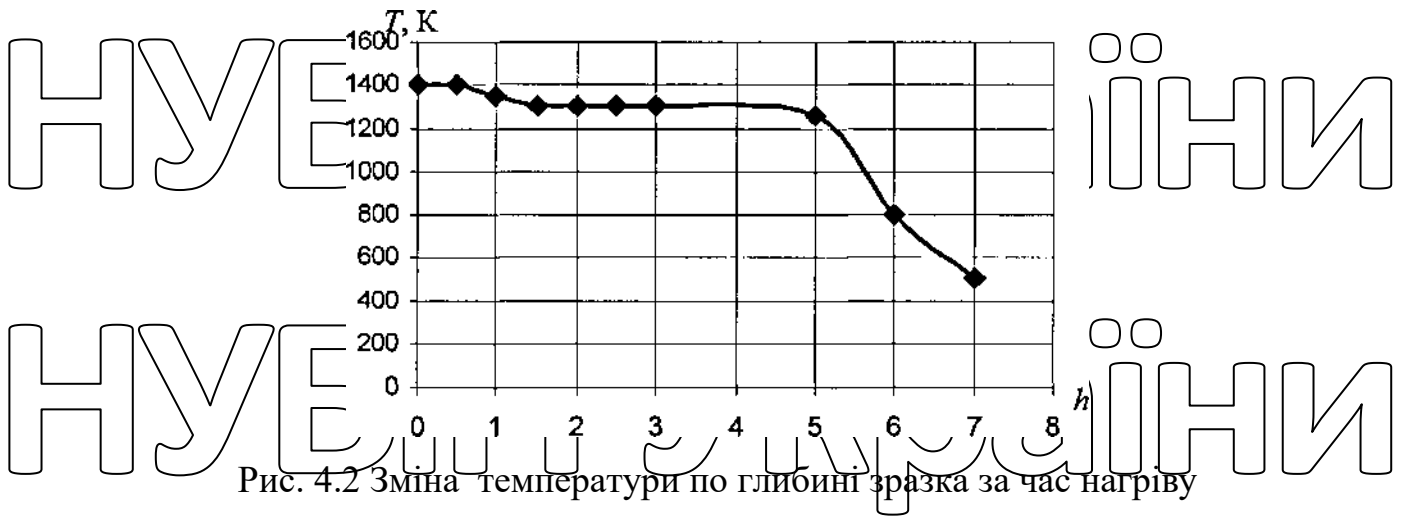


Рис. 4.2 Зміна температури по глибині зразка за час нагріву

При по глибині зразка в охолоджувальному середовищі під час нагрівання. З малюнка випливає, що значення температури на поверхні і на глибині до 5 мм приблизно однакові. Як показали дослідження, глибина прогріву залежить від часу імпульсу і сили струму. Чим довший час протікання струму, тим більший нагрів по глибині

## РОЗДІЛ 5 СТЕНДОВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ

### 5.2 Дослідження впливу швидкості на зношування в абразивному середовищі

Для визначення впливу швидкості на знос стандартних та дослідних – лемешів проводили порівняльні випробування зразків в однакових умовах.

Швидкість переміщення контрольованих точок змінювалася від 64,09 до 29,28 м/хв в залежності від діаметрів, на яких вони розташовувалися (через 15 мм). Тестові режими вибиралися експериментально. На зразку проводили вимірювання зносу при шести значеннях швидкості і при чотирьох значеннях ширини зразка через кожні 5 мм (мал. 5.1, лінії *a* – *г*).

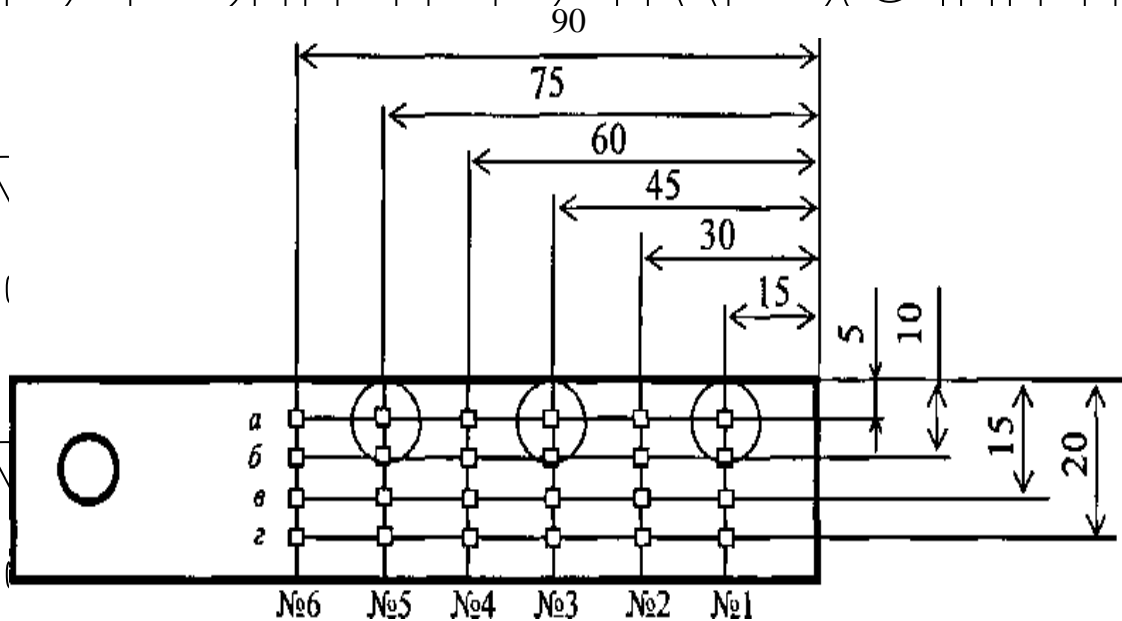


Рис. 5.1 Схема расположения точек для замеров износа образца

Відстані між двома лініями №1 - №3 і №3 - №5 відповідали відстані між двома лініями за винятком невідомих точок.

Результати вимірювань через 10,5 годин випробувань заносять у таблицю 5.1.

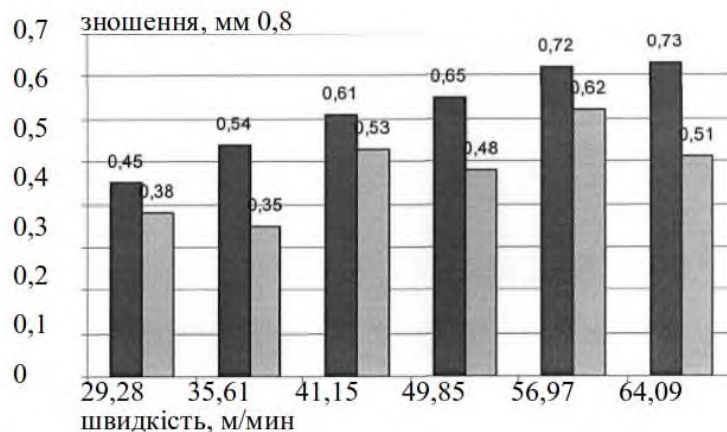
З таблиці випливає, що знос по товщині експериментального леза по лінії *a* (найближчої до різальної кромки) значно менше, ніж по аналоговій лінії на зображенні, що відповідає стандартному лезу, наведено графіки

зміни зносу від швидкості по ліній *a* — *г* (на різних значеннях товщини зразків) стандартних і дослідних лопатей.

Таблиця 5.1

Лезо, лінії		Значення зносу в мм на швидкості					
		64,7	56,7	49,6	41,6	35,5	29,4
Стандартне		0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4
		0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4
		0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
		0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Експериментальний		0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3
		0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
		0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
		0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

За результатами експерименту видно, що зношування відбувається більш інтенсивно на ліній, найближчих до різальної кромки, як у стандартних, так і в дослідних зразках. Характеристики зношування зразків стандартного леза приблизно однакові по всій ширині зразка, відмінність лише в розмірі. Це пояснюється тим, що твердість стандартного леза постійна по всій ширині. Великі значення зносу навколо ріжучої кромки є результатом дії ущільненої абразивної маси.



■ стандартне лезо □ експериментальне лезо

Рис. 5.2 Зміна зносу по ліній *a* в залежності від швидкості руху

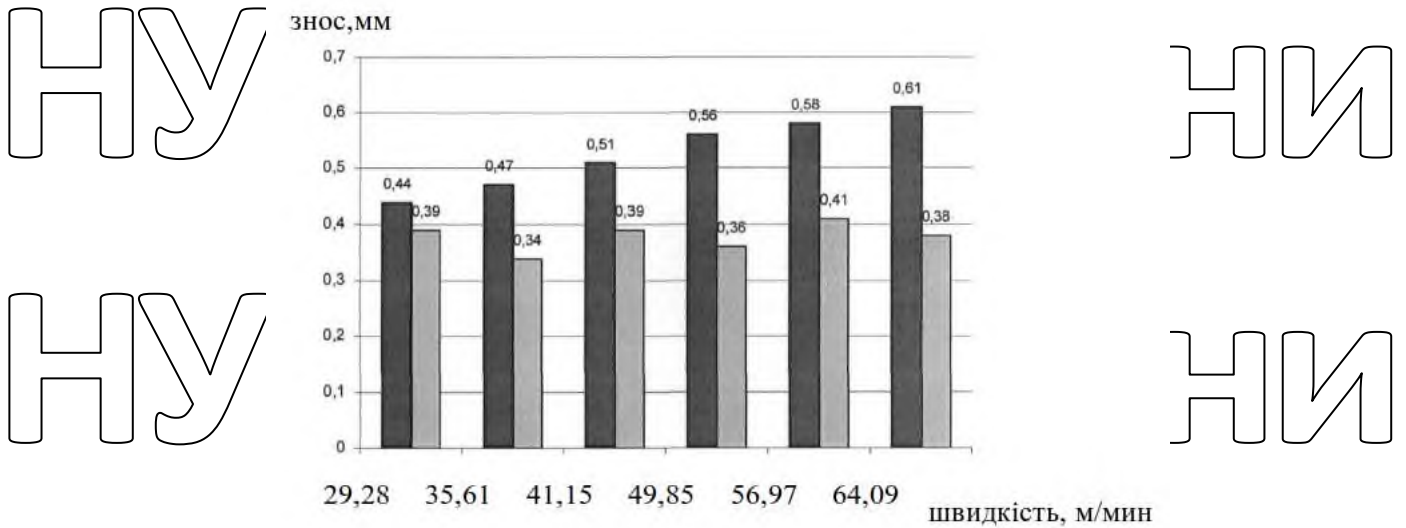


Рис. 5.3 Зміна зносу по лінії  $b$  в залежності від швидкості руху

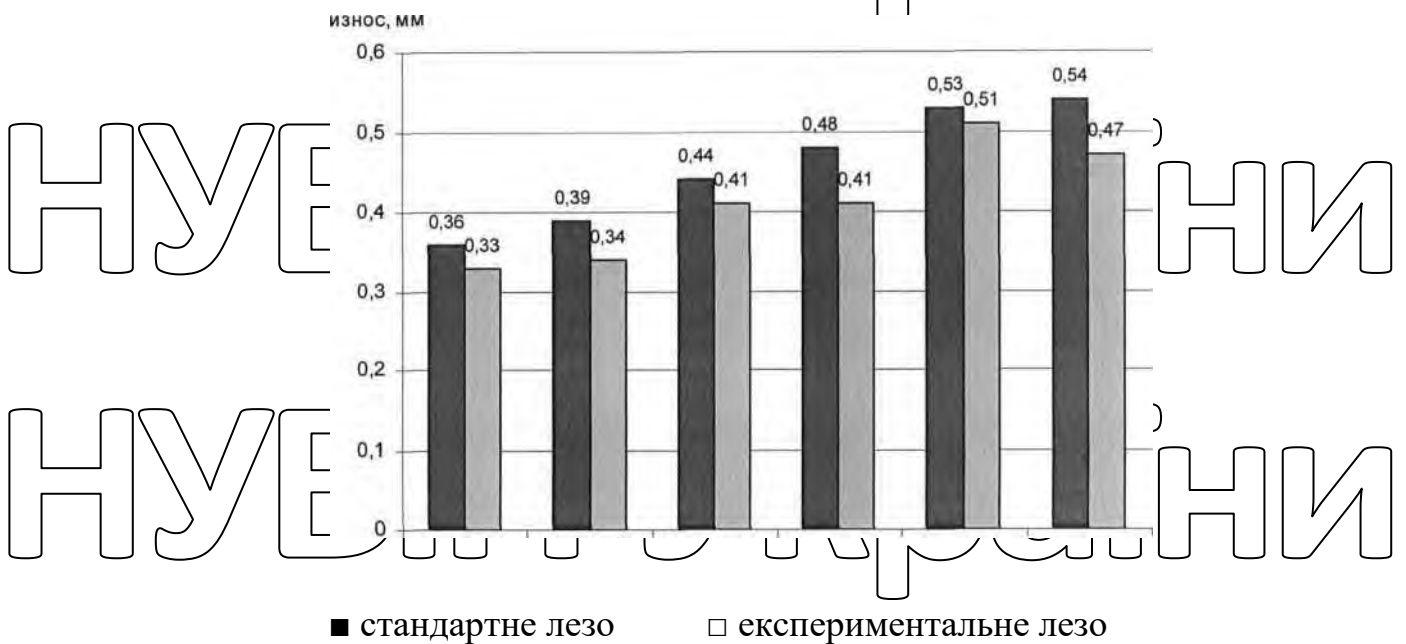


Рис. 5.4 Зміна зносу по лінії  $b$  в залежності від швидкості руху

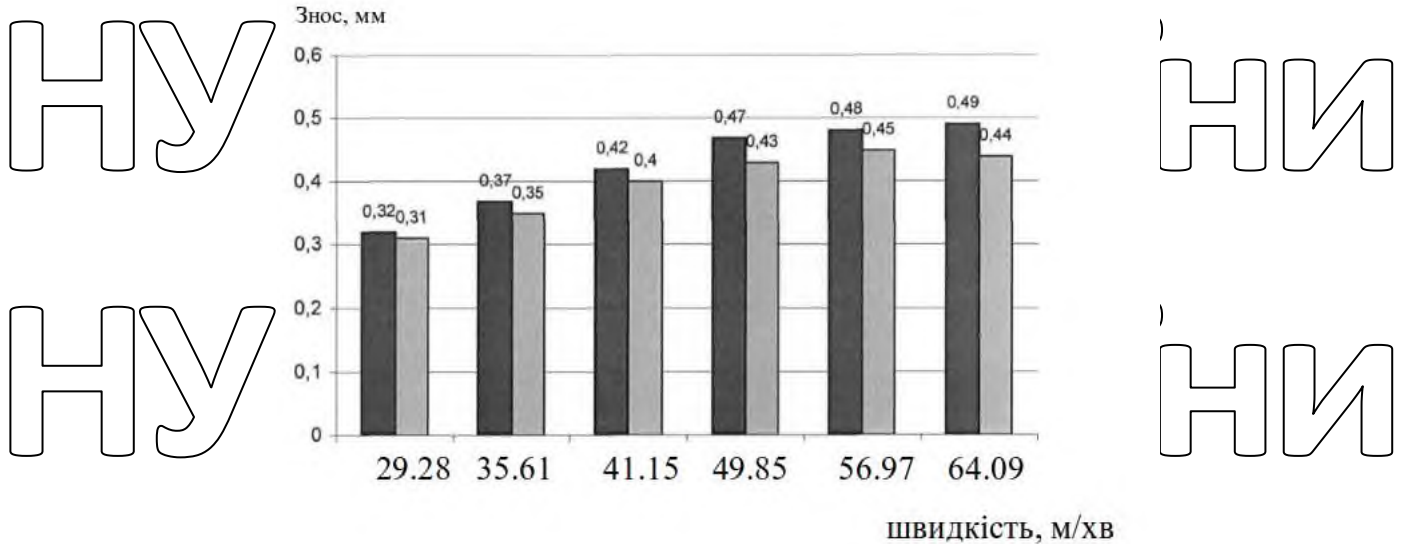


Рис. 5.5 Зміна зносу по лінії  $z$  в залежності від швидкості руху

Знос експериментальних лез пояснюється різницею в товщині та довжині леза. Як видно з графіків, зношення на лініях №1, 3, 5 менше, ніж на решті ліній, оскільки твердість укріплених місць вища, ніж на неармованих ділянках. При знятті калібрів з ріжучої кромки нерівномірність зносу по довжині зменшується, а на лінії  $g$  характер кривих стає таким же, оскільки лінія розташована на підкріплених плямах. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що за однакових умов роботи плуг з дослідним відвалом буде збільшувати роботу до досягнення граничного стану.

#### 1.1 Дослідження впливу твердості на зносоустійкість Сталі L53

Одним із основоположних положень теорії абразивного зношування при ковзальній взаємодії твердих частинок і поверхні тертя є залежність інтенсивності зношування досліджуваного матеріалу від співвідношення твердості цього матеріалу  $H_m$  і твердості матеріалу, що досліджується абразивний  $H_a$ . Дане співвідношення називається критерієм твердості  $K^*$ .

$$K^* = \frac{H_m}{H_a}$$

(4.1)

У роботі показано, що для металевих матеріалів зі значеннями  $K^* > 0,6$  інтенсивність зношування нелінійно зменшується зі зростанням твердості

матеріалу. При значеннях  $K_m > 0,8-1,0$  інтенсивність зношування стає мінімальною.

При виробуванні на знос абразивні зерна, захоплені обертовим диском, проштовхують між ним і плоскою поверхнею досліджуваного зразка, протираючи на останньому циліндричний отвір (мал.5.6).

Використовуємо два методи визначення показника зносу зразка: ваговий і лінійний.

При лінійному методі вимірюють параметри затертого отвору і відповідно розраховують об'єм.

Зазначимо розміри лунки:  $l$  - довжина, мм;  $b$  - ширина, мм;  $k$  - найбільша глибина, мм;  $r$  - радіус диска, мм;  $V$  - об'єм, мм<sup>3</sup>.

Для лунок, у яких довжина мала порівняно з радіусом. Об'єм можна вираховувати за формулою

$$v = \frac{2}{3} b \cdot h \cdot l, \text{ мм}^3. \quad (5.2.)$$

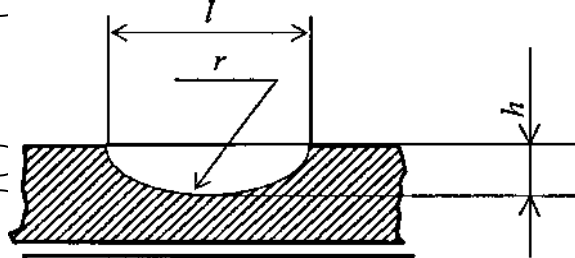


Рис. 5.6 Параметри витираємої ямки

Глибина визначається за формулою

$$v = b \cdot \frac{l^3}{12r}. \quad (5.3)$$

Підставивши вираз (5.3) у формулу (5.2), отримаємо остаточний вираз

для визначення об'єму отвору:

$$v = b \cdot \frac{l^3}{12r}. \quad (5.4)$$

Результати досліджень наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 4.2

Вид зразка	Твердість НВ	Інтенсивність виявлення $E_v$ , мг/хв	Інтенсивність зношування, $\text{мм}^3/\text{хв}$
1. Сталь 65Г	404	7.48	0,78
2. Сталь Л53 у вихідне положення	352	7,96	0,820
3. Сталь Л53 зміцнена ЕКО	766	5.71	0,588
4. Сталь Л53 термооброблена	551-514	5.76	0,620

Випробування, проведені на приладі ІМ-01, показали, що у вихідному стані сталь Л53 і сталь 65Г мають приблизно однакову зносостійкість. Зносостійкість сталі Л53 точково зміцнена із застосуванням імпульсного електроконтактного нагріву на 28%. Це пояснюється тим, що ці зразки мають більшу твердість, ніж необроблені. 5.7 наведено інтенсивність зношування досліджуваних зразків. Загальний вигляд фрези після випробувань представлений на малюнку 5.8.

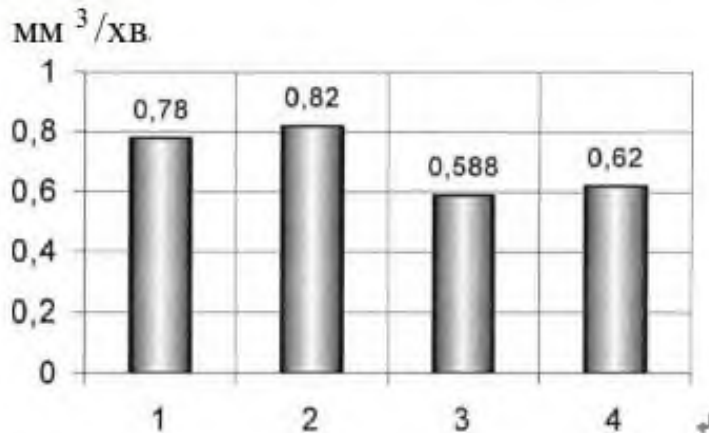


Рис. 5.7. Інтенсивність зношування зразків

Аналізуючи графіки, можна зробити такі висновки.

1 Найнижчу зносостійкість має сталь Л53 у вихідному стані, оскільки вона має найменшу твердість;

2 Інтенсивність зношування точково зміцнених зразків зі сталі Л53 приблизно дорівнює інтенсивності зношування зразків з тієї ж сталі, але обробленою термічно до твердості 50...52 H11C. Це можна пояснити тим, що різниця в твердості цих зразків незначна;

3 Для більш точного контролю зносу використовувалися два методи : лінійний і ваговий. Дослідження показали, що похибка не перевищує 5%.

### 5.3 Дослідження впливу вологості на інтенсивність зношування зразків зі сталі Л53

Інтенсивність зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин залежить від фізико-механічних властивостей ґрунтів – липкості, твердості, опору зсуву, коефіцієнтів тертя тощо.

При великих частинках ґрунту та низькій вологості інтенсивність зношування зменшується внаслідок сили розтягування адсорбційного шару навколо контактної зони та знижується міцність абразивних частинок, що

сприяє поломці та сколу гострого краю абразиву. При вологості 6-12%

зниження твердості і міцності металу більш виражене, ніж зниження міцності абразивних частинок. Ґрунт завжди містить невеликий відсоток кислот і солей (кухонна сіль, хлористі солі кальцію, магнію, фосфати та ін.), які,

розчиняючись у воді, значно підвищують активність адсорбційного середовища і полегшують процес диспергування матеріалу. Цим можна

пояснити підвищення інтенсивності зношування в умовах піщаних і супіщаних ґрунтів з вологістю 10-12%.

У глинистих ґрунтах волога відіграє роль мастила на поверхні тертя.

Якщо врахувати, що зношування тут являє собою процес, при якому відбувається руйнування і зношування матеріалу, що утворює зв'язок тертя, внаслідок його повторного порушення, то можна зробити висновок, що зі збільшенням твердості ґрунту сили фракційних зв'язків зменшуються, між собою, як наслідок зменшується об'єм найдрібнішого зносу металу з поверхні тертя. Це можна пояснити поступовою зміною характеру експериментальних кривих залежності зношування від вологості зі зміною їх механічного складу. Результати дослідження представлені на малюнку 5.8.

$U_{\text{г}}$ , мг/хв

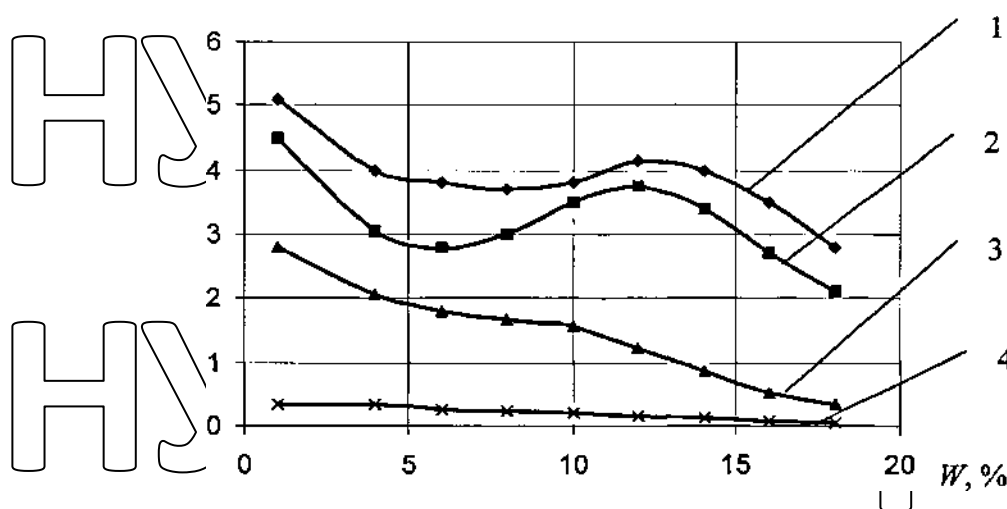


Рис. 5.8 Залежність інтенсивності зношування зразків зі сталі Л53 від

вологості ґрунтів: 1 — піщаний; 2 — суглинистий;  
3 — легкий ґрунт; 4 — глинистий

Зі збільшенням вологості збільшується зчеплення частинок ґрунту, що призводить до збільшення швидкості відносного ковзання та інтенсивності зношування. Подальше збільшення вологи зменшує зчеплення частинок внаслідок зменшення поверхневого натягнення і припинення впливу колоїдів, коли пори заповнюються водою, ґрунт починає сприймати прикладене до зразка навантаження. Таким чином, волога абразивна маса може істотно змінити процес зношування, оскільки волога і розчинені в ній речовини є активним адсорбційним середовищем. Остання в процесі зношування впливає на міцність як абразивних частинок, так і металів.

## 5.4. Експлуатаційні випробування лемешів, зміцнених імпульсним нагріванням

Лемеші встановлюють по відношенню до дна борозен під кутом близько  $30^\circ$  до переднього краю і по відношенню до осі руху плуга під кутом  $40^\circ$ . Установка лемешів багато в чому визначає характер процесу зношування, а також є причиною підвищених навантажень на носову частину лемеша. Зносостійкість зміцнених електроконтактною обробкою лопастей лемешів проводили на суглинистих, супіщаних, середньосуглинистих ґрунтах вологістю 10-15% і твердістю 0,8-1,2 МПа (Агрофірма "Зелена Долина" Тульчинського району). Зміцнення проводилося з тильної сторони лемеша по ширині вказано на малюнку 5.11.

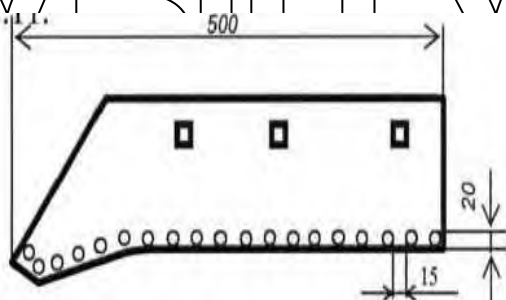


Рис. 5.9 Схема зміцнення лемеша.

На лезі загартовані точки не на краю; леза, а на відстані 10 мм від ріжучої кромки, а при зношуванні лемеша відбувається своєрідне самонарізування через те, що твердість вістря вище твердості основи (рис. 5.10).

а)

б)

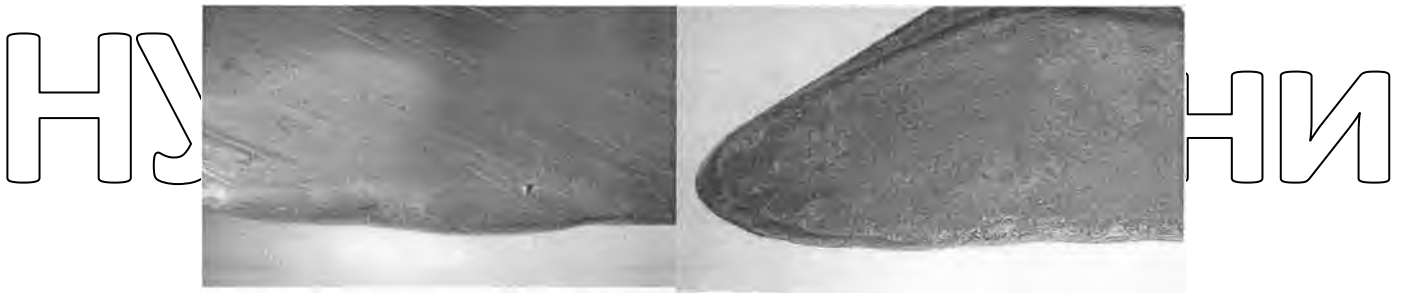


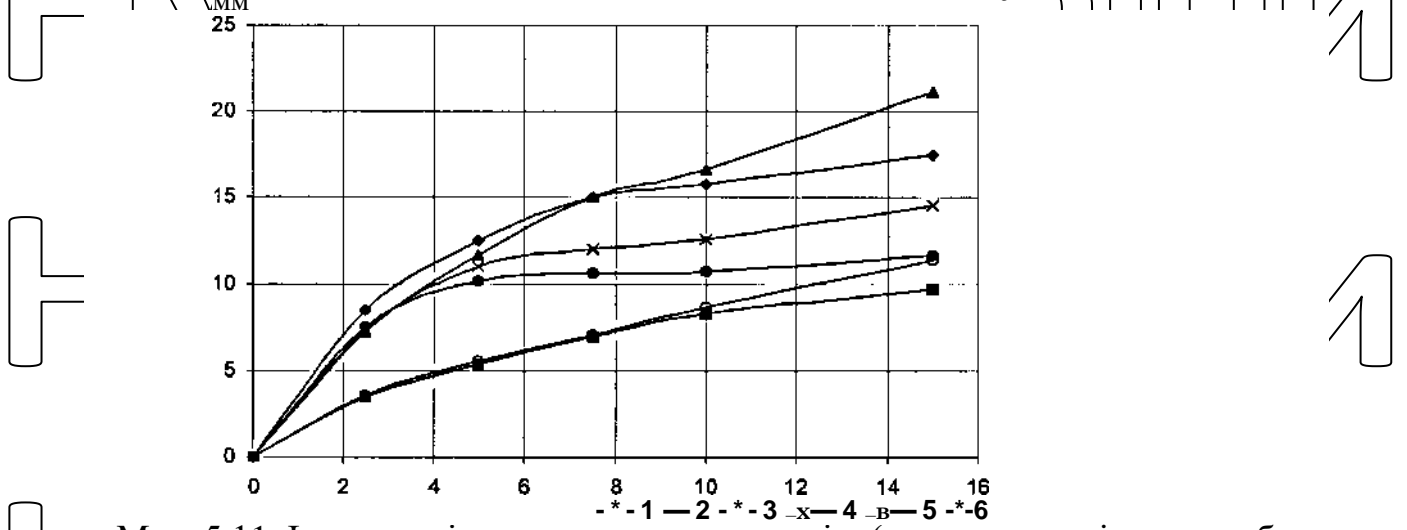
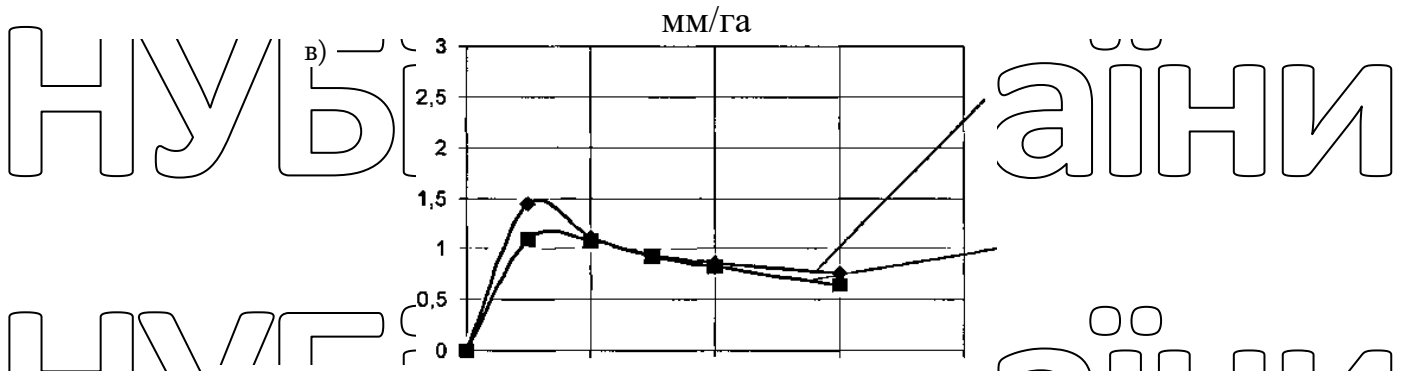
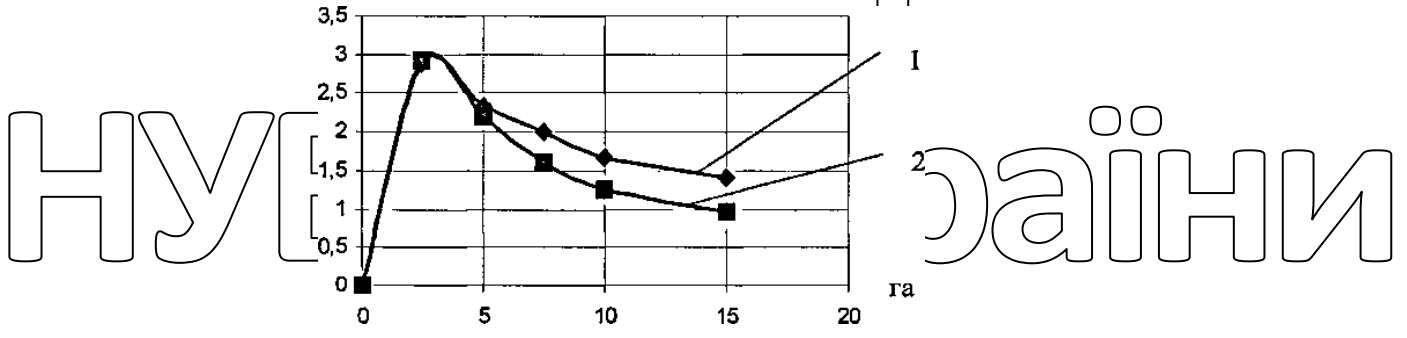
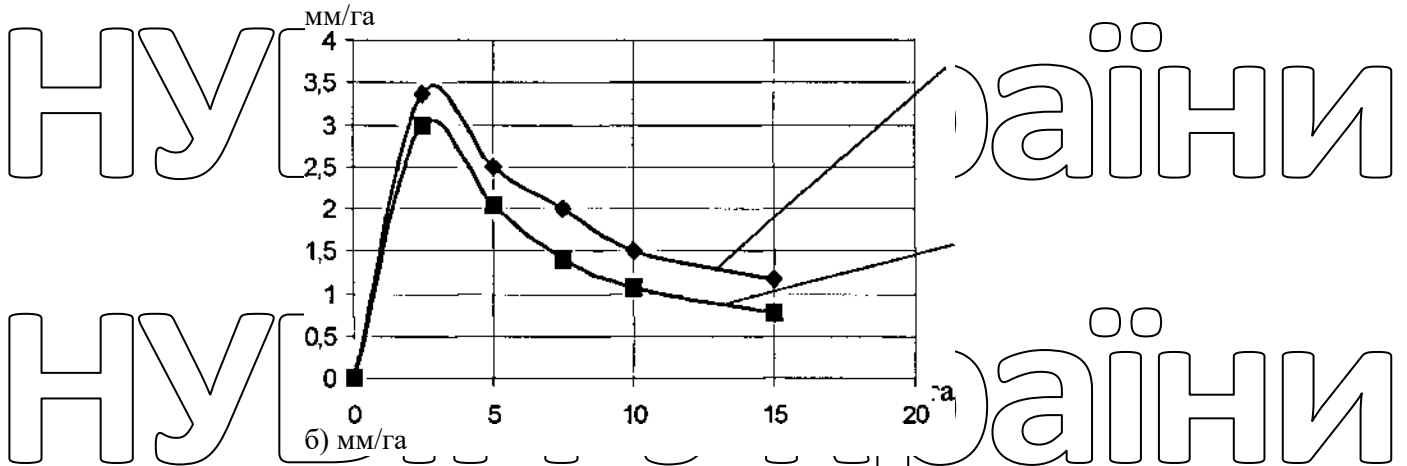
Рис. 5.10 Середина леза (а) носок (б) після наробітки 6 га

Значення інтенсивності зносу середини відвала і носка стандартного і дослідного лемешів представлені в таблиці 2 додатку 2.

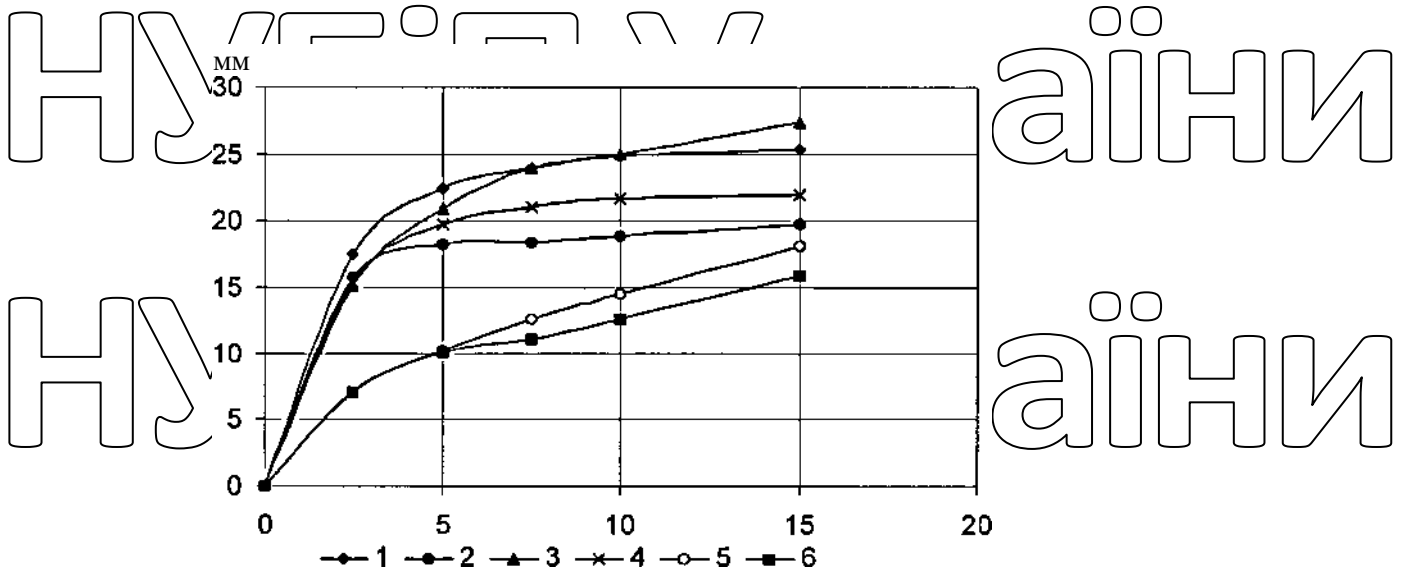
Виходячи з отриманих даних, на піщаних ґрунтах, що містять до 70 % частинок кварцу, а також достатньо велику кількість кам'янистих включень (розмір часток  $> 3$  мм), інтенсивність зношування вдвічі перевищує інтенсивність знос на середньосуглинкових ґрунтах. 5.13 наведено криві інтенсивності зношування стандартного та дослідного лемешів, отримані дослідним шляхом.

Як видно з графіків, характер кривих приблизно однаковий при використанні передплужників на всіх типах ґрунтів. У початковий період експлуатації інтенсивність зношування досить висока, а потім поступово зменшується. Появляється це, ймовірно, тим, що спочатку клинок має дуже велику товщину і, відповідно, високу швидкість зношування. Інтенсивність зношування в дослідних плугах з малою ручкою така ж, як і в стандартних. При зносі лопатей близько 10 мм дослідні лемеші демонструють зниження зносу в 1,2-1,5 рази. Так, при наробітку 10 га зношення складає: для стандартного лемеша на суглинках — 15,83 мм, а для експериментального — 0,7 мм; на піщаному ґрунті знос стандартного лемеша 16,67 мм, дослідного 12,6 мм; На середньосуглинковому ґрунті стандартний леміш зношується на 8,61 мм, а дослідний — на 8,3 мм (рис.

5.11). Інтенсивність зношування леза лопаті має таку ж закономірність, як і середина лопаті (мал. 5.11 б).



Мал. 5.11. Інтенсивність зношування лемішів: (а – суглинисті ґрунти, б – піщані ґрунти, в – середньосуглинністі ґрунти): 1 – стандартний леміш; 2 – експериментальний леміш



6)  
 1,2 — стандартний і дослідний леміш на суглинистому ґрунті;  
 3,4 — стандартний і дослідний леміш на піщаному ґрунті; 5,6 —  
 стандартний і дослідний леміш на середньосуглинковому ґрунті

Рис. 5.12 Зміна лінійного зносу лемешів при роботі на різних ґрунтах:

На рис. 5.15 зображено графік середньої інтенсивності оранки лемешем на різних ґрунтах. На основі аналізу з графіка видно, що на суглинистих ґрунтах інтенсивність зношування стандартних лемешів на 17,4 % вища за дослідні, на суглинистих ґрунтах різниця в інтенсивності зношування становить 13,1 %. На середньосуглинистих ґрунтах інтенсивність зношування лопаті вдвічі менша, ніж на піщаних, і різниця в інтенсивності становить 9,8 %.

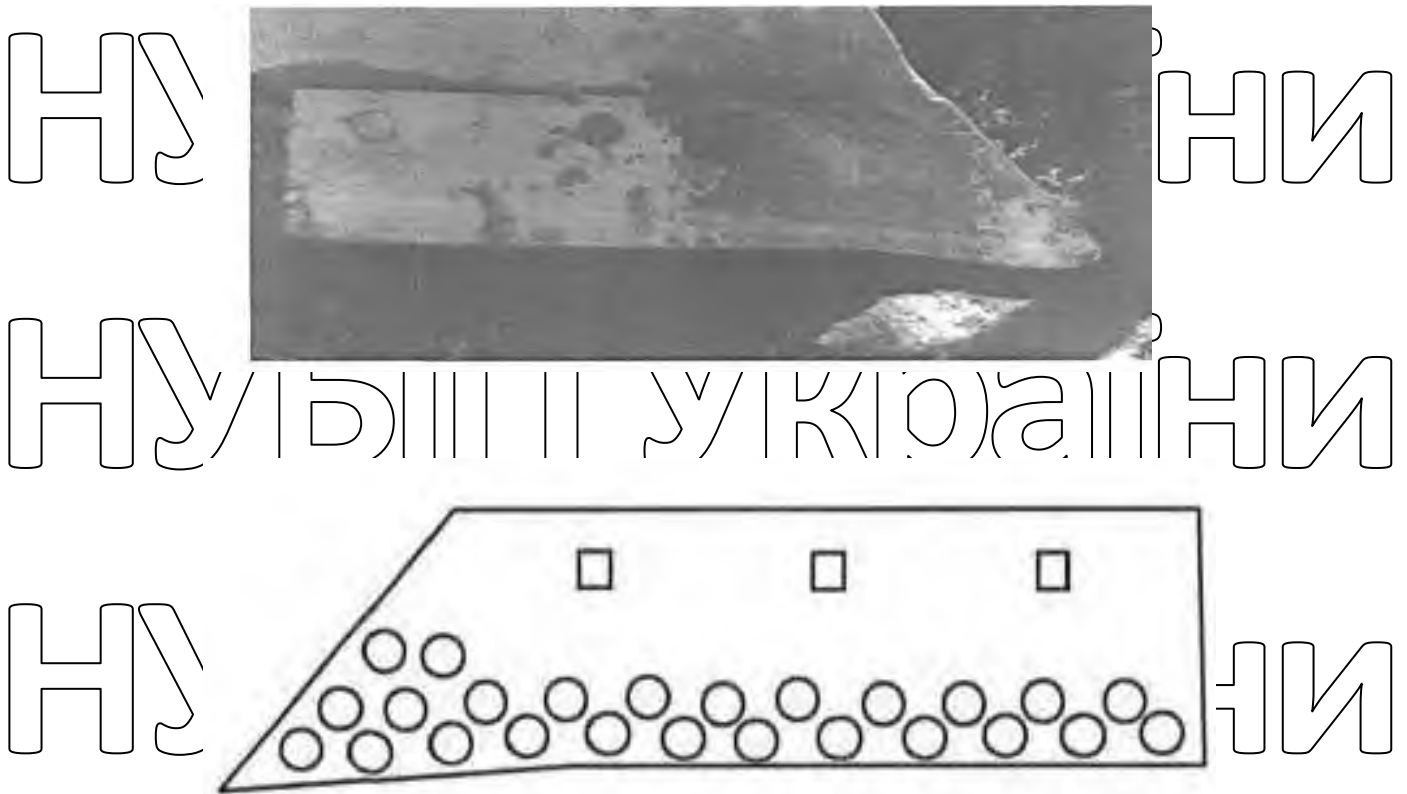


Рис. 5.13. Рекомендована схема зміцнення з тильної сторони в шахматном порядку

На пальцях затверділі плями починають працювати набагато раніше, це відбувається на 2-2,5 га. Профіль відвала набуває зубчастої форми, що покращує експлуатаційні характеристики плуга в цілому. На малюнку 5.16 показано леміш після освоєння 5-га, на лопаті якого спостерігається поява укріплених зон і початок формування зубчастого профілю. На піщаному ґрунті на грані з лемешем по лінії руху з'явилася глибока борозна. У зв'язку з цим на лицьовій стороні носка рекомендується виконувати посилення за схемою, наведеною на рис. 5.17. Для збільшення терміну служби лемеша посилені точки рекомендується розташовувати в шаховому порядку. Оскільки носок лемеша зношується швидше, ніж середина відвала, посилені точки повинні розташовуватися по всій площі носка (мал. 5.18).

Проведений якісний аналіз показує, що для різних ґрунтів можна створити необхідні технологічні властивості армованих кромки шляхом

зміни значень твердості та відстані між точками.

#### Висновки

1 Інтенсивність зносу носка лемеша вище середини відвала, тому посилення носка рекомендується проводити з двох сторін відвала - з тильного боку для забезпечення самонарізування і з переднього боку.

обертати канавки в напрямку плуга;

2 За результатами випробувань інтенсивність зношування стандартних лемешів вища за дослідні в 1,15-1,2 рази;

3 Профіль дослідного відвала набуває зубчастої форми, що покращує загальні експлуатаційні характеристики плуга;

4 Для підвищення довговічності лемеша рекомендується розташовувати точки посилення на тильній стороні в шаховому порядку.

Границя другого ряду точок повинна відповідати максимальному розміру лемеша.

Технологія зміцнення із застосуванням імпульсного електроконтактного нагріву включає дві основні операції: механічну та термічну.

Слюсарна операція передбачає підготовку лемешів до подальшого зміцнення. Підготовка полягає в очищенні призначених для зміцнення поверхонь від накипу. Це необхідно для забезпечення найкращого електричного контакту деталей і електродів під час обробки. Очищення проводиться електродрилем з абразивною голівкою з зернистістю 25 мкм.

Операція вважається закінченою, якщо на передній і задній сторонах лемеша в зоні зміцнення відсутні сліди залишків.

Теплова операція виконується на апараті контактної зварювання МТ-2827 спеціальними електродами, які забезпечують контакт із поверхнею клина лемеша. Верхній електрод виготовлений з бронзи БрХ з діаметром робочої частини 15 мм, нижній – з міді з опорною поверхнею.

Армування виконано з тильної сторони лемеша по всій довжині відвала ділянками діаметром 15 мм, відстань між секціями 15 мм. Для

підвищення робоздатності носка лемеша виконується його укріплення з  
лицьової сторони. В якості охолоджувальної рідини використовується вода,  
яка подається безпосередньо в зону нагріву деталі.

Розроблено маршрут, оперативні карти та ескізні карти (Додаток 3).

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

# НУБІП України

1. У процесі експлуатації роботи органи плуга інтенсивно зношуються.

Основною причиною такого зносу є те, що твердість частинок ґрунту перевищує твердість матеріалів, які використовуються для виготовлення та зміцнення робочих органів. Збільшення термінів служби робочих органів

# НУБІП України

сільсько-господарських машин сприяє підвищення зносостійкості лез з забезпеченням самозаточування шляхом зміцнення різними сплавами і

термообробкою

# НУБІП України

2. Теоретично обґрунтовано можливість отримання самозаточувального лемеша в результаті точкового зміцнення леза за допомогою імпульсного електроконтактного нагріву та формування зубчастого профілю в процесі експлуатації ;

3. На суглинкових ґрунтах інтенсивність зношування стандартних лопатей на 17,41 % вища, ніж на дослідних, на піщаних – на 13,11 % на середньосуглинкових – на 9,8 %. Найбільш ефективно використання сезонних передплужників на суглинкових і супіщаних ґрунтах;

# НУБІП України

4. Експлуатаційні випробування показали, що при зношуванні лемеша

# НУБІП України

відбувається самозаточення за рахунок різниці твердості ділянок леза та утворення зубчастого профілю. Дослідження зносу експериментальних лемешів підтвердили теоретичні припущення про можливість створення

ефекту самозаточування на однорідному лемеші за допомогою точкового електроконтактного нагрівання леза.

# НУБІП України

# НУБІП України

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Amaya-Toral, R.M., Piña-Monarez, M.R., Reyes-Martínez, R.M., de la Riva-Rodríguez, J., Poblano-Ojinaga, E.R., Sánchez-Leal, J., & Arredondo-Soto, K.C. (2022). Human-machine systems reliability: A series-parallel approach for evaluation and improvement in the field of machine tools. *Applied Sciences*, 12(3), article number 1681. [doi: 10.3390/app12031681](https://doi.org/10.3390/app12031681).
2. Leangsuksun, C., Song, H., & Shen, L. (2003). [Reliability modeling using UML](#). In *Proceedings of the international conference on software engineering research and practice* (pp. 259-262). Las Vegas, USA.
3. Li, L., Wang, D., & Jiang, Z. (2017). [Comparison of detection methods for mixing uniformity of rotary total mixed rations mixer](#). *Journal of Gansu Agricultural University*, 52(3). 136-139.
4. Lo, H.-W., Liou, J.J.H., Huang, C.-N., & Chuang, Y.-C. (2019). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 183, 173-183. [doi: 10.1016/j.res.2018.11.018](https://doi.org/10.1016/j.res.2018.11.018).
5. Бойко А. І., Новицький А. В., Банний О. О. Оцінка надійності системи «людина-машина» в умовах зниження рівня її працездатності й удосконаленні складової «людина-оператор». Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. Вип. 43. Ч. II. 2013. С. 32 – 38.
6. Бойко А. І., Новицький А. В., Банний О. О. Оцінка ризиків виникнення відмов складної техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2012. Вип. 122. С. 241–249.
7. Бойко А. І., Новицький А. В., Карабиньош С. С. та інші. Аналіз та синтез наукових досліджень спрямованих на забезпечення надійності машин, як систем «людина – машина – середовище». Вісник Львівського

національного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. Дубляни. 2012. Том 15. С. 125–131.

8. Войтюк Д. Г., Гаврилук Г. Р. Сільськогосподарські машини., К.: Урожай, 1994, 241с.

9. Вплив способів заточування та зміцнення леза на довговічність ґрунтообробних знарядь [Текст] / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко, О. В. Блезнюк, О. М. Волковський // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2018. - № 14. - С. 15-24. - Бібліогр.: с. 21-22.

10. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол, В.Ю. Черкун К., Урожай. 1998. 208 с.

11. Динаміка зношування криволінійного леза оснащеного локальним зміцненням [Текст] / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка : присвяч. 85-річчю ун-ту. - Харків : ФОН Томеко Ю. І., 2015. - Вип. 159: Техніч. сервіс машин для рослинництва. - С. 159-163.

12. Каденко, В. С. Аналіз методів підвищення довговічності ґрунтообробних робочих органів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка 145 (2014): 144-148.

13. Новицький А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 236–244.

14. Новицький А. В., Банний О. О. Статистичний аналіз функціонування ремонтної служби України. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 12. No 2. P. 39–47.

15. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської

техніки. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, Ukraine. 2021. Vol. 12. No 4. P. 39–46.

16. Новицький А. В., Ружило З. В. Логіко-імовірнісна модель дослідження надійності складної техніки. Вісник Вінницького національного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 11. Т. 2 (66), Вінниця. 2012. С. 33–37.

17. Новицький А. В., Ружило З. В. Модель дослідження надійності системи «людина-машина-середовище (РОБ)». Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 361–368.

18. Новицький А. В., Ружило З. В., Новицька О. А. Методичні підходи оцінки надійності людини-оператора, як складової системи «людина – машина – середовище». Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. Вип. 133. 2013. С. 243–248.

19. Новицький А. В., Ружило З. В., Стулак В. В. Надійність оператора, як складової системи «Людина – Машина – Середовище». Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. Вип. 122. 2012. С. 241–249.

20. Новицький А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК, 2018. Випуск 282, С. 236–244.

21. Новицький А. В., Перегелиця Д. Ю. Аналіз способів підвищення довговічності полиці плуга. Матеріали III Міжнародної наукової інтернет-конференції. «Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і

практика. Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice», 20–22 жовтня 2021 р. НУБІПУ. Київ. 2021. С. 318–319.

22. Патент на корисну модель України 119949 МПК C21D 1/25 (2006.01), C21D 9/573 (2006.01), C21D 9/38 (2006.01). Спосіб термомеханічної обробки сталі 50ХГА. Котречко О. О., Котречко С. О., Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. u201705734, заявлено від 09.06.2017; опубліковано 10.10.2017, Бюлетень №19/2017.

23. Патент на корисну модель України 121471 МПК C21D 1/56. № [c21d 1/56](#). Спосіб термічної обробки сталених деталей. Котречко А. А., Ружи́ло З. В., Новицький А. В., Похиленко Г. М., Новицький Ю. А. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. u201705365, заявлено від 31.05.2017; опубліковано [11.12.2017](#), Бюлетень №23/2017.

24. Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Кваліметрія: навчальний посібник. Київ : Прінтеко, 2022. 201 с.

25. Ремонт машин і обладнання : підручник / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло та ін.; за ред. проф. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. – К.: Аграр Медіа Груп, 2014. – 632 с.

26. Ружи́ло З. В., Новицький А. В., Крамар А. Є. Формування інженерних заходів державного регулювання сільськогосподарського виробництва. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Вип. 185. Ч. 3. С. 338–346.

27. Ружи́ло З.В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту / З. В. Ружи́ло, А. В. Новицький // Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів», - Харків, 2016, Вип. 2 – С. 223 – 231.

28. Сідашенко О.І. Ремонт машин і обладнання: підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Аграр Медіа Груп, 2018. 632 с.

29. Стендові випробування різальних елементів з криволінійним профілем та локальним зміцненням леза [Текст] / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко, О. В. Блезнюк, С. П. Сорокін // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків : ХНТУСГ, 2019. - Вип. 205: Проблеми надійності машин. - С. 173-184.

30. Сучасні напрямки забезпечення надійності ґрунтообробної техніки [Текст] / О. В. Козаченко, О. М. Шкрегаль, В. С. Каденко, О. М. Сівірін // Проблеми надійності машин : збірник матеріалів XVII Міжнар. наук.-метод. конф., присвяченої пам'яті академіка В. Я. Аніловича, 12-13 листоп. 2019 р., м. Харків. - Харків : ХНТУСГ, 2019. - С. 46-47.

31. Новицький А.В., Стоян О.В., Волян В.Г. Забезпечення працездатності сільськогосподарських машин Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження Крамарова В.С. (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 137-138.

32. Теорія технічних систем / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2017. 291 с.

33. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І., Тіхонов О.І., Лузан С.О. та інші. Навч. Посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.

34. Технічний сервіс мехатронних систем: навчально-методичний посібник до самостійної роботи / А.М. Бондар, Д.П. Журавель, О.Ю. Новик, К.Г. Петренко., О.В. В'юнник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 140 с.

35. Черновол М.І. Відновлення і зміцнення деталей машин за допомогою нових зносостійких матеріалів. М.: АгроНІТЕШТО, 1990. 64 с.