

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту

“__” _____ 2025р.

Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)

В.В. Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)

магістр

(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Підвищення ресурсу відновлених робочих органів
машин для обробітку ґрунту»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Зайченко О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД, МЕТА І ЦІЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1. Огляд конструктивних та технологічних особливостей лемешів плугів.....	7
1.2. Аналіз методів збільшення терміну служби плужних лемешів.	14
1.3. Висновки за розділом.....	19
 РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА РЕСУРСУ ВІДНОВЛЕНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ СУЦІЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	20
2.1. Аналіз процесу зношування лемешів плугів на ґрунтах із різною абразивністю.	20
2.2. Аналіз технології електроконтактної обробки лемешів плугів.....	26
2.3. Методика проведення порівняльних досліджень матеріалів щодо зносостійкості.	31
2.4. Аналіз особливостей та масштабів зношування лемешів плугів з урахуванням експлуатаційних умов.....	34
2.5. Основні елементи лемешів плугів при відновленні та їх технічні характеристики.	35
2.6. Ефективність плужних лемешів, зміцнених різними промисловими методами, оцінених в умовах лабораторних та польових випробувань.	37
2.7. Висновки за розділом.....	40
 РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	41
3.1. Забезпечення безпечних умов праці та реалізація заходів охорони праці в господарстві.	41
3.3. Висновки по розділу.	44
 РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
4.1. Комплексна оцінка економічної ефективності процесів відновлення та зміцнення лемешів плугів з урахуванням експлуатаційних факторів.....	45
4.2 Висновки за розділом.....	56
 ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт О.А. Зайченка (Уманський національний університет, 2025) присвячений підвищенню терміну служби відновлених робочих елементів машин для безперервної обробки ґрунту (60 сторінок, 4 розділи, 19 рисунків, 9 таблиць, 15 джерел).

В роботі розглядаються технології відновлення та підвищення міцності лемешів плугів з урахуванням умов їх експлуатації. Досліджено процес зміцнення робочих деталей машин для суцільного обробітку ґрунту шляхом формування зносостійких поверхневих шарів.

Метою дослідження є збільшення терміну служби робочих елементів машин для безперервної обробки ґрунту через розробку технологій їх відновлення та зміцнення, адаптованих до умов використання на ґрунтах з різним ступенем абразивності.

Об'єктом дослідження є процес зміцнення робочих деталей машин для суцільного обробітку ґрунту за допомогою створення стійких до зношування поверхневих шарів.

Предметом дослідження є залежності між зміною конструкційних характеристик робочих елементів машин для суцільного обробітку ґрунту після їх локального зміцнення та параметрами і режимами зміцнення, враховуючи умови експлуатації на ґрунтах з різною абразивністю.

Ключові слова: ВІДНОВЛЕННЯ, ЗМІЦНЕННЯ, ТЕРМІН СЛУЖБИ, РОБОЧІ ЕЛЕМЕНТИ, СУЦІЛЬНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ, ТЕХНОЛОГІЇ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.

ВСТУП

Актуальність даного дослідження підкреслюється значними витратами на придбання імпортних робочих елементів ґрунтообробних машин та обмеженим терміном служби наявних вітчизняних аналогів. Ефективність та довговічність робочих органів машин для суцільного обробітку ґрунту суттєво залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту, зокрема, від його абразивності, що впливає на швидкість зношування деталей.

Наприклад, при обробітку ґрунтів з високим вмістом (понад 80%) дрібних абразивних частинок (піщаних та супіщаних), зносостійкість вітчизняних лемешів плугів є недостатньою. В результаті інтенсивного зношування, особливо в передній частині лемеша, їх ресурс вичерпується вже після обробітку невеликої площі (близько 5 га).

Використання оригінальних плужних лемешів на українських полях, особливо на важких глинистих ґрунтах, призводить до їх інтенсивного зношування. Ріжуча кромка швидко затуплюється, а розміри зменшуються, внаслідок чого після обробітку всього лише 20-25 гектарів виникає необхідність у їх заміні.

Така швидка втрата функціональності призводить до утворення значної кількості непридатних лемешів, які стають металобрухтом.

Отже, розробка способів відновлення і посилення довговічності плужних лемешів є надзвичайно актуальною проблемою. Її вирішення дозволить продовжити термін їх експлуатації, враховуючи різноманітні характеристики ґрунтів, і суттєво скоротити витрати на придбання нових запчастин.

Головна концепція полягає в тому, що підвищення терміну служби відновлених робочих деталей ґрунтообробної техніки досягається шляхом локального зміцнення їхньої робочої поверхні, з урахуванням специфіки роботи на ґрунтах з різним рівнем абразивності.

РОЗДІЛ 1.

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД, МЕТА І ЦІЛІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Огляд конструктивних та технологічних особливостей лемешів плугів.

Елементи машин для суцільного обробітку ґрунту, безпосередньо взаємодіючи з ґрунтом, реалізують технологічну операцію його обробітку [1-2]. Слід зазначити, що найбільша частина енергетичних витрат припадає саме на оранку [3].

На рисунках 1.1-1.2 представлено конструктивні характеристики лемешів, зміни яких в умовах експлуатації зумовлюють їхню функціональну здатність. Вплив зазначених змін на якість суцільного обробітку ґрунту та робочі показники плугів узагальнено в таблиці 1.1 [6].

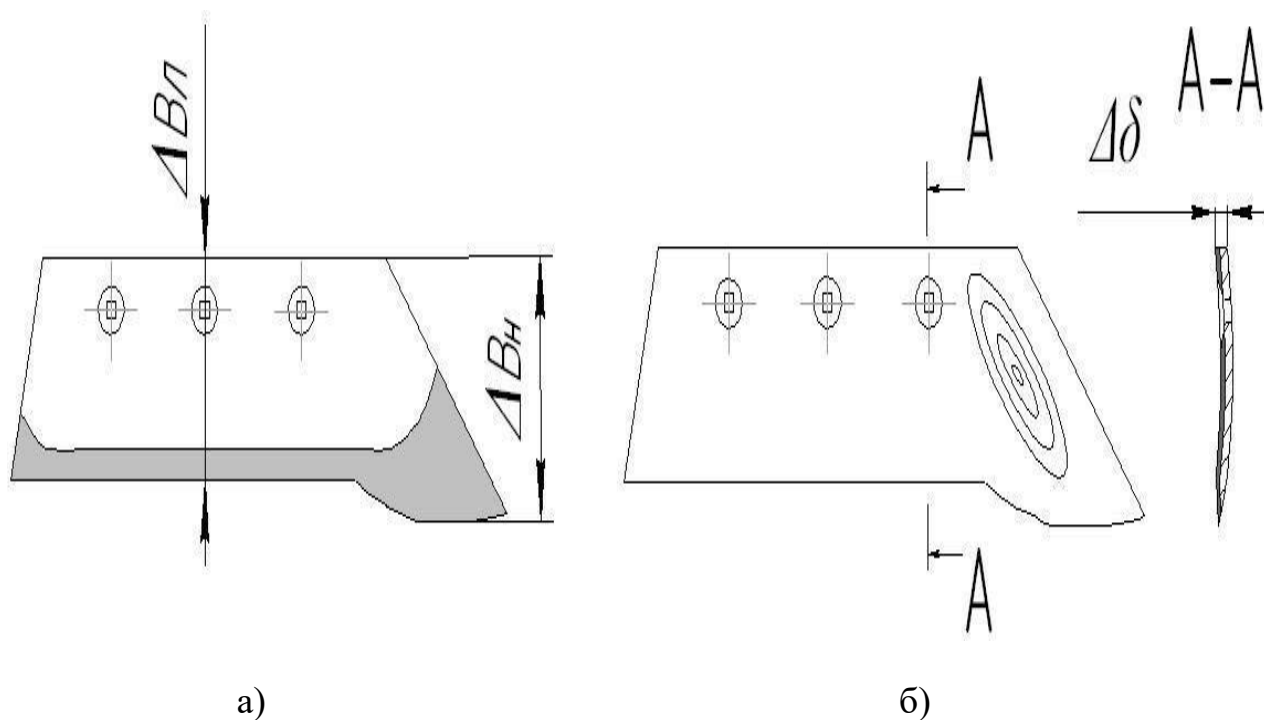


Рис. 1.1. Основні геометричні параметри лемешів, зміни яких під час використання впливають на їх ефективну роботу на:

важких (глинистих та суглинистих) ґрунтах (а) та на легких (піщаних та супіщаних) ґрунтах (б)

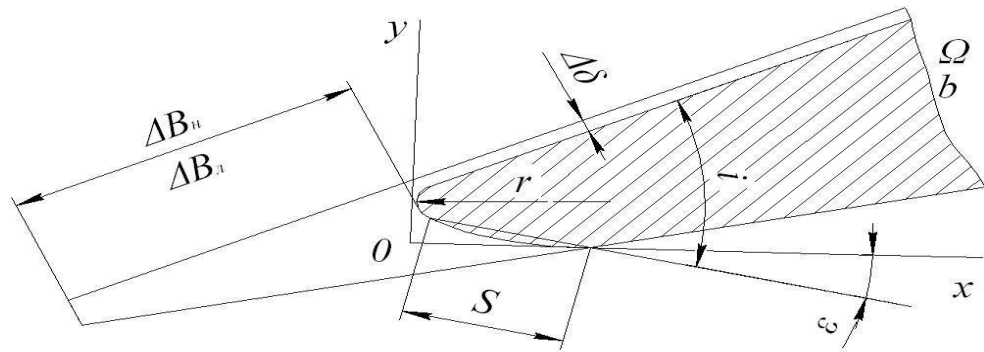


Рис. 1.2. Конструктивні розміри леза плуга, зміни яких під час роботи впливають на його функціональність

Таблиця 1.1

Експлуатаційні зміни геометричних характеристик лемешів та їхній вплив на якість суцільної обробки ґрунту і робочі показники плугів.

Змінений параметр конструкції	Позначення	Наслідки зміни параметру
Зміна ширини леза	$\Delta B_{\text{л}}$	Зменшення ширини захвату; підвищення інтенсивності зношування корпусних та прилеглих деталей; зниження глибини обробітку ґрунту; зниження міцності деталі
Збільшення кута загострення леза	α	Зменшення підрізання кореневищ бур'янів; підвищення тягового опору
Лінійний знос товщини деталі	$\Delta \delta$	Підвищення інтенсивності зношування корпусних та прилеглих деталей; зниження міцності деталі
Зміна ширини носка	$\Delta B_{\text{н}}$	Зменшення глибини обробітку ґрунту; підвищення тягового опору
Збільшення радіусу кромки леза	r	Зменшення підрізання кореневищ бур'янів; підвищення тягового опору
Утворення затилкової фаски з нахилом до дна борозни	ε	Зменшення глибини обробітку ґрунту; підвищення нерівномірності глибини обробітку; підвищення тягового опору
Утворення затилкової фаски шириною	S	Зменшення глибини обробітку ґрунту; підвищення нерівномірності глибини обробітку; підвищення тягового опору
Утворення лобової фаски	—	Зменшення підрізання кореневищ бур'янів
Деформація	Ω	Відхилення леза у середній частині плуга по висоті; відхилення носка та п'ятки, які повинні лежати на одній прямій лінії
Поломка	b	Відмова робочого органу
Зменшення глибини обробітку ґрунту	—	Зниження якості обробітку ґрунту

Деформації (Ω) та поломки (b) лемешів виникають переважно через порушення умов експлуатації плугів або недостатню міцність окремих деталей.

Вітчизняні лемеші виготовляють із сталі Л53 з додатковим зміцненням твердими сплавами або зі сталі марки 65Г. Закордонні виробники, такі як «Lemken», «Rabewerk», «Frank», «Huard», «Kverneland» та інші, застосовують середньовуглецеві низьколеговані марганцеві та кремне-марганцеві сталі з технологічними добавками бора, титана, алюмінію (наприклад, 30MnB5, 34MnB5 тощо).

Порівняння хімічного складу, твердості та даних щодо термічної та термо-дифузійної обробки показує, що лемеші європейських і американських виробників мають майже вдвічі вищу абразивну стійкість порівняно з вітчизняними аналогами [7–12].

У таблиці 1.2 представлено загальний хімічний склад сталей, що використовуються у виробництві лемешів, згідно з даними [9-12].

Таблиця 1.2

Загальний хімічний склад у відсотковому співвідношенні для сталей марок Л53, 65Г, 30MnB5 та 34MnB5

Хімічний елемент	Масова частка елементного складу матеріалу, %			
	34MnB5	Сталь 65Г	30MnB5	Л53
Si	0,15-0,35	0,17-0,37	до 0,40	0,15-0,40
Al	0,015-0,060	-	-	-
Mn	1,15-1,45	0,90-1,20	1,15-1,45	0,50-0,80
N	до 0,10	-	-	-
C	0,33-0,37	0,62-0,70	0,27-0,33	0,47-0,59
Ti	0,015-0,060	-	-	-
B	0,0015-0,0045	-	0,0008-0,0050	-

Вимоги до сталей обмежують вміст сірки та фосфору до максимум 0,03%, а хрому, нікелю та міді - до максимум 0,25%.

Несиметричне положення лемеша плуга впливає на специфіку його зносу. Знизу леза формується задня фаска шириною S , кут якої визначається фізико-механічними характеристиками ґрунту, що впливають на механізм руйнування ґрунтового шару (рис. 1.3) [13-15].

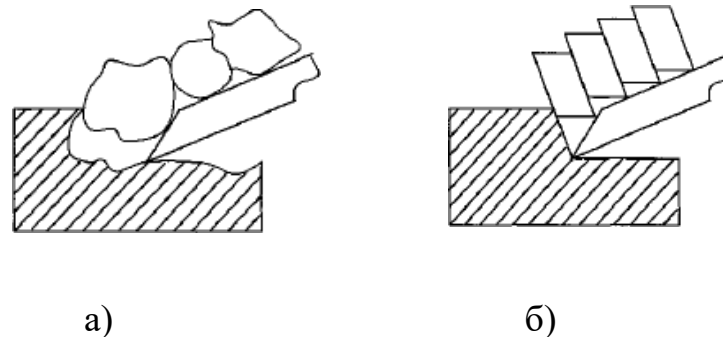


Рис. 1.3. Типові форми руйнування ґрунтового шару лемешем:

для глинистих і суглинистих ґрунтів (а) та для піщаних і супіщаних ґрунтів (б).

У таблиці 1.3 [17] показано вміст абразивних частинок, розміром до 1 мм та понад 1 мм, у відсотках, для різних типів ґрунтів, відповідно до класифікації механічного складу ґрунтів, запропонованої Н. А. Качинським.

Таблиця 1.3

Кількісна оцінка сумарного вмісту частинок абразивного матеріалу, що мають розмір до 1 мм та понад 1 мм, у відсотках від загального механічного складу ґрунтів, з урахуванням їх класифікації

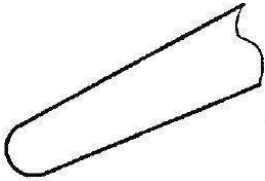
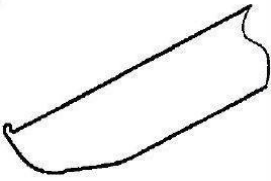
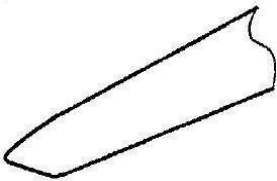
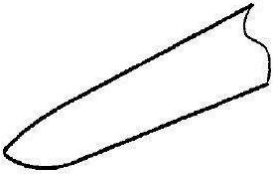
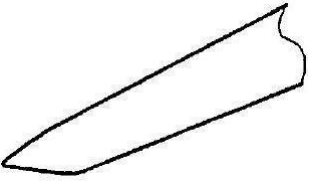
Ґрунти, класифіковані за текстурою	Вміст абразивних частинок за розміром, %
розміром до 1 мм, %	
Піщані	95-100
Легкосуглинкові	70-80
Глинисто-піщані	90-95
Супіщані	80-90
Середньо- і важкоглинисті	< 25
Середньо суглинкові	55-70
Важкосуглинкові і легкоглинисті	25-55
розміром > 1 мм, %	
Середньощебенюваті	0,5-5
Кам'янисті	> 10
Сильнощебенюваті	5-10

У таблиці 1.4, згідно з дослідженнями В. Н. Ткачова [18], представлено

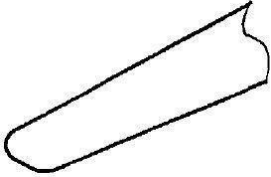
загальні особливості зношування лез плугів під час обробки ґрунтів, класифікованих за їхнім механічним складом.

Таблиця 1.4

**Оптимізація розташування робочих органів плуга в залежності від
текстури ґрунту**

Ґрунти за Механічним складом	Конфігурація лез лемешів	Характер зношування
Важкоглинисті		Оригінальна гострота леза зменшується, воно стає менш гострим, що призводить до значного погіршення ріжучих властивостей.
Глинисто-піщані		Ознаками пошкодження є викривлення та заокруглення ріжучої кромки. Кут, утворений задньою частиною скосу та заглибленням, перевищує 60 градусів, що не характерно для звичайного зношування. У такому стані, форма леза в основному визначається деформацією металу.
Легкосуглинкові		Орієнтована наперед частина ріжучої кромки плуга добре помітна.
Супіщані		В процесі експлуатації на ріжучій кромці формується виражена площина зносу значної ширини (до 10 мм), орієнтована під малим кутом (1-5°) відносно основи виїмки. Ріжуча здатність елементу зберігається до завершення терміну служби плужного лемеша.
Піщані		

Продовження табл. 1.4

Важкосуглинкові		Задня частина леза скошена до основи виїмки приблизно під кутом 30 градусів. Передня частина леза відсутня. Заокруглення ріжучої кромки становить близько 1,6 мм.
-----------------	---	---

Інтенсивність лінійного зношування деталей лемешів значною мірою визначається фізико-механічними властивостями ґрунту. Найбільші навантаження припадають на носок лемешів, через що знос по довжині ΔL відбувається приблизно вдвічі інтенсивніше, ніж по ширині ΔH , особливо на глинистих та суглиннистих ґрунтах. За товщиною ΔB лемеші зношуються значно інтенсивніше на піщаних і супіщаних ґрунтах, ніж на глинистих та суглиннистих, що призводить до формування променеподібного зношування робочої поверхні аж до наскрізного протирання в носовій частині (рис. 1.1, б) [13].

Дослідження [13, 20] показують, що на глинистих і суглиннистих ґрунтах вітчизняні лемеші плугів досягають граничного стану переважно через затуплення та знос по ширині (табл. 1.4). Загальна площа таких ґрунтів в Україні становить 26 325,3 тис. га [21].

Інформацію про розподіл орних земель в економічних районах України за їх механічним складом (у тисячах гектарів) представлено на малюнку 1.4.

Згідно з результатами аналізу розподілу площ орних земель економічних районів України [21-22] за їхнім гранулометричним складом, максимальна пропорція ґрунтів з підвищеним вмістом абразивних фракцій (зокрема, піщаних, супіщаних та глинисто-піщаних) спостерігається у економічних районах, територіально пов'язаних з Поліською та Карпатською зонами (Карпатський, Північно-Західний та Столичний економічні райони). Інші ґрунти економічних районів України в цілому можуть бути класифіковані як глинисті та суглинністі.

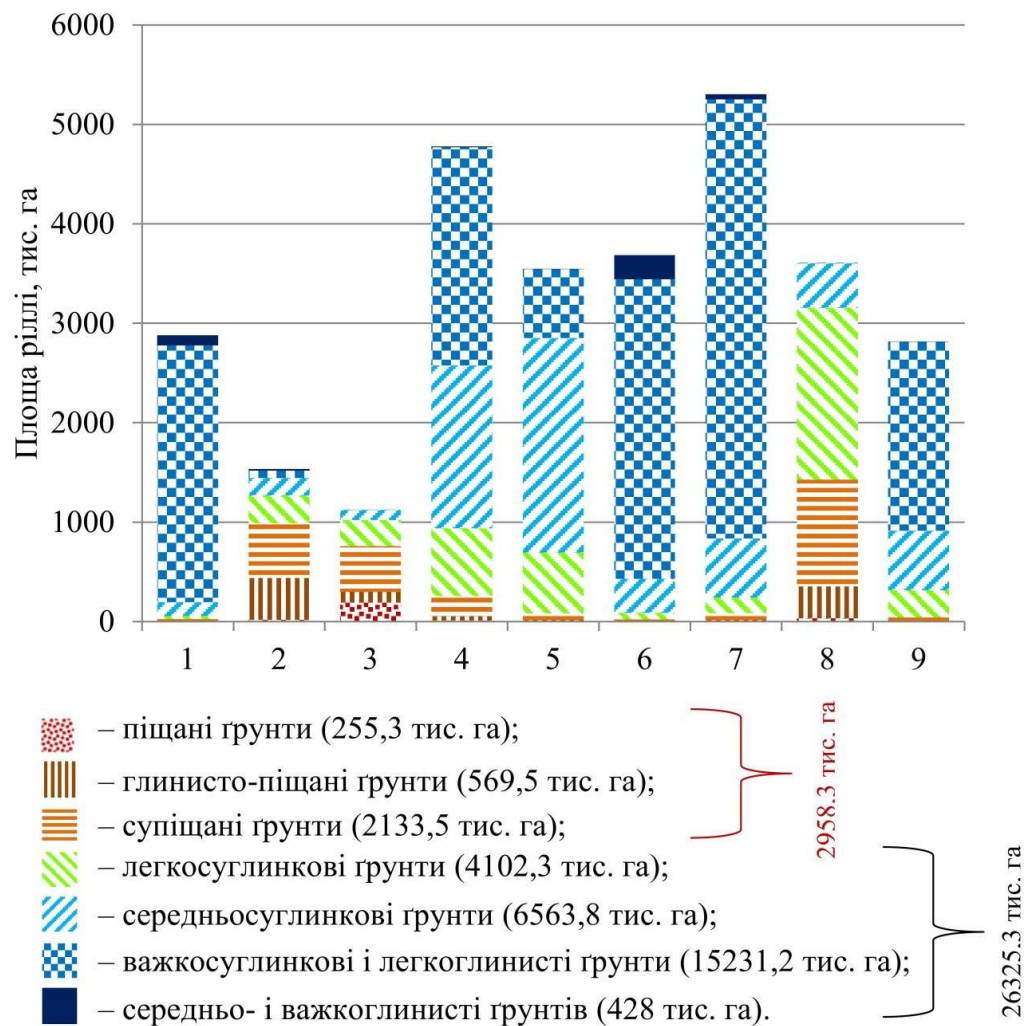


Рис. 1.4. Загальна площа орних земель в економічних районах України, диференційована за їх механічним складом (тис. га).

1. Донецький економічний район охоплює Донецьку та Луганську області, за винятком частини тимчасово окупованих територій.
2. Карпатський економічний район включає Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську та Чернівецьку області.
3. Північно-західний економічний район складається з Волинської та Рівненської областей.
4. Північно-східний економічний район охоплює Полтавську, Харківську та Сумську області.
5. Подільський економічний район охоплює Вінницьку, Тернопільську та Хмельницьку області.
6. Придніпровський економічний район включає Дніпропетровську та Запорізьку області.

7. Причорноморський економічний район охоплює Миколаївську, Херсонську та Одеську області, без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим та міста Севастополь.

8. Столичний економічний район складається з Житомирської, Київської та Чернігівської областей та міста Київ.

9. Центральнотериторіальний економічний район включає Кіровоградську та Черкаську області.

На глинистих і суглинчастих ґрунтах стандартні вітчизняні лемеші плугів зношуються до критичного стану через притуплення ріжучої кромки та знос по ширині після обробки 20-25 гектарів. Внаслідок швидкого зношування, лемеші відбраковуються, і значна частина металу стає непридатною. Тому, розробка технологій відновлення та зміцнення лемешів плугів є важливою та актуальною задачею. Це дозволить збільшити їх термін служби та надійність, враховуючи умови експлуатації на ґрунтах з різною абразивністю, і зменшить витрати на закупівлю нових комплектуючих.

1.2. Аналіз методів збільшення терміну служби плужних лемешів.

Значна кількість сучасних досліджень [23-67] присвячена питанню збільшення терміну служби лемешів плугів при їхньому відновленні та зміцненні. Головна ідея цих досліджень полягає у покращенні їхньої зносостійкості та міцності за допомогою матеріалознавчих, конструкторських та технологічних підходів.

Збільшення терміну служби за допомогою матеріалознавчих підходів передбачає вибір більш зносостійких матеріалів, хоча це може призвести до певного зростання вартості деталей.

Завдяки зменшеному вмісту вуглецю, імпортовані сталі можуть піддаватися низькотемпературному відпуску (150-270 °C) замість середньотемпературного (400-500 °C). Це забезпечує покращену стійкість до абразивного зношування, а також більшу пластичність і в'язкість порівняно зі сталлю 65Г та Л53 [7].

Збільшення терміну служби шляхом конструкційних рішень передбачає модифікацію геометрії деталей або інтеграцію змінних зносостійких компонентів у зонах максимального зносу лемешів плугів. Однак, це також веде до зростання вартості виробництва цих деталей (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Способи збільшення терміну служби плужних лемешів

Підвищення експлуатаційних характеристик за допомогою технологічних підходів передбачає регулювання характеристик поверхні деталей шляхом:

- зміни структури поверхневого шару;
- збагачення поверхні певними елементами;
- формування зносостійких покриттів.

У випадку зміни структури, покращення властивостей поверхні відбувається через трансформацію структурного стану поверхневого шару матеріалу деталі (наприклад, перехід в аморфний стан, формування нестійких структур). При цьому, геометричні розміри лемешів плугів залишаються незмінними. При модифікації зміна властивостей поверхні відбувається внаслідок зміни структурного стану поверхневого шару матеріалу деталі (аморфізація, створення метастабільних структур та ін.). Конструкційні розміри лемешів плугів при цьому не змінюються.

Легування змінює характеристики поверхні лемешів шляхом зміни хімічного складу поверхневого шару. При цьому габаритні розміри лемешів залишаються незмінними.

Нанесення шарів на поверхню лемешів формує зовнішній шар, що відрізняється від матеріалу основи. Геометричні розміри лемешів збільшуються на величину нанесеного шару.

Залежно від специфіки обробки, існуючі технологічні підходи до формування зносостійких поверхневих шарів лемешів плугів можуть бути класифіковані за наступними категоріями [65]:

- термомеханічні методи, що ґрунтуються на комбінованому застосуванні теплової та кінетичної енергії для забезпечення формування зносостійких шарів (зокрема, газотермічне напилення, плакування поверхні, зміцнення металу або сплаву ударним навантаженням).

- термічні методи, що базуються на явищах, пов'язаних з впливом теплової енергії на матеріали з метою модифікації структури металічних матеріалів у твердому стані (включаючи загартування, відпуск, відпал) або зміни агрегатного стану металу (перехід з твердого стану в рідкий і наступне повернення в твердий), який піддається поверхневому переплавленню, наварюванню чи наплавленню.

- хіміко-термічні методи, що передбачають синергетичну дію теплової енергії та хімічно активного середовища на оброблюваний метал з метою його насичення іншою речовиною для набуття необхідних характеристик

поверхневого шару, що характеризується модифікованим хімічним складом та структурою (наприклад, борування, азотування тощо).

Найбільш розповсюдженими є термічні способи (зокрема, дугове, індукційне наплавлення та інші, за винятком лазерного та електронно-променевого, які вимагають комплексного і коштовного оснащення), що дозволяють формувати зносостійкі поверхневі шари товщиною до декількох міліметрів, що сприяє збільшенню терміну служби деталей, які експлуатуються в умовах абразивного зношування. Вибір методу зміцнення ґрунтувався на врахуванні технічної реалізованості та економічної ефективності кожного з них.

Таблиця 1.5 містить техніко-економічні характеристики термічної обробки для зміцнення плужних лемешів [65].

Відповідно до техніко-технологічних, економічних та екологічних вимог, для подальшого дослідження були відібрані перспективні термічні методи зміцнення лемешів плугів. Порівняльна оцінка обраних методів представлена в таблиці 1.6 згідно з літературними джерелами [18, 28, 51, 69, 70].

На відміну від об'ємного гартування за допомогою індукційного нагріву, електричного нагріву або загартування в рідких середовищах, термічне зміцнення при електроконтактній обробці є поверхневим методом. Цей процес базується на локалізованому нагріванні певної ділянки поверхні з подальшим інтенсивним охолодженням цієї зони за рахунок теплопровідності в рідке середовище. Тривалість нагріву та охолодження є мінімальною, а час витримки при температурі нагріву практично відсутній.

В ході процесу, що відбувається між заготовкою та чавунним дисковим електродом-інструментом у середовищі охолоджувальної рідини, без використання додаткових зміцнюючих матеріалів, формується розплавлений поверхневий шар ріжучої частини робочого елемента. Інтенсивне охолодження цього шару сприяє утворенню загартованої структури дрібнозернистого мартенситу з показником твердості до 62 HRC [68].

Додатково, передбачається локальне зміцнення елементів підвищеної

інтенсивності зносу лемешів плугів із застосуванням зносостійких матеріалів. Це дозволить збільшити термін їхньої експлуатації при роботі в ґрунтових умовах з різним ступенем абразивності.

Таблиця 1.5

Зведені економічні та технічні характеристики способів термічного зміцнення плужних лемешів.

Спосіб зміцнення (товщина нанесеного шару h , продуктивність процесу p)	Техніко-економічні характеристики	
	Негативні	Позитивні
Газове ($h = 0,3-3,0$ мм; $p = 0,5-3,0$ кг/год)	Має низьку продуктивність, нестабільну якість наплавленого шару, значні зварювальні деформації, високу вартість витратних матеріалів, підвищену трудомісткість і розбризкування металу.	Характеризується малим проплавленням основного металу, універсальністю застосування, забезпечує підвищення зносостійкості у 1,5–2 рази.
Напівавтоматичне та автоматичне дугове ($h = 2,0-5,0$ мм; $p = 0,8-3,0$ кг/год)	Відзначається великим проплавленням основного металу, особливо при використанні дроту.	Має високу універсальність і продуктивність, дозволяє отримати наплавлений метал з будь-якою системою легування.
Індукційне ($h = 0,4-3,0$ мм; $p = 2,0-15,0$ кг/год)	Характеризується низьким коефіцієнтом корисної дії процесу, перегріванням основного металу, необхідністю використання матеріалів із нижчою температурою плавлення.	Забезпечує малу глибину проплавлення основи, відзначається високою ефективністю при серійному виробництві.
Плазмове ($h = 0,3-6,0$ мм; $p = 0,8-6,0$ кг/год)	Має невелику продуктивність і вимагає складного технологічного обладнання.	Забезпечує високу якість наплавленого металу, малу глибину проплавлення при високій міцності зчеплення з основою.
Ручне дугове з покритими електродами ($h = 2,0-5,0$ мм; $p = 0,8-3,0$ кг/год)	Відзначається низькою продуктивністю, складними умовами праці, нестійкістю якості наплавленого шару та значним проплавленням основного металу.	Простий і доступний метод, що дозволяє отримати наплавлений метал із будь-якою системою легування.

На підставі аналізу способів реставрації та підсилення лемешів, спрямованих на збільшення терміну їхньої експлуатації при відновленні за допомогою ремонтних елементів зі сталі 65Г, аргументовано раціональність

впровадження технологічних моделей зміцнення лемешів, які беруть до уваги умови їхньої роботи на ґрунтах з різною абразивною здатністю та передбачають зміцнення функціональних елементів для піщаних і супіщаних ґрунтів – з боку контакту з ґрунтом, а для глинистих і суглинистих – з протилежного боку.

1.3. Висновки за розділом.

На основі проведеного графічного аналізу процесу зношування лемешів плугів та дослідження умов їх експлуатації встановлено певні закономірності, що залежать від типу ґрунту. Зокрема, під час роботи на глинистих і суглинистих ґрунтах основним фактором, який визначає граничний стан лемешів, є затуплення ріжучої кромки та зношування за шириною. У таких умовах відбувається інтенсивне бокове тертя робочої поверхні лемеша об частки важкого ґрунту, що спричиняє втрату гостроти та збільшення опору під час оранки. Це, у свою чергу, призводить до підвищення витрат пального, зниження продуктивності техніки та погіршення якості обробітку ґрунту.

Натомість на піщаних і супіщаних ґрунтах домінуючим видом зношування є зменшення товщини металу лемеша. Таке зношування зумовлене абразивною дією часток піску, які, рухаючись із високою швидкістю вздовж робочої поверхні, поступово стирають метал. У результаті леміш втрачає міцність і працездатність, що також визначає досягнення ним граничного стану.

Таким чином, характер і швидкість зношування лемешів значною мірою залежать від механічного складу ґрунту та умов експлуатації. Це слід урахувати при виборі матеріалу для виготовлення робочих органів плугів, способу їх зміцнення (наплавлення, термообробка тощо) і визначенні оптимальної періодичності технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА РЕСУРСУ ВІДНОВЛЕНИХ РОБОЧИХ ОРґАНІВ МАШИН ДЛЯ СУЦІЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1. Аналіз процесу зношування лемешів плугів на ґрунтах із різною абразивністю.

На важких ґрунтах, таких як глинисті та суглинисті, робочі органи плугів, а саме лемеші, досягають критичного зносу внаслідок поступового зменшення їх ширини B . При цьому, крайня передня частина лемеша, так званий носок, перестає виступати за ріжучу кромку. Це явище є наслідком більш інтенсивного зношування у цій зоні через підвищені питомі навантаження, і, як наслідок, також є визначальним фактором досягнення лемешем граничного стану (рис. 2.1).

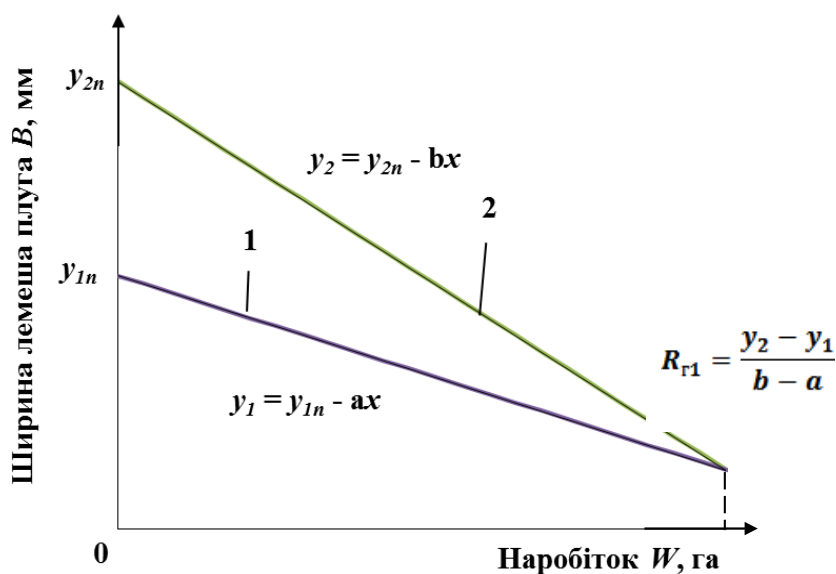


Рис. 2.1. Схематичне зображення визначення ресурсу R_{r1} :

1 – ширина леза плуг B_l ; 2 – ширина носка плуга B_n ; a і b кутові коефіцієнти ліній y_1 та y_2 , які в числовому вираженні дорівнюють тангенсам кутів нахилу ліній.

Якщо ріжучу кромку лемеша плуга посилити, термін його служби буде визначатися досягненням критичного рівня зносу. Це проявляється у нездатності лемеша заглиблюватися в ґрунт через зношення його передньої частини до рівня леза.

У такому разі, орієнтовний строк експлуатації можна визначити, використовуючи графік, зображений на рисунку 2.1, шляхом відповідних обчислень та змін.

Обчисливши похідні рівнянь прямих відносно обсягу виконаної роботи W , отримаємо показники зношування передньої частини та леза лемеша плуга по ширині.

$$a = \frac{dB_H}{dW} = I_{BH} \quad (2.1)$$

$$b = \frac{dB_L}{dW} = I_{BL} \quad (2.2)$$

Звідси випливає, що показники інтенсивності зношування носка та леза лемеша плуга визначаються за такими залежностями:

$$I_H = -I_{BH} \quad (2.3)$$

$$I_L = -I_{BL} \quad (2.4)$$

Тоді:

$$R_{r1} = \frac{(B_L - B_{гр}) - (B_L - B_{гр})}{I_H - I_L} \quad (2.5)$$

де B_H – ширина носка плуга, мм;

I_H – швидкість зношування носка плуга, мм/га;

B_L – ширина леза плуга, мм;

$B_{гр}$ – критична ширина плуга, мм;

I_L – швидкість зношування леза плуга.

При повторному нарощуванні носка плуга, $R_{г2}$ строк служби лемеша

визначатиметься зношенням його робочої частини до мінімально допустимої ширини. Для оптимального використання лемеша важливо, щоб зношування його леза ($R_{Г2}$) та носка ($R_{Г3}$) відбувалося рівномірно до досягнення граничної ширини:

$$\begin{cases} R_{r_2} = R_{r_3} \\ \frac{B_{л} - B_{гр}}{I_{л}} = \frac{B_{н} - B_{гр}}{I_{н}} \end{cases} \quad (2.6)$$

Після виконання змін, отримаємо:

$$K_i = \frac{I_{л}}{I_{н}} = \frac{B_{л} - B_{гр}}{B_{н} - B_{гр}} \quad (2.7)$$

де K_i – Коефіцієнт інтенсивності ступеня зносу деталей лемешів плугів.

Для лемеша з такими розмірами: $B_{л} = 120$ мм, $B_{н} = 143$ мм та $B_{гр} = 90$ мм

Розумне значення коефіцієнта інтенсивності зношування становить $K_i = 0,57$.

В іншому випадку, якщо значення коефіцієнта K_i відрізняється, ресурс лемешів плугів обчислюється за формулами (2.8)-(2.11). Це дозволяє врахувати запас міцності носка, або ж носка та леза, залежно від ширини лемеша плуга:

$$R_{зал} = \frac{R_{r_2} - R_{r_3}}{R_{r_2}} \quad \text{при } I_{н} \leq I_{л}, R_{Г3} < R_{Г2} < R_{Г1} \text{ та } R_{Г3} < R_{Г1} < R_{Г2} \quad (2.8)$$

$$R_{зал} = \frac{R_{r_3} - R_{r_2}}{R_{r_3}} \quad \text{при } R_{Г2} < R_{Г3} < R_{Г1} \text{ та } R_{Г2} < R_{Г1} < R_{Г3} \quad (2.9)$$

$$R_{зал} = \frac{R_{r_2} - R_{r_1}}{R_{r_2}} \quad \text{при } R_{Г1} < R_{Г3} < R_{Г2} \quad (2.10)$$

$$R_{зал} = \frac{R_{r_3} - R_{r_1}}{R_{r_3}}, \quad \text{при } R_{Г1} < R_{Г2} < R_{Г3} \quad (2.11)$$

На основі виразів (2.8)-(2.11) розроблено номограму (рис. 2.2), яка

дозволяє візуально оцінити строк служби, що залишився, ($R_{зал}$) плугових лемешів, виходячи з показника швидкості зносу (K_i) частин лемеша.

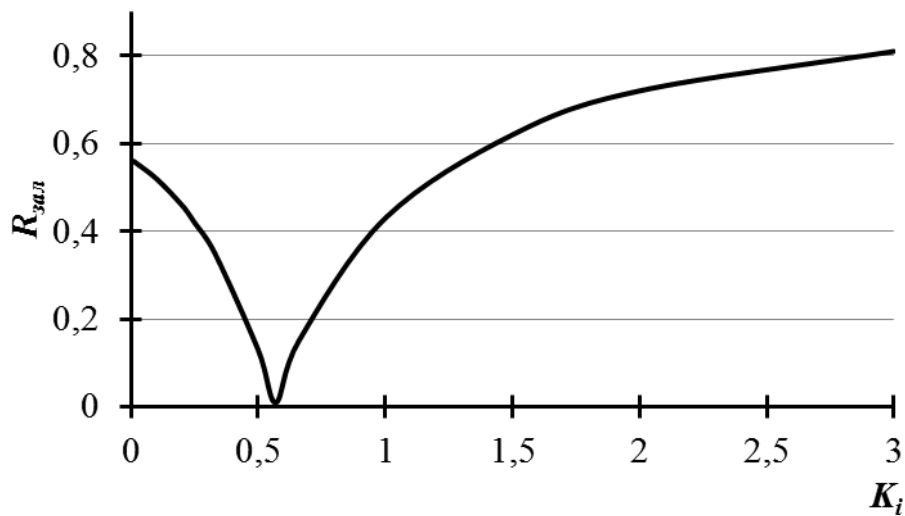


Рис. 2.2. Графічна номограма для визначення залишкового ресурсу лемеша плуга $R_{зал}$ залежно від коефіцієнта інтенсивності зношування його елементів K_i

Швидкість зношування носка I_n та леза I_l лемеша плуга визначається відповідно до наведених рівнянь [19]:

$$I_n = p_n * c = \frac{N}{S_n} c = k_n a^n \quad (2.12)$$

$$I_l = p_l * c = \frac{N}{S_l} c = k_l a^n \quad (2.13)$$

де p_n – тиск ґрунту на передню частину плуга;

p_l – тиск ґрунту на ріжучу кромку;

c – коефіцієнт пропорційності;

N – нормальна сила;

S_n – площа передньої частини плуга;

S_l – площа леза;

k_n і k_l – коефіцієнти, які враховують густину ґрунту та кути встановлення плуга (для передньої частини плуга $k_n = 0,0067$, для ріжучої кромки $k_l = 0,0036$);

a – глибина обробки ґрунту;

n — показник степеня ($n = 1,22$).

У такому випадку, показник інтенсивності зношування елементів плужного лемеша K_i а умови їхньої однакової стійкості до зношування, буде:

$$K_i = \frac{I_{\text{л}}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,0036}{0,0067} = 0,54 \quad (2.14)$$

Схожість розрахункових та реальних значень для лемеша з параметрами $B_{\text{л}} = 120$ мм, $B_{\text{н}} = 143$ мм та $B_{\text{гр}} = 90$ мм вказує на те, що для обробітку глинистих та суглинистих ґрунтів доцільно застосовувати єдиний метод зміцнення як носка, так і леза лемеша, щоб забезпечити їхню однакову довговічність та продуктивність.

У випадку піщаних та супіщаних ґрунтів, лемеші плугів виходять з ладу через поступове зношування по товщині (рис. 1.1). Важливо, що знос носка відбувається швидше, ніж знос леза, що пояснюється вищими на нього питомими навантаженнями.

На основі формул (2.12 та 2.13), можна зробити висновок, що тиск, який діє на носок, майже вдвічі (у 1,86 раза) перевищує тиск на лезо лемеша плуга [19]:

$$\frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{л}}} = \frac{0,0067}{0,0036} = 1,86 \quad (2.15)$$

Для забезпечення рівномірного зношування зміцнених лемешів плугів, які працюють на піщаних і супіщаних ґрунтах, інтенсивність зношування носка $I_{\text{нт}}$ та лез $I_{\text{лт}}$ за товщиною має бути однаковою. Оскільки питомий тиск на носок лемеша, згідно з рівнянням (2.15), у 1,86 раза вищий, ніж на лезо, то відносна зносостійкість носка $З_{\text{н}}$ повинна перевищувати відносну зносостійкість леза $З_{\text{л}}$ у тій самій пропорції — 1,86 раза. Відтак для зміцненого лемеша можна встановити таке співвідношення:

$$\frac{I_{\text{нт}}}{I_{\text{лт}}} = \frac{З_{\text{н}}}{1,86 * З_{\text{л}}} \quad (2.16)$$

Підставляючи значення зносу зміцненого леза, визначені рівняннями (2.14 та 2.15), з урахуванням нормальної сили та площ зміцнених ділянок носка і леза лемеша, і виконавши відповідні математичні перетворення, отримаємо наступне:

$$\frac{Z_n * S_n}{1,86 * Z_l * S_l} = 1 \quad (2.17)$$

де S_n – загальна площа носка лемеша, m^2 ;

S_l – загальна площа леза лемеша, m^2 .

При електроконтактній обробці ріжучої кромки спостерігається:

$$Z_l S_l = Z_e S_e \quad (2.18)$$

де S_e – площа поверхні, що піддається електроконтактній обробці на ріжучій кромці лемеша, m^2 ;

Z_e – показник відносної стійкості до зношування ріжучої кромки лемеша, покращеної за допомогою електроконтактної обробки.

Для локального посилення передньої частини матимемо:

$$Z_n S_n = Z_T S_T + Z_M (S_n - S_T) \quad (2.19)$$

де S_T – площа локального зміцнення носка лемеша, m^2 ;

Z_T – відносна стійкість до зношування матеріалу, що використовується для локального зміцнення носка лемеша;

Z_M – відносна стійкість до зношування матеріалу лемеша

Область зміцнення в точці обчислюється наступним чином [42]:

$$S_T = n \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.20)$$

де n – число точок кріплення на носку лемеша, шт.;

d – діаметр отвору в передній частині лемеша, м.

Отже, теоретичний зв'язок між оптимальним діаметром d точкового зміцнення у передній частині та відносними показниками зносостійкості

матеріалів, з яких виготовлені зміцнення передньої частини та лезо лемеша, може бути виражений наступним чином:

$$d = \sqrt{\frac{4(1,86 * Z_e S_e - Z_m S_n)}{n\pi(Z_T - Z_m)}} \quad (2.21)$$

2.2. Аналіз технології електроконтактної обробки лемешів плугів.

Зважаючи на вищевикладене, представляється необхідним розширити сферу наукових пошуків у напрямку встановлення взаємозв'язків між технологічними чинниками електроконтактного оброблення та величиною зміцненого шару на лемешах плугів.

Електроконтактне оброблення являє собою термообробний метод, який задіює енергію електричних дуг. Енергетичний баланс процесу, що відбувається між дисковим електродом і заготовкою, можливо описати за допомогою рівняння, представленого в джерелі [51]:

$$Q_{\Sigma} = Q_K + Q_B, \quad (2.22)$$

де Q_{Σ} – сумарна кількість спожитої енергії, Дж;

Q_K – ефективно використана енергія, що витрачається на нагрівання та плавлення оброблюваної заготовки, Дж;

Q_B – втрати енергії, Дж.

В такому разі, сумарне енергоспоживання, необхідне для плавлення металу деталі в процесі загострення, становитиме [51].

$$Q_K = m_d \cdot c \cdot (T_{пл} - T_p), \quad (2.23)$$

де m_d – загальна маса розплавленого металу деталі, кг;

c – питома теплоємність матеріалу виробу, Дж/кг·°С;

$T_{пл}$ – температура плавлення металу деталі, °С;

T_p – температура рідкого середовища, °С.

Масу розплавленого металу визнаємо за формулою [51]:

$$m_d = L \cdot S \cdot \rho, \quad (2.24)$$

де L – довжина оброблюваної деталі, м;

S – площа дотику між електродом і деталлю в процесі загострення, м²;

ρ – густина матеріалу деталі, кг/м³.

Вимірюючи значення сили струму та напруги протягом часу t , можливо визначити загальну енергію за допомогою наступного співвідношення [51].

$$Q_\Sigma = U \cdot I \cdot t, \quad (2.25)$$

де U – електрична напруга, під час якої відбувається процес, В;

I – інтенсивність електричного струму, А.

Коефіцієнт ефективності корисної дії η [51]:

$$\eta = \frac{L \cdot S \cdot \rho \cdot c (T_{\text{пл}} - T_p)}{U \cdot I \cdot t}, \quad (2.27)$$

Співвідношення між довжиною оброблюваної деталі L та тривалістю її обробки t можна розглядати як швидкість обробки деталі V . В такому випадку, вираз (2.27) можна записати у вигляді:

$$\eta = \frac{V \cdot S \cdot \rho \cdot c (T_{\text{пл}} - T_p)}{U \cdot I}, \quad (2.28)$$

У науковій літературі з теорії зварювання існує формула для обчислення найвищих температур, які виникають при плавленні металу у виробі, що має форму пластини. У випадку електроконтактної обробки за допомогою інструмента-електрода, який діє як потужне, швидкодіюче лінійне джерело теплової енергії, і при умові, що тепловіддачею можна знехтувати, було отримано наступний вираз [72]:

$$(T_{\text{пл}} - T_p) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \frac{q}{V \cdot c \cdot \rho \cdot S'}, \quad (2.29)$$

де q – теплова енергія дуги, Дж/с.

Після перетворення виразу (2.28) отримуємо наступне рівняння [72]:

$$V \cdot c \cdot p \cdot S \cdot (T_{\text{пл}} - T_p) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \cdot q, \quad (2.30)$$

Ліва сторона даної рівності відповідає величині потужності проплавлення, яка позначається як $q_{\text{пл}}$ [72]:

$$V \cdot c \cdot p \cdot S \cdot (T_{\text{пл}} - T_p) = q_{\text{пл}} \quad (2.31)$$

Ліва сторона даної рівності відповідає величині потужності проплавлення, яка позначається як [72]:

$$\eta = \frac{q_{\text{пл}}}{q}, \quad (2.32)$$

Отже, з урахуванням співвідношень (2.31) та (2.32), значення η можна визначити за формулою [72]:

$$\eta = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} = 0,484, \quad (2.33)$$

Після підстановки значення η у формулу (2.28) та подальших перетворень, одержуємо:

$$V \cdot c \cdot p \cdot S \cdot (T_{\text{пл}} - T_p) = 0,484 \cdot U \cdot I, \quad (2.34)$$

Добуток напруги U та сили струму I визначає потужність електричного струму P , тому рівняння (2.34) можна записати у такій формі:

$$V \cdot c \cdot p \cdot S \cdot (T_{\text{пл}} - T_p) = 0,484 \cdot P, \quad (2.35)$$

Площа електроконтактного оброблення лемешів пługів S визначається їхніми геометричними параметрами, які наведені на рисунку 2.3

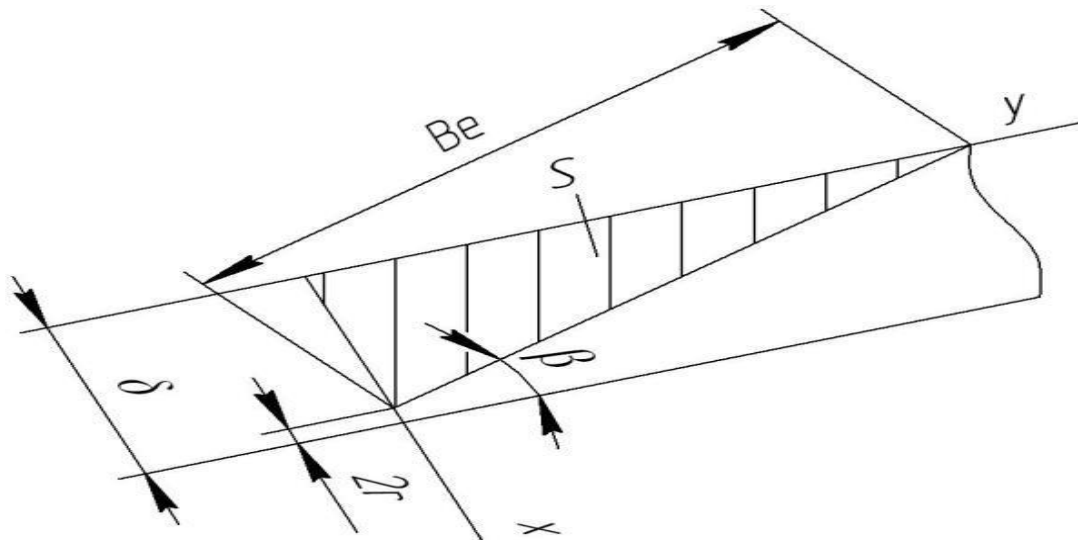


Рис. 2.3. Схематичне зображення процесу електроконтактного оброблення та загострювання лемеша плуга:

B_e – ширина зони електроконтактної обробки, м;

β – кут загострення плужного лемеша, град;

δ – товщина плужного лемеша, м;

r – радіус заокруглення ріжучої кромки лемеша плуга, м.

На основі рівняння для матеріалу сталь 65Г, за умови швидкості електроконтактного оброблення $V = 0,01$ м/с, температури рідинного середовища $T_p = 20$ °С, кута загострення лемеша плуга $\beta = 15^\circ$ та товщини лемеша $\delta = 0,01$ м, визначено залежність потужності електричного струму P від радіуса заокруглення ріжучої кромки лемеша r , який не перевищує 1 мм (рис. 2.4).

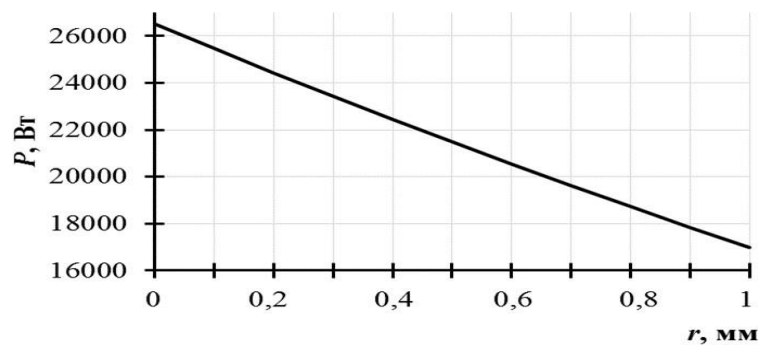


Рис. 2.4. Графік залежності потужності електричного струму P від радіуса заокруглення ріжучої кромки лемеша плуга r , що не перевищує 1 мм

Визначено оптимальні значення потужності електричного струму P , які коливаються в межах 16 971–26 518 Вт. На основі встановленої залежності потужності струму P від радіуса заокруглення ріжучої кромки лемеша плуга r , що не перевищує 1 мм, визначено верхні та нижні граничні рівні параметрів електроконтактного оброблення: напруги U (верхній рівень – 55 В, нижній рівень – 45 В) та сили струму I (верхній рівень – 450 А, нижній рівень – 350 А) (рис. 2.5).

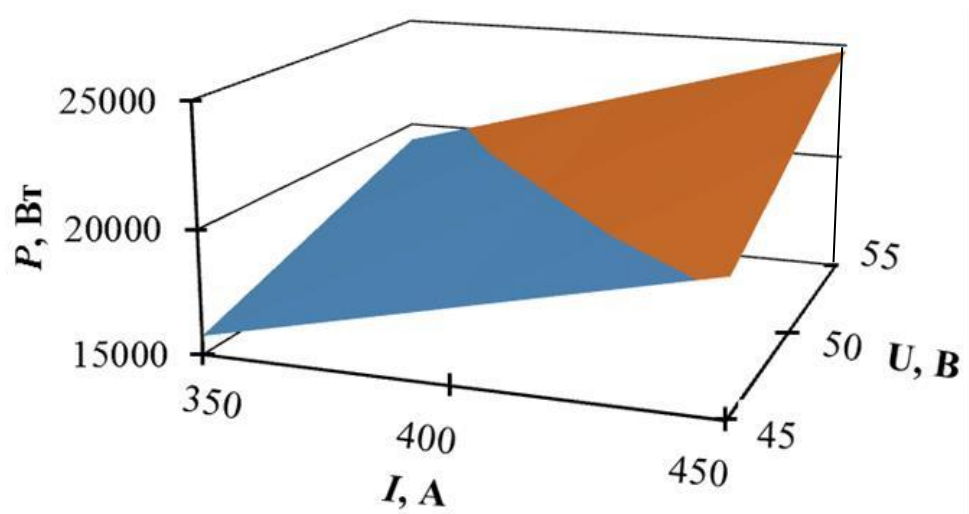


Рис. 2.5. Залежність електричної потужності P від прикладеної напруги U та сили струму I при електроконтактній обробці плужних лемешів

Для проведення досліджень експериментального характеру стосовно технологічних чинників електроконтактної обробки, що гарантуватимуть оптимальні величини зміцнених пластів у лемешах плугів, призначених для застосування на ґрунтах з різною абразивною інтенсивністю, обґрунтовано використовувати новітні апарати для електроконтактної обробки, що підтримують стабільну швидкість процесу. Теоретична залежність товщини укріпленого шару лемеша плуга визначалась як глибина розплавлення сталі 65Г [50, 65].

2.3. Методика проведення порівняльних досліджень матеріалів щодо зносостійкості.

Порівняльне дослідження зносостійкості матеріалів виконували на лабораторній установці для випробувань на абразивне зношування УВЗ-1 (рис. 2.6). Установка включає електродвигун 2, розташований на рамі 1, який через з'єднувальну муфту та редуктор 5 приводить в обертання вал 7 з абразивним кругом 8. Зразок із покриттям 13 закріплювався на кронштейні 9 та фіксувався гвинтом 14, після чого під дією навантаження 12 притискався до абразивного круга 8.

Для проведення порівняльних випробувань використовували стандартний лічильник обертів (позиція 6) та зразки наступних розмірів: довжина – 30–100 мм, ширина – 25–70 мм, товщина – 2–15 мм. В якості абразивного інструменту застосовували шліфувальні круги ПП 63×20×20 24А 25-Н С16 К5Б, які працювали на швидкості 40 м/с.

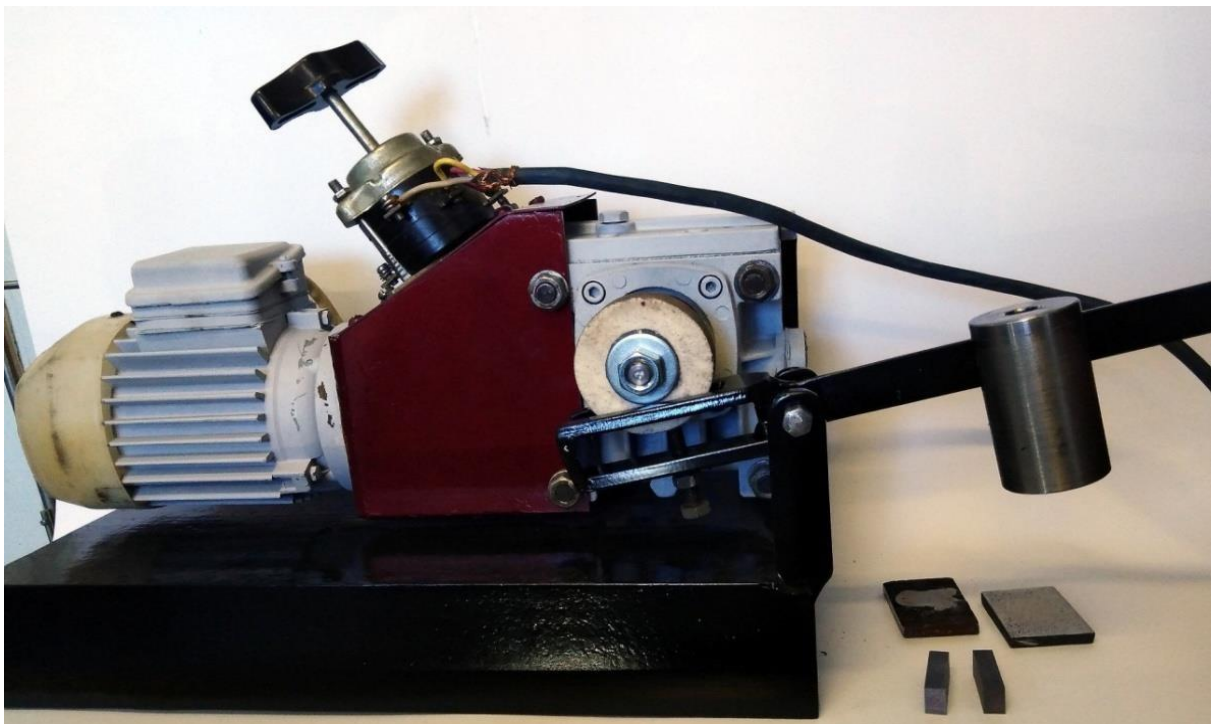


Рис. 2.6. Загальний вигляд експериментальної установки УВЗ-1 для випробувань матеріалів на абразивне зношування

Випробування зносостійкості проводили на зразках, виготовлених із таких матеріалів:

- Сталь 65Г, загартована до твердості HRC 54–57 (нагрів до 920°C та охолодження у воді), яка використовувалася як еталонний матеріал;
- Наплавлений шар на сталь 65Г електродом Т-590 (діаметр електрода 4 мм, сила струму 200–250 А, напруга 32–36 В).

Для забезпечення достовірності результатів використовували нові шліфувальні круги розміром 63×20×20 25А F60 СМ С СТ 6 БЗ як абразивний інструмент.

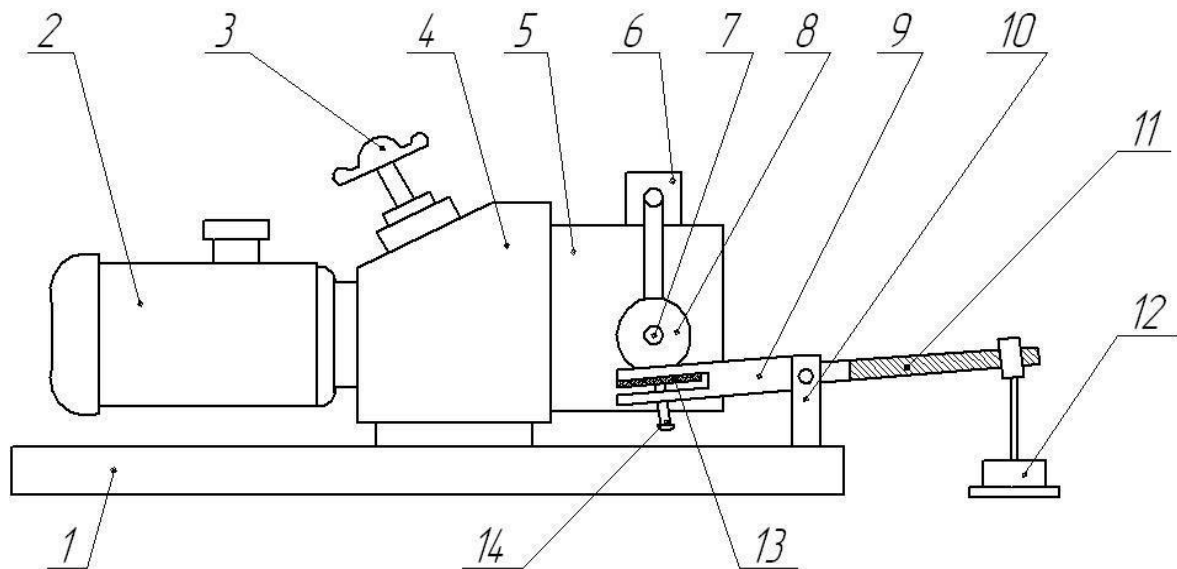


Рис. 2.7. Схематичне зображення установки УВЗ-1 для випробувань матеріалів на абразивне зношування:

1 – Каркас; 2 – Електричний двигун; 3 – Перемикач; 4 – Захисний кожух муфти; 5 – Редуктор швидкості; 6 – Вимірювач частоти обертання; 7 – Вісь; 8 – Абразивний круг; 9 – Опора для фіксації зразка; 10 – Стійка кріплення важеля до каркасу; 11 – Важіль навантаження; 12 – Навантажувальний елемент; 13 – Тестовий зразок; 14 – Затискний гвинт.

Для визначення величини зносу застосовували лабораторні рівноплечі ваги моделі ВЛР-200 класу 2 з точністю зважування $\pm 0,0005$ г (рис. 2.8). Для проведення випробувань зразки промивали технічним етиловим спиртом і висушували на повітрі протягом 10 хвилин. Випробування здійснювали в умовах сухого тертя на повітрі за контактного навантаження 30 Н та частоти обертання абразивного круга 47 хв^{-1} , тривалість дослідження становила 105 хвилин, кількість циклів – 5000.



Рис. 2.8 Лабораторні рівноплечі ваги ВЛР-200 г для зважування дослідних зразків

Тривалість контролювали хронометром, а після завершення експерименту зразки зважували на лабораторних рівноплечих вагах ВЛР-200 г з точністю $\pm 0,0005$ г.

Твердість матеріалів визначали за допомогою твердоміра ТКП–1 відповідно до методики, описаної в підрозділі 3.5. Підготовлений зразок розміщували між пластинами кронштейну важеля навантаження установки випробувальною поверхнею догори, фіксували болтом до верхньої пластини, прикладали задане навантаження, включали привід установки та контролювали час проведення випробування.

Після завершення встановленого часу випробувань зразки промивали етиловим спиртом, висушували на повітрі та зважували на вагах ВЛР-200 г. Величину зносу зразка визначали як різницю його маси до та після випробувань. Після обчислення середньої величини зносу, середнього квадратичного відхилення та коефіцієнта варіації розраховували відносну зносостійкість поверхні зразка за відповідною формулою:

$$C_{від} = \frac{\bar{i}_{em}}{\bar{i}_{вип}}, \quad (2.36)$$

де $\bar{i}_{em}$ - середнє значення еталонного зносу поверхні, г;

$\bar{i}_{вип}$ - середнє значення зносу досліджуваної поверхні, г.

2.4. Аналіз особливостей та масштабів зношування лемешів плугів з урахуванням експлуатаційних умов.

Встановлено максимальні та мінімальні значення зносу лез лемешів плугів, що експлуатуються на глинистих та суглинистих ґрунтах, які становлять 16,3 мм та 27,9 мм відповідно, при середньому зносі $W_{ср} = 22,1$ мм.

Для лемешів плугів, що використовуються на піщаних та супіщаних ґрунтах, визначено максимальний та мінімальний знос за товщиною — 1,8 мм та 3,2 мм відповідно, при середньому значенні $W_{ср} = 2,5$ мм.

Крім того, за результатами аналізу мікрометражних карт лемешів, придатних до відновлення, було визначено повторюваність дефектів (рис. 2.9).

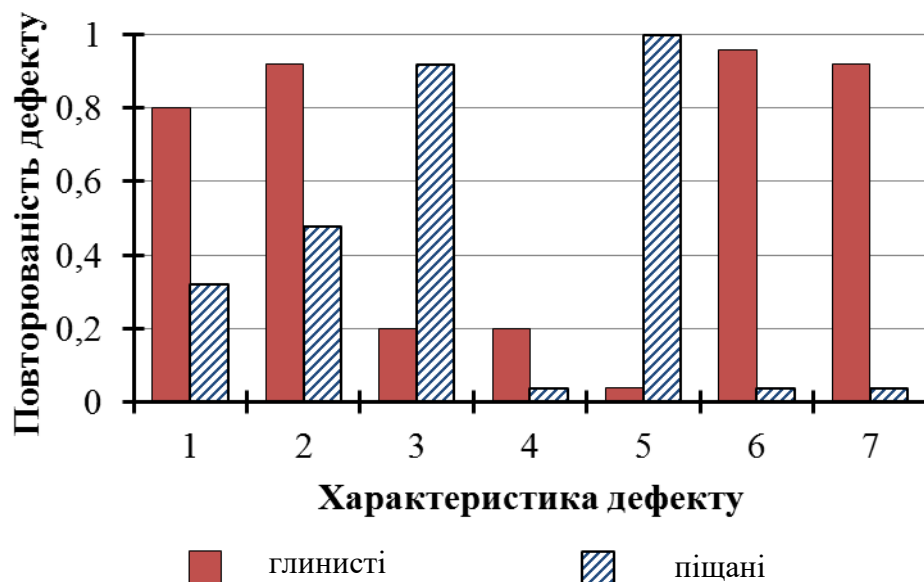


Рис. 2.9. Частота повторення дефектів плужних лемешів:

1 – знос леза за шириною; 2 – знос носка; 3 – променеподібне зношування носової частини леза; 4 – знос за довжиною; 5 – знос за товщиною лемеша; 6 – формування потиличної фаски; 7 – затуплення леза лемеша.

Визначення зон, величин і характеру зношування лемешів, а також частоти повторення дефектів проводили на вітчизняних плужних лемешах, які експлуатувалися в умовах із максимально відмінною інтенсивністю та типом зношування — на глинистих і суглинистих ґрунтах та на піщаних і супіщаних.

Коефіцієнт вибракування ($K_{вибр}$) становив 0,06 для глинистих і

суглинистих ґрунтів та 0,12 для піщаних і супіщаних. Коефіцієнт відновлення (κ_6) дорівнював 0,94 для глинистих і суглинистих ґрунтів і 0,88 для піщаних і супіщаних.

Аналіз повторюваності дефектів показав, що характер зношування лемешів істотно відрізняється залежно від типу ґрунту, на якому вони експлуатуються.

2.5. Основні елементи лемешів плугів при відновленні та їх технічні характеристики.

На основі аналізу заводської документації щодо виготовлення вітчизняних лемешів плугів, а також статистичної обробки даних про їх зношування та критерії ремонтпридатності, встановлено геометричні параметри ремонтних вставок для лез і носків лемешів (рис. 2.10).

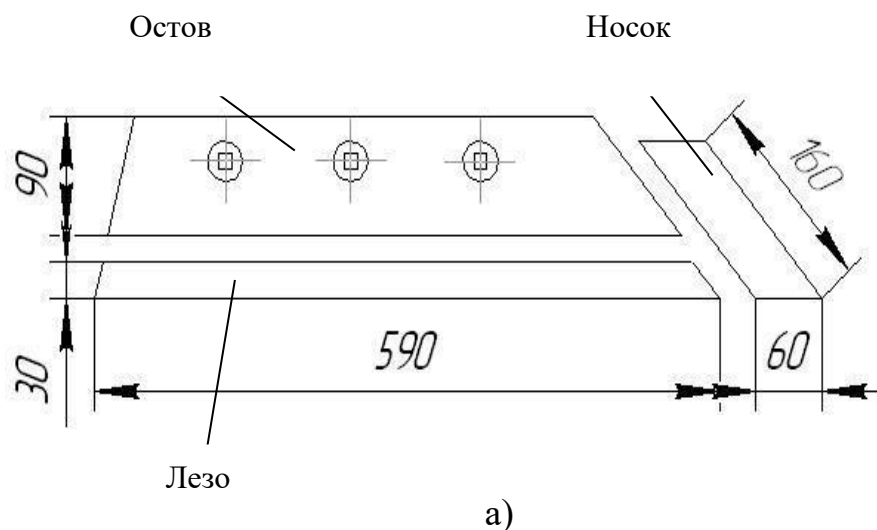


Рис. 2.10. Визначені геометричні параметри компонентів лемешів плугів, що підлягають відновленню

Відповідно до визначених параметрів виготовляли ремонтні вставки шляхом вирубування заготовок лез і носків на кривошипних ножицях з похилим ножем НД 3312Б (рис. 2.11), а зношені лемеші обрізали на апараті для повітряно-плазмового різання металу ПРИ-L-60 (рис. 2.12).



Рис. 2.11. Зображення заготовок носка (а) та леза (б) лемеша плуга



а)



б)

Рис. 2.12. Схема обрізування зношеного лемеша (а) та фотографія обрізаного остова (б)

У табл. 2.1 наведені технологічні режими та тривалість штучного часу, необхідного для обрізування лемеша ПНЧС.

Таблиця 2.1

Технологічні режими та витрати штучного часу при обрізанні лемеша ПНЧС 01.702А

Технологічні параметри обробки				Нормований (штучний) час обробки Т шт., хв.
U, В	I, А	Витрата повітря, л/хв.	Тиск повітря, ат	
100	50	250	4-6	1,4

2.6. Ефективність плужних лемешів, зміцнених різними промисловими методами, оцінених в умовах лабораторних та польових випробувань.

Під час лабораторних випробувань підтверджено ефективність оснащення, що забезпечує необхідну точність зварювання остова та вставок лемеша при відновленні. Тестування проводили як на нових лемешах, так і на відновлених за допомогою електроконтактного оброблення та точкового зміцнення.

Для експлуатаційних випробувань відновлені та серійні лемеші (наплавлені та ненаплавлені) встановлювали на плуг ПП-8-35. За результатами лабораторно-польових випробувань у виробничих умовах господарств Черкаської та Рівненської областей встановлено, що на піщаних та супіщаних ґрунтах серійні лемеші підлягають передчасній вибраковці через лінійний знос по товщині з утворенням променевидного зношування з робочого боку вже після наробітку 6 га. При цьому ресурс зміцнених лемешів R_z на 1,3 раза більший і становить 7,9 га. Інтенсивність зношування серійних лемешів становить 0,48 мм/га, а зміцнених – 0,37 мм/га (рис. 2.13).

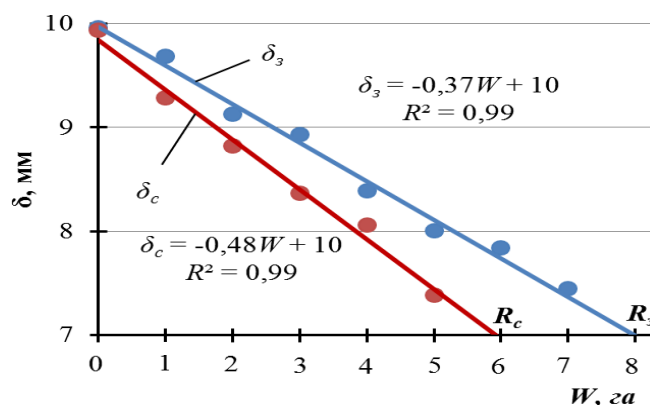


Рис. 2.13 Зв'язок між товщиною плужних лемешів (δ) та обсягом виконаної роботи (W) до настання граничного стану при обробці піщаних та супіщаних ґрунтів:

δ_c – відхилення розмірів стандартних лемешів; δ_z – відхилення розмірів посиленних лемешів; R_c – термін служби стандартних лемешів; R_z – термін служби посиленних лемешів.

За результатами лабораторно-польових випробувань лемешів плугів, проведених в умовах виробничої експлуатації господарств Київської та Рівненської областей, встановлено, що на глинистих та суглинистих ґрунтах серійні лемеші досягають граничного стану через лінійний знос носка по ширині після наробітку 19,5 га. Ресурс зміцнених лемешів R_3 в 1,4 раза перевищує ресурс серійних і становить 28,1 га. Інтенсивність зношування носків та лез серійних лемешів становить відповідно 2,53 мм/га та 1,39 мм/га, а для зміцнених лемешів – 1,82 мм/га та 1,01 мм/га (рис. 2.14).

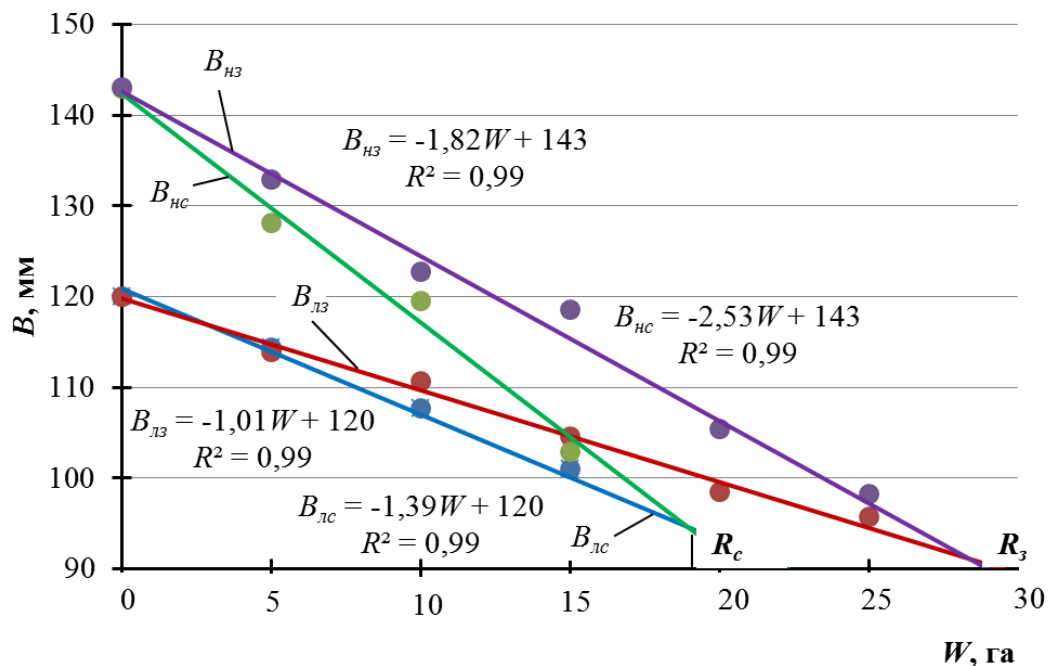


Рис. 2.14. Залежність зміни ширини лемеша плуга B від наробітку W до досягнення граничного стану під час роботи на глинистих і суглинистих ґрунтах:

$B_{лс}$ – ширина леза стандартного лемеша; $B_{нс}$ – ширина носка стандартного лемеша; $B_{лз}$ – ширина леза посиленого лемеша; $B_{нз}$ – ширина носка посиленого лемеша; R_c – термін служби стандартних лемешів; R_3 – ресурс зміцнених лемешів.

Для перевірки відповідності теоретичних результатів експериментальним, отриманим при визначенні глибини зміцненого шару $\delta_{ш}$ від величини струму I (при напрузі $U = 55 \text{ В}$), вони представлені на одному графіку разом з розрахованими довірчими інтервалами з рівнем довіри 95 %

(рис. 4.14).

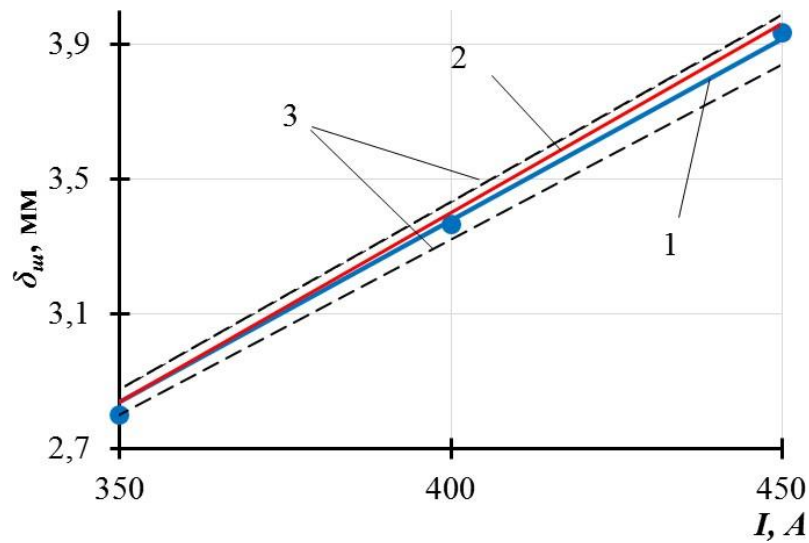


Рис. 2.14. Зіставлення розрахункових та отриманих даних:

1 – результати дослідів; 2 – розраховані результати;

3 – границі довірчого інтервалу.

Встановлено, що в умовах експлуатації на глинистих ґрунтах, модернізовані лемеші демонструють ресурс, який у 1,4 рази перевищує показники серійних зразків. На піщаних ґрунтах ця перевага становить 1,3 рази.

Ремонтні вставки для лемешів виготовляються з листової сталі марки 65Г за допомогою кривошипних (гільйотинних) ножиць з похилим ножем, наприклад, моделі НД 3312 Б. Після процедури зміцнення, використовуючи заточний верстат, видаляються надлишки матеріалу, і при необхідності, лезова частина вставок доводиться до потрібної гостроти, згідно з технічними вимогами. Приварювання підготовлених ремонтних вставок до основи лемешів плугів здійснюється із застосуванням спеціалізованих пристосувань для зварювання, при цьому вставки приварюються встик.

Враховуючи тип ґрунту, рекомендується різний підхід до зміцнення лемешів. Для глинистих і суглинистих ґрунтів зміцнення краще проводити з тильного боку, щоб забезпечити самозагострення лемеша під час роботи. Для піщаних ґрунтів, навпаки, доцільніше зміцнювати робочу поверхню, щоб збільшити термін служби лемеша.

Таким чином, для відновлення та підвищення зносостійкості лемешів

плугів, що працюють у різних ґрунтових умовах, спроектовано діляницю з відповідним розміщенням обладнання. Її середня площа складає 72 м². Планується однозмінна робота діляниці з річним обсягом виробництва до 1000 деталей. Основу технологічного процесу складає комбінація відновлення за допомогою додаткових ремонтних елементів та їх електроконтактного зміцнення. Технологічні операції виконуються за змінно-потоквою схемою.

2.7. Висновки за розділом.

У ході лабораторно-польових досліджень плужних лемешів, здійснених у реальних виробничих умовах сільськогосподарських підприємств Черкаської та Рівненської областей, виявлено, що на піщаних і супіщаних ґрунтах стандартні лемеші плугів демонструють передчасне зношування. Це проявляється у лінійній втраті товщини з формуванням радіального зносу на робочій поверхні після обробки 6 гектарів. Водночас, ресурс модернізованих лемешів перевищує показник стандартних зразків у 1,3 раза, досягаючи 7,9 гектарів.

Аналогічні лабораторно-польові дослідження плужних лемешів, виконані в господарствах Київської та Рівненської областей, показали, що на глинистих і суглинистих ґрунтах граничний стан стандартних лемешів плугів настає внаслідок лінійного зношування вістря та леза по ширині після обробки 19,5 гектарів. Ресурс модернізованих лемешів, у свою чергу, переважає ресурс стандартних у 1,4 раза, становлячи 28,1 гектарів.

РОЗДІЛ 3.

ОХОРОНА ПРАЦІ

В умовах поглиблення спеціалізації та концентрації аграрного виробництва, що спираються на міжгосподарську кооперацію й агропромислову інтеграцію, збільшується забезпеченість сільської місцевості різноманітною технікою. Відповідно, зростає значущість якісної підготовки сільськогосподарських працівників у сфері безпеки праці та виробничої санітарії.

3.1. Забезпечення безпечних умов праці та реалізація заходів охорони праці в господарстві.

Організація охорони праці в господарстві є важливою складовою ефективного функціонування підприємства, оскільки спрямована на забезпечення безпеки працівників, збереження їхнього здоров'я та попередження виробничого травматизму. Система управління охороною праці формується на основі чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю та відповідних галузевих нормативів.

Відповідальність за стан охорони праці в господарстві несе керівник підприємства. На кожному виробничому підрозділі призначаються відповідальні особи, які контролюють дотримання правил техніки безпеки, протипожежної безпеки та санітарно-гігієнічних норм. Для забезпечення безпечних умов праці в господарстві розробляються інструкції з охорони праці для кожної професії та виду робіт.

Основні організаційні заходи з охорони праці включають:

- проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів з питань безпеки праці;
- організацію навчання та перевірки знань з охорони праці;

- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (спецодягом, спецвзуттям, захисними рукавицями, касками тощо);
- своєчасне проведення медичних оглядів працівників, які працюють у шкідливих або небезпечних умовах;
- контроль за станом вентиляції, освітлення, рівнем шуму, вібрації та мікрокліматом у виробничих приміщеннях;
- перевірку технічного стану машин, механізмів, сільськогосподарської техніки перед початком роботи;
- проведення профілактичних оглядів електроустановок, систем опалення, водопостачання та заземлення.

Окрему увагу приділяють організації пожежної безпеки. На території господарства встановлюються пожежні щити, вогнегасники, ємності з водою, пісок та лопати. Працівники проходять інструктаж з правил пожежогасіння та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Для запобігання нещасним випадкам і професійним захворюванням ведеться систематичний моніторинг стану охорони праці, аналізуються причини можливих порушень і розробляються коригувальні дії. Проводяться внутрішні перевірки, аудити безпеки та оцінка ризиків за видами робіт.

Загалом, ефективна організація охорони праці в господарстві забезпечує стабільність виробничих процесів, зниження витрат на ліквідацію наслідків аварій і травматизму, підвищує трудову дисципліну та продуктивність праці, сприяє формуванню культури безпеки серед працівників.

3.2. Оцінка стану та ефективності заходів з охорони праці при експлуатації ґрунтообробних машин.

Трактористи повинні бути забезпечені необхідним спецодягом — костюмом із пило-непроникної тканини, комбінованими рукавицями та захисними окулярами. Технічний стан тракторів і ґрунтообробних машин має відповідати вимогам експлуатаційної інструкції. Забороняється перебування

сторонніх осіб на тракторі під час його роботи або переїзду. Кожен тракторист повинен бути навчений правилам надання домедичної допомоги та мати на тракторі аптечку першої допомоги.

Перед початком роботи слід одягнути спецодяг і правильно його заправити, щоб уникнути звисаючих частин. Під час приєднання трактора до причіпної техніки необхідно тримати безпечну відстань не менше 1,5 м. Зчеплення слід виконувати лише після повної зупинки трактора. Перед запуском двигуна потрібно перевірити правильність положення важелів перемикання передач і справність блокувального пристрою. Роботу дозволено розпочинати лише після ретельної перевірки технічного стану агрегату. Під час запуску пускачем не можна намотувати мотузку на руку. Перед рушанням слід переконатися у відсутності людей поблизу, подати попереджувальний сигнал і діяти обережно під час навішування обладнання на трактор.

Під час піднімання або опускання навісного знаряддя, а також при поворотах необхідно впевнитися, що це не створює небезпеки для інших працівників. Заборонено сідати або сходити з рухомого агрегату. Не можна перебувати під піднятим навісним обладнанням під час його регулювання чи ремонту. При тривалих зупинках знаряддя має бути опущене на землю. Встановлення додаткових сидінь на причіпних агрегатах, не передбачених конструкцією, заборонене. У темний час доби трактор повинен бути обладнаний справними освітлювальними приладами. Очищення плуга від бур'янів і налиплого ґрунту проводиться лише після повної зупинки агрегату. Під час очищення зубових борін потрібно користуватися спеціальними гачками. Недотримання цієї вимоги може призвести до травм. Під час боронування засміченого поля зубці борін слід розташовувати скосами у напрямку руху для самоочищення, а на чистому полі — у протилежному напрямку. Зберігати борони потрібно зубцями вниз. При роботі з дисковими боронами або лушпильниками слід стежити за правильністю встановлення чистиків, забезпечуючи зазор між чистиком і диском не менше 2 мм.

У разі виявлення несправності агрегат необхідно негайно зупинити. При нещасному випадку слід повідомити керівництво, надати потерпілому першу допомогу та зберегти місце події без змін до проведення розслідування.

Після завершення роботи потрібно вивести агрегат із загінки, дотримуючись затвердженого маршруту руху, і поставити його на визначене місце стоянки. Заглушити двигун, загальмувати трактор, а взимку — злити воду з системи охолодження. Очистити агрегат від бруду, пилу та рослинних решток, провести огляд і усунути виявлені несправності. Після роботи зняти спецодяг, вимитися, а за можливості — прийняти душ.

3.3. Висновки по розділу.

Розроблено систему організаційних умов і заходів з охорони праці в господарстві для забезпечення безпечної роботи працівників під час виконання виробничих операцій. Досліджено методику моделювання технологічних процесів при роботі з ґрунтообробними машинами та проаналізовано можливі небезпечні ситуації. Зокрема, змодельовано процес виникнення травматизму під час роботи з експериментальною установкою. Проведено детальний аналіз вимог безпеки при експлуатації ґрунтообробної техніки.

РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Комплексна оцінка економічної ефективності процесів відновлення та зміцнення лемешів плугів з урахуванням експлуатаційних факторів.

У роботі обґрунтовано експлуатаційні та технологічні пропозиції, спрямовані на підвищення ресурсу лемешів плугів, а також проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впроваджених заходів. Для виконання розрахунків техніко-економічної оцінки підвищення ресурсу лемешів були використані методики, наведені в роботах [22, 23].

Річний економічний ефект від упровадження технологічного процесу відновлення та зміцнення лемешів плугів з урахуванням умов їх експлуатації визначався для ділянки, що здійснює відновлення деталей для власних потреб, як різниця між витратами на придбання та транспортування певної кількості нових лемешів, необхідної для обробітку наявних у господарстві площ, і витратами на собівартість відновлення та зміцнення ремонтного фонду для обробітку аналогічної площі, включаючи питомі капітальні витрати.

Розрахунок проводили за формулою:

$$E_p = C_n N_n + C_{n.tr} - (C_v + E_n K_n) N_v, \quad (4.1)$$

де E_p – річний економічний результат від відновлення та зміцнення деталей на власній ремонтній базі для внутрішніх потреб господарства, грн.;

C_n – вартість нової деталі, грн.;

$C_{n.tr}$ – витрати на транспортування нових запасних частин, грн.;

N_n , N_v – кількість нових, а також відновлених і зміцнених деталей, виготовлених у власній майстерні, необхідних для обробки земель, що є у

власності господарства, шт.;

$C_{\text{в}}$ – собівартість відновлення і зміцнення однієї деталі, грн.;

K_n – капітальні вкладення на відновлення та зміцнення однієї деталі, грн.;

E_n – нормативний показник ефективності інвестицій ($E_n=0,15$).

Орієнтовна вартість нової запчастини становить 300,0 грн. Щорічно передбачається два візити для придбання нових деталей на відстань до 50 км, з урахуванням сукупних транспортних витрат у розмірі 500 грн. Собівартість реставрації ($C_{\text{в}}$) визначається згідно з [93], а капіталовкладення на одиницю продукції складають 56,8 грн. Кількість необхідних нових та відновлених/зміцнених лемешів плугів для обробки земельних ділянок площею 1636,7 га (глинисті та суглинисті ґрунти) та 327,3 га (піщані та супіщані ґрунти) може бути обчислена як відношення площі до ресурсу нової ($W_{\text{нз}} = 19,5$ га, $W_{\text{нп}} = 6$ га) та відновленої ($W_{\text{вз}} = 28,1$ га, $W_{\text{вс}} = 7,9$ га) деталі.

Узагальнена собівартість регенерації та підсилення лемешів плугів визначається за наступною формулою:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{зн}} + C_{\text{м}} + C_{\text{у}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{дз}}, \quad (4.2)$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість відновлення та посилення одного робочого елемента, грн.;

$C_{\text{зн}}$ – загальна заробітна плата з урахуванням нарахувань, грн.;

$C_{\text{м}}$ – сукупна вартість матеріалів, необхідних для відновлення деталі, грн.,

$C_{\text{у}}$ – загальні витрати на підтримку та використання обладнання, грн.;

$C_{\text{пр}}$ – витрати на підтримку та ремонт приміщення, грн.;

$C_{\text{дз}}$ – загальновиробничі та загальногосподарські витрати, грн.

Загальний розмір оплати праці (включаючи основну та додаткову частини, а також нарахування) розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{зн}} = C_{\text{зн.о}} \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{нд}} \quad (4.3)$$

де $C_{\text{зн.о}}$ – основна заробітна плата працівника, грн.;

K_d – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату праці працівника ($K_d = 1,15$);

K_{ε} – коефіцієнт, що враховує відрахування до фонду соціального страхування від загальної суми заробітної плати (основної та додаткової) ($K_{\varepsilon} = 1,363$);

K_{nd} – коефіцієнт, що враховує премію ($K_{nd} = 1,10$).

Первинна оплата праці працівників розраховується на основі складності (нормативного часу) робіт, задіяних у технологічних процесах відновлення та зміцнення лемешів плугів, і середньої погодинної тарифної ставки робітника, яка становить 52,16 грн/год.

Дані щодо нормативного часу (складності робіт) технологічного процесу відновлення та зміцнення лемешів плугів, з урахуванням умов їх експлуатації, представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Витрати праці на етапах технологічного процесу ремонту та посилення корпусів плугів з огляду на умови їх експлуатації

Головні аспекти операції	Узагальнені витрати праці, людино-години на леміш ПНЧС.
Очищення деталі та дефектація	0,06
Контроль якості відновленої деталі	0,02
Приварювання ремонтних вставок до остова	0,19
Електроконтактне оброблення зварного шва	0,08
Фінішне фарбування та маркування виробу	0,03
Точкове зміцнення робочої поверхні	0,09
Обрізування зношених ділянок Зачищення кромки після обрізування	0,05
У підсумку разом:	0,65

Тоді оплата праці робітників, залучених до відновлення лемеша плуга,

становитиме:

$$C_{зн.г} = 0,65 \cdot 52,16 \cdot 1,15 \cdot 1,363 \cdot 1,10 = 58,46 \text{ грн.}$$

Для ділянки відновлення плугових лемешів передбачено одного працівника з професією слюсар (верстатник)-зварювальник, за умови його додаткового завантаження на головному виробництві ремонтної майстерні.

Витрати на матеріали розраховуються як загальна сума витрат на всі види матеріалів, які використовуються для відновлення плугових лемешів.

$$C_M = \sum_{l=1}^s q_{Ml} \cdot C_{Ml}, \quad (4.4)$$

де q_M – норма споживання конкретного матеріалу, кг (шт.);

C_{Ml} – ціна матеріалу за 1 кг (шт.), грн.

Визначення загальних витрат сталі на ремонтні вставки та електродів для зварювання й наплавлення, з урахуванням довжини та катету шва, здійснюється на основі технологічного процесу. Зведені дані щодо обчислених витрат матеріалів представлені в таблиці 4.2. У таблиці наведено перелік основних матеріалів, які використовуються у технологічному процесі відновлення лемешів плугів, а також їх питома витрата та сукупна вартість на одиницю виробу. Загальна вартість матеріалів становить 105,92 грн на один леміш.

Таблиця 4.2

Визначення матеріальних витрат

№ п/п	Специфікація матеріалу та відповідна вартість	Сукупна вартість одиниці виробу, грн	Питома витрата матеріалу на одиницю виробу, кг.
1	Електрод Т-590 (Ø4 мм, 140 грн/кг)	3,92	0,028
2	Електрод УОНИ-13/55 (Ø 4 мм, 50 грн/кг)	7	0,14
3	Сталь 65Г (50 грн/кг)	95	1,9
4	Електрод Т-590 (Ø4 мм, 140 грн/кг)	3,92	0,028
5	Загальна вартість матеріалів на одиницю виробу, грн.	105,92	

Основна частка витрат на матеріали при відновленні лемешів плугів припадає на сталь 65Г, яка становить близько 90% загальної вартості та є основним конструкційним матеріалом, що забезпечує міцність і довговічність виробу. Витрати на зварювальні електроди Т-590 і УОНІ-13/55 складають приблизно 10% загальної суми, проте їх використання є технологічно доцільним, оскільки вони забезпечують надійне з'єднання деталей та підвищують зносостійкість робочої поверхні. Електрод Т-590, навіть за незначної питомої витрати, ефективно підвищує твердість наплавленого шару, що позитивно впливає на довговічність лемеша. Загальна вартість матеріалів на одиницю виробу становить 105,92 грн, що є економічно обґрунтованим показником і свідчить про доцільність відновлення лемешів порівняно з придбанням нових виробів.

Сукупні витрати на експлуатацію обладнання (C_y) визначаються на основі наступної залежності:

$$C_y = C_a + C_{\text{тпу}} + C_e + C_{\text{д}}, \quad (4.5)$$

де C_a – сума амортизаційних відрахувань на обладнання, виражена в гривнях.

$C_{\text{тпу}}$ – витрати на забезпечення працездатності та відновлення обладнання, виражені в гривнях.

C_e – витрати на споживання електроенергії, необхідної для функціонування обладнання, виражені в гривнях.

$C_{\text{д}}$ – витрати на придбання допоміжних матеріалів, що використовуються в процесі експлуатації обладнання, виражені в гривнях.

Розрахунок величини амортизаційних нарахувань на обладнання здійснюється за відповідною формулою:

$$C_a = \frac{\sum_{i=1}^n B_{y,i} \cdot a_i \cdot \mu_i}{100A}, \quad (4.6)$$

де $B_{y,i}$ – залишкова вартість одиниці обладнання, виражена в гривнях.;

n – загальна кількість одиниць обладнання;

a_i - річна норма амортизаційних відрахувань, виражена у відсотках від залишкової вартості, визначена на основі обернено пропорційної залежності від терміну корисного використання обладнання;

μ_i – коефіцієнт використання обладнання.

Вихідні дані, необхідні для здійснення калькуляції операційних витрат обладнання, представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Вхідна інформація для оцінки витрат, пов'язаних з використанням обладнання

Модель та назва обладнання	Річні норми амортизаційних відрахувань, %	Коефіцієнт зайнятості μ	Паспортна потужність, кВт	Вартість устаткування, грн.	Коефіцієнт використання за потужністю, $K_{В.П.i}$	Коефіцієнт попиту $K_{Пi}$	Реальний річний фонд робочого часу Φ_y
Джерело живлення	10	1	30	10500	0,8	0,55	1875
Опорна конструкція для проведення електрозварювальних робіт (на зразок моделі ОКС 7523)	5	0,15	2	320	0,8	0,50	2010
Двосторонній заточувально-шліфувальний верстат (ЗК634)	7,14	0,05	3,0	1020	0,5	0,18	2010
Компресор	10	0,05	2	1850	0,8	0,55	2010
Апарат для повітряно-плазмового різання (типу ПРИ-L-40)	10	0,05	5	15600	0,8	0,55	2010
Верстат вертикально-фрезерувальний	7,14	0,05	3,0	1870	0,5	0,18	2010
Пристрій для електроконтактної обробки деталей	10	1	2,5	60000	0,5	0,55	2010
Джерело живлення ТМ-100	2,15	0,15	20	1204	0,8	0,55	1875

Проведений аналіз обладнання, задіяного у відновленні та зміцненні

лемешів плугів, дозволяє зробити наступні висновки. Усього використовується низка різноманітних машин та пристроїв, включно з джерелом живлення, опорною конструкцією для електрозварювальних робіт, двостороннім заточувально-шліфувальним верстатом, компресором, апаратом для повітряно-плазмового різання, вертикально-фрезерувальним верстатом, пристроєм для електроконтактної обробки та джерелом живлення ТМ-100. Річні норми амортизаційних відрахувань варіюються від 2,15% до 10%, що відображає різну інтенсивність використання та строк служби обладнання.

Коефіцієнт зайнятості μ показує, що найбільш активно задіяні джерела живлення та пристрій для електроконтактної обробки ($\mu = 1$), тоді як інші верстати та апарати використовуються помірно ($\mu = 0,05\text{--}0,15$). Паспортна потужність обладнання коливається від 2 кВт до 60 кВт, при цьому найпотужнішими є апарат для електроконтактної обробки (60 кВт) та апарат для повітряно-плазмового різання (5 кВт).

Вартість устаткування значно варіюється: найдешевшими є опорна конструкція для електрозварювання (320 грн) та заточувально-шліфувальний верстат (1020 грн), а найдорожчим є пристрій для електроконтактної обробки деталей (60 000 грн). Коефіцієнт використання за потужністю (КВ.П.і) коливається від 0,5 до 0,8, а коефіцієнт попиту (КПі) – від 0,18 до 0,55, що свідчить про нерівномірне навантаження обладнання та необхідність планування черговості робіт для підвищення ефективності.

Реальний річний фонд робочого часу обладнання складає від 1 875 до 2 010 годин, що забезпечує достатній час для виконання всіх технологічних операцій при відновленні лемешів. Загалом, обладнання має різну потужність, вартість та інтенсивність використання, і для досягнення максимальної економічної ефективності необхідно правильно організовувати графік використання верстатів та пристроїв. З даних таблиці 4.3, сукупні витрати на амортизацію C_a та на ремонт і технічне обслуговування $C_{\text{тру}}$, у перерахунку на один леміш плуга, становлять: $C_a = 16,3$ грн, $C_{\text{тру}} = 4,9$ грн.

$$C_e = \frac{C_e}{A} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i \max} \cdot \Phi_{yi} \cdot K_{B\chi.i} \cdot K_{B\Pi.i}}{\eta_i}, \quad (4.7)$$

де C_e – вартість одного кіловат-години (кВт·г) електроенергії, виражена в гривнях;

$P_{i \max}$ – найбільша потужність обладнання, виміряна в кіловатах;

n – загальна кількість споживачів електроенергії;

$K_{B\chi.i}$ – коефіцієнт використання обладнання за часом (який приймається рівним μ);

$K_{B\Pi.i}$ – коефіцієнт використання обладнання за потужністю (знаходиться в діапазоні від 0,5 до 0,8);

η_i – середній коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигунів (0,75).

Найбільша ефективність застосування обладнання визначається за допомогою формули:

$$P_{i \max} = P_{\Pi.УСТ.i} \cdot K_{\Pi.i}, \quad (4.8)$$

де $P_{\Pi.УСТ.i}$ – номінальна потужність одиниці обладнання, кВт.;

$K_{\Pi.i}$ – коефіцієнт попиту обладнання.

Загальні витрати електроенергії на привід плуга, розраховані на один леміш - $C_E = 11,8 \text{ грн.}$

Загальні витрати на допоміжні матеріали, необхідні для обслуговування обладнання та інших потреб, включають вартість стисненого повітря (яка вже врахована у витратах електроенергії компресора), води, обтиральних, мастильних та охолоджувальних матеріалів. Однак, враховуючи незначний обсяг їх використання, вартість останніх може бути проігнорована.

У підсумку, загальні витрати на обслуговування обладнання, враховані на кожен плуг, становитимуть:

$$C_y = 16,3 + 4,3 + 11,8 = 32,4 \text{ грн.}$$

Утримання виробничого приміщення передбачає низку витрат, серед яких: амортизація та поточний ремонт будівлі, оплата електроенергії для освітлення, забезпечення вентиляції, а також витрати на прибирання:

$$C_{\text{ПР}} = C_{\text{ПР.АР}} + C_{\text{ПР.ОС}} \quad (4.9)$$

Стандартна фраза: Обсяг амортизаційних відрахувань обчислюється за формулою:

$$C_{\text{ПР.А}} = \frac{B_{\text{ПР}} \cdot a_{\text{ПР}}}{100 \cdot A}, \quad (4.10)$$

де $B_{\text{ПР}}$ – вартість виробничого приміщення, гривні;

$a_{\text{ПР}}$ – норма амортизаційних відрахувань на виробничі приміщення за рік, у відсотках ($a_{\text{ПР}} = 2,8$).

Площа ділянки ($S_{\text{ПР}} = 72 \text{ м}^2$) становить приблизно 7 % від загальної площі цеху, вартість якого складає 52860 грн. Тоді:

$$C_{\text{ПР.А}} = \frac{52860 \cdot 0,07 \cdot 2,8}{100} = 103,6.$$

Загальні витрати на поточний ремонт ділянки (при стандартній нормі нарахувань 1 %) становлять 37 грн.

Отже, загальна сума витрат на амортизацію та ремонт приміщень, що відносяться до лемеша плуга, буде:

$$C_{\text{ПР.АР}} = \frac{(103,6 + 37) \cdot 0,365}{160} = 0,322 \text{ грн.}$$

Орієнтовно 36,5% та 63,5% річного обсягу відновлення плугових лемешів, призначених для внутрішнього використання, припадають на більш пізні періоди часу.

Витрати на освітлення розраховуються за допомогою формули:

$$C_{\text{ПР.ОС}} = \frac{S_{\text{ПР}} \cdot B_E \cdot T_o \cdot C_E \cdot K_{\text{ПО}}}{1000 \cdot A}, \quad (4.11)$$

де $S_{\text{ПР}}$ – площа ділянки, м^2 ;

B_E – це загальні витрати електроенергії, необхідні для освітлення одного квадратного метра площі протягом однієї години,

$$B_E = 15 \text{ Вт.};$$

T_o – загальна тривалість освітлювального періоду, яка вимірюється в годинах. ($T_o=255$ год.);

C_e – ціна однієї кіловат-години електроенергії у гривнях.;

$K_{\text{ПО}}$ – коефіцієнт, що враховує попит на електроенергію для освітлення ($K_{\text{ПО}}=0,8$).

Таким чином, можна розрахувати питомі витрати на освітлення конкретної ділянки складу:

$$C_{\text{ПР.ОС}} = \frac{72 \cdot 15 \cdot 255 \cdot 1,585 \cdot 0,8}{1000 \cdot 160} = 2,18 \text{ грн.}$$

Отже, загальні витрати на обслуговування виробничого приміщення дорівнюватимуть:

$$C_{\text{ПР}} = 0,32 + 2,18 = 2,50 \text{ грн.}$$

Інші статті витрат у вартості відновлення та зміцнення лемешів плугів складаються з суми цехових ($C_{\text{нр}}$) та загальновиробничих ($C_{\text{зг}}$) витрат:

$$C_{\text{дг}} = C_{\text{нр}} + C_{\text{зг}} \quad (4.12)$$

Загальновиробничі витрати визначаються у відсотках до загальновиробничих витрат:

$$C_{\text{НР}} = \frac{H_B \cdot K_{\text{ІВ}}}{100}, \quad (4.13)$$

де H_B – загальні витрати, грн.;

$K_{\text{ІВ}}$ – коефіцієнт, що враховує інші дільничні витрати ($K_{\text{ІВ}}=5\%$).

Виробничі накладні витрати розраховуються за наступною формулою:

$$H_B = C_a + C_{\text{ТРУ}} + C_E + C_{\text{д}} + C_{\text{ПР.АР}} + C_{\text{ПР.ОС}}$$

$$H_B = 16,03 + 4,9 + 11,8 + 0,16 + 0,32 + 2,18 = 35,39 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$C_{HP} = \frac{35,39 \cdot 5}{100} = 1,76 \text{ грн.}$$

Управлінські витрати включають витрати на підготовку та організацію виробництва:

$$C_{3Г} = \frac{B_{П.ОВ}}{A \cdot t}, \quad (4.14)$$

де $B_{П.ОВ}$ – сукупна вартість витрат на освоєння виробництва, грн.;

t – Період амортизації витрат (від 2 до 5 років). Припускається, що $t = 5$ років.

Витрати на освоєння виробництва включають в себе загальну вартість будівельно-монтажних та пусконаладжувальних робіт, а також суму, витрачену на розробку та впровадження технологічних процесів. Загальну вартість будівельно-монтажних та пусконаладжувальних робіт розраховують за формулою:

$$C_{БМ.ПН} = \sum_{i=1}^n C_{УСТ} (K_{Б.Ф} + K_{М.О}),$$

де $C_{УСТ}$ – ціна за одиницю обладнання, грн.;

$K_{Б.Ф}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на будівельні роботи та спорудження фундаменту (діапазон значень: 0,02 - 0,08);

$K_{М.О}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на встановлення та введення обладнання в експлуатацію (діапазон значень: 0,04 - 0,06).

Обчислення вартості зазначених робіт рекомендується виконувати виключно для нового обладнання, а саме – установок для електроконтактного зміцнення:

$$C_{БМ.ПН} = 60000 \cdot (0,02 + 0,04) = 3600 \text{ грн.}$$

Загальна сума витрат на розробку та впровадження технологічного процесу становить 6000 грн. Таким чином, підсумковий абсолютний розмір витрат на освоєння виробництва дорівнює:

$$B_{п.ов}=3600+6000=9600 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати, розподілені на леміш плуга, становитимуть:

$$C_{зг} = \frac{9600 \cdot 0,365}{160 \cdot 5} = 4,38 \text{ грн.}$$

Отже, сума інших витрат, відповідно до розрахунків за формулою 4.12, становить 6,14 грн (1,76 грн + 4,38 грн).

Таким чином, для визначення повної собівартості робіт з відновлення та зміцнення лемеша плуга, необхідно застосувати розраховані значення компонентів у формулі 5.2.:

$$C_B=58,46+102,92+32,4+2,50+6,14=202,41 \text{ грн.}$$

Відповідно до формули 4.1, було розраховано загальний річний економічний вплив від застосування технології відновлення та покращення лемешів плугів, з урахуванням особливостей їх експлуатації, для внутрішніх потреб підприємства.

За результатами розрахунків, загальний річний економічний ефект на площі 1636,7 га глинистих і суглинистих ґрунтів та 327,3 га піщаних і супіщаних ґрунтів склав 20018,93 грн.

4.2 Висновки за розділом.

За попередніми підрахунками, запровадження модернізованої технології відновлення та посилення плужних лемешів для внутрішнього використання приносить економічну вигоду в розмірі 20018,93 грн на рік.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено теоретичне узагальнення, спрямоване на збільшення терміну служби відновлених робочих елементів машин для інтенсивного обробітку ґрунту, зважаючи на специфіку експлуатаційних умов. Розв'язання зазначеної проблеми досягається шляхом розробки технологічних процесів реставрації та посилення лемешів плугів, що адаптовані до умов їх застосування на ґрунтах з різними показниками абразивності.

На основі графічного дослідження характеру зносу лемешів плугів та умов їх функціонування визначено, що на важких ґрунтах (глинистих та суглинистих) критерієм виходу з ладу є втрата гостроти та зменшення ширини лемеша, тоді як на легких ґрунтах (піщаних та супіщаних) домінуючим фактором є зменшення товщини.

На основі проведеного аналізу способів відновлення та підвищення міцності лемешів, спрямованих на збільшення терміну їх служби при відновленні ремонтними елементами зі сталі 65Г, обґрунтовано раціональність застосування технологічних алгоритмів зміцнення лемешів, що беруть до уваги умови їх функціонування на ґрунтах з різною абразивною здатністю. Зазначені алгоритми передбачають зміцнення робочих елементів для піщаних та супіщаних ґрунтів з боку контакту з ґрунтом, а для глинистих та суглинистих ґрунтів – з протилежного боку.

Відповідно до результатів лабораторно-польових досліджень, встановлено кореляцію між критичним станом конструкційних характеристик лемешів плугів, зміцнених з урахуванням умов їх експлуатації, та обсягом виконаної роботи. Доведено, що строк служби зміцнених лемешів при роботі на піщаних та супіщаних ґрунтах перевищує аналогічний показник серійних зразків у 1,3 рази, а при роботі на глинистих та суглинистих ґрунтах – у 1,4 рази.

Впровадження удосконалених технологій відновлення та зміцнення лемешів плугів, адаптованих до специфіки експлуатації на ґрунтах з різним ступенем абразивності, за розрахунками, забезпечить річний економічний

ефект у розмірі 20 018,93 грн на площі 1636,7 га, зайнятій глинистими та суглинистими ґрунтами, а також на площі 327,3 га з піщаними та супіщаними ґрунтами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2416-94 Плуги загального призначення та луцильники лемішні. Загальні технічні умови.
2. ДСТУ 7817:2015 Сільськогосподарські машини. Лапи ґрунтообробних машин та агрегатів. Загальні технічні вимоги.
3. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. ННЦ «ІМЕСГ»; кол. авторів; за наук. ред. В. В. Адамчука та М. І. Грицишина. Київ: Аграр. наука, 2012. 416 с.
4. DIN EN 10083-3:2006-10. Steels for quenching and tempering. Part 3: Technical delivery conditions for alloy steels.
5. 34MnB5 - Salzgitter Flachstahl GmbH URL: https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/34mnb5.pdf (дата звернення: 21.12.2023).
6. ДСТУ 8429:2015 Прокат із ресорно-пружинної вуглецевої та легованої сталі. Технічні умови.
7. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру (додатки 2-57 до Порядку). Постанова Кабінету Міністрів України № 1051 від 17.10.2012.
8. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков, 2007. 395 с.
9. Заставний Ф. Д. Економічні райони України. Реалії та перспективи (природно-географічні, історичні, національно-культурні, національно-політичні). Львів, 2010. 207 с.
10. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: дис. ... докт. техн. наук : 05.02.04. Хмельницький, 2015. 360 с.
11. Балабуха О. В. Підвищення довговічності і ефективності роботи ріжучих елементів ґрунтообробних машин шляхом управління спрацюванням при дискретному зміцненні: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Кіровоград, 2001.

134 с.

12. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04. Київ, 2007. 183 с.

13. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки: дис. канд.техн. наук : 05.26.01. Харків, 2013. 167 с.

14. Дудник В. В. Розробка технології відновлення та підвищення надійності лемешів ґрунтообробних машин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2012. 20 с.

15. Голубина С. А. Повышение износостойкости отвалов плугов полуавтоматической вибродуговой наплавкой: дис. ... канд. техн. наук :05.20.03. Калуга, 2016. 131 с.