

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН  
ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ НАПЛАВНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІз-1-22  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Мацак Микола Михайлович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Деркач Олексій Дмитрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

ДНІПРО – 2024

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**Мацаку Миколі Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** «Підвищення зносостійкі робочих органів машин застосуванням спеціальних наплавних матеріалів»

Керівник роботи: Деркач Олексій Дмитрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ДДАЕУ від

«26» грудня 2023 року № 40842. **Строк подання студентом роботи** 09.02.2024 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Шляхи підвищення зносостійкості деталей машин та обладнання. Зносостійкі матеріали, технології їх одержання. Наукові публікації щодо використання спеціальних зносостійких матеріалів в конструкціях ґрунтообробної техніки.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз існуючих зносостійких матеріалів та сфер їх використання. Розробити програму, навести перелік обладнання та методики виконання досліджень. Визначити та порівняти відносну абразивну стійкість еталонного зразку та зразків із нанесеними спеціальними покриттями Розглянути вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів. Виконати техніко-економічний аналіз дипломної роботи.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

Тема, мета, задачі роботи (2 аркуші, А4). Аналіз актуальності обраної тематики (2 аркуші, А4). Обладнання та засоби для виконання досліджень (1 аркуш, А4). Основні результати роботи (3 аркуші, А4). Оцінка економічної ефективності роботи. (1 аркуш, А4). Загальні висновки дипломної роботи (1 аркуш, А4).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
2	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
3	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
4	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
5	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		
6			
нормоконтроль	Деркач О.Д., доц. каф. ЕМТП		

7. Дата видачі завдання: 16.11.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оглядовий (аналіз з обраної тематики)	до 27.11.2023 року	виконано
2	Програма та методики робіт, обладнання експериментальних досліджень	до 05.12.2023 року	виконано
3	Результати досліджень	до 20.12.2023 року	виконано
4	Охорона праці	до 17.01.2024 року	виконано
5	Економічна оцінка дипломної роботи	до 31.01.2024 року	виконано
6	Демонстраційний матеріал	до 05.02.2024 року	виконано

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Микола МАЦАК**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Олексій ДЕРКАЧ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)



УДК 631.3

### АНОТАЦІЯ

Мацак М.М. Підвищення зносостійкі робочих органів машин застосуванням спеціальних наплавних матеріалів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2024 р.

В дипломній роботі проведений аналіз існуючих зносостійких матеріалів та сфер їх використання. Розроблено програму експериментальних досліджень, наведено перелік обладнання та методик для виконання роботи. Визначено величину зносу, проведено порівняння відносної абразивної стійкості еталонного зразку та зразків із нанесеними спеціальними покриттями. Наведено рекомендації щодо використання одержаних результатів досліджень. Розглянуто вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів. Виконано техніко-економічний аналіз дипломної роботи.

*Ключові слова:* зносостійкість, відносна абразивна стійкість, спеціальні наплавні матеріали, робочі органи машин, культиваторні лапи, зношування.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СФЕР ЇХ ВИКОРИСТАННЯ</b> .....	10
1.1 Огляд існуючих зносостійких матеріалів.....	10
1.2 Огляд існуючих наплавних матеріалів та сфер їх використання.....	14
1.3 Застосування спеціальних зносостійких матеріалів в конструкціях сільськогосподарської техніки.....	19
1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи.....	24
<b>2 ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	26
2.1 Програма та завдання досліджень.....	26
2.2 Методика визначення шорсткості поверхонь досліджуваних матеріалів....	28
2.3 Методика визначення густини досліджуваних матеріалів.....	31
2.4 Методика визначення відносної абразивної стійкості.....	32
2.5 Методика металографічних досліджень.....	34
<b>3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	36
3.1 Результати визначення шорсткості поверхонь досліджуваних зразків.....	36
3.2 Результати визначення густини досліджуваних зразків.....	37
3.3 Результати визначення величини зносу та відносної абразивної стійкості..	38
3.4 Результати металографічних досліджень.....	40
3.5 Рекомендації щодо використання одержаних результатів.....	42
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> ...	45
4.1 Основні положення охорони праці.....	45
4.2 Основні вимоги безпеки праці при наплавленні в середовищі захисних газів.....	46
4.3 Дії у випадку надзвичайної ситуації.....	47

<b>5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>48</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>55</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>57</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>60</b>

## ВСТУП

Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробної сільськогосподарської техніки використанням спеціальних наплавних матеріалів є одним із важливих завдань технічної експлуатації. На сьогодні розроблено значну кількість технологій, які дозволяють підвищити довговічність деталей машин. Широке впровадження наплавлення в промисловості показало, що цей технологічний процес підвищення довговічності деталей машин є актуальним, і знижує витрату металу на їх виготовлення. Використання таких методів забезпечує будь-які характеристики (твердість, міцність, корозійну стійкість) нанесених зносостійких покриттів завдяки, насамперед оптимально підбраному хімічному складу наплавних матеріалів. При цьому, найвищу зносостійкість, при роботі в зазначених умовах, мають композиційні покриття на основі тугоплавких сполук.

Нанесення спеціальних покриттів на поверхню деталей, дозволяє забезпечити не тільки необхідні характеристики, а й незначну собівартість виготовлення деталей або їх відновлення. Використання таких матеріалів при відновленні зношених деталей забезпечує невисоку вартість ремонтних робіт, у порівнянні із купівлею нових. Саме тому, використання наплавних матеріалів є актуальним завданням сьогодення. Невисока вартість наплавних матеріалів та їх широке різноманіття дозволяє обрати матеріал, що забезпечить необхідне співвідношення «вартість-довговічність».

При вивченні абразивної стійкості поверхонь деталей з використанням спеціальних матеріалів важливо враховувати їхню здатність забезпечувати оптимальний рівень абразивної стійкості в конкретних умовах експлуатації. Такі дослідження, сприяють розробці та впровадженню технологічних рішень, для покращення якості та тривалості служби робочих органів сільськогосподарської техніки та промислового обладнання.



Саме тому, метою роботи є визначення та порівняння відносної абразивної стійкості еталонного зразку та зразків з нанесеними спеціальними зносостійкими покриттями.

Для досягнення мети дипломної роботи виконували такі завдання:

1. Проаналізувати технології одержання спеціальних зносостійких матеріалів та сфер їх використання.
2. Розробити програму експериментальних досліджень, навести методики виконання робіт.
3. Визначити та порівняти відносну абразивну стійкість еталонного зразку та зразків із нанесеними спеціальними покриттями.
4. Розглянути вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів.
5. Навести техніко-економічний аналіз дипломної роботи.

# 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СФЕР ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

## 1.1 Огляд існуючих зносостійких матеріалів

Ресурс роботи устаткування, машин та механізмів у різних галузях промисловості переважно визначається терміном служби деталей машин і механізмів, що працюють за умов абразивного, гідро-абразивного, та інших видів зношення. Тому, одним із основних завдань машинобудування є забезпечення необхідної зносостійкості деталей трибоспряжень. Цього можна досягнути шляхом використання спеціальних зносостійких конструкційних матеріалів. Такі матеріали умовно можна розділити на п'ять основних груп (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Зносостійкі матеріали

Розглянемо детальніше їх переваги і недоліки. Вказані матеріали у табл. 1.1 можна розділити на метали, неметали та композиційні порошкові матеріали.

Одним із поширених матеріалів для роботи деталей в абразивному середовищі є білі чавуни. Вони містять різні компоненти у своєму складі, основним компонентом легування якого виступає хром, його вміст може досягати 12 % і більше. Крім того, до вказаного матеріалу додають також нікель, мідь, марганець та ін. Основною сферою використання деталей із білого чавуну є видобувна галузь, металургія та використання в техніці, робочі органи якої працюють в підвищеному абразивному середовищі.

Перевагою таких матеріалів є їх висока зносостійкість у поєднанні із значною міцністю. Вони можуть працювати за значних знакозмінних навантажень. При цьому, до їх недоліків можна віднести висока вартість готових деталей, так як вони виготовляються шляхом лиття. Крім цього, при зношенні таких матеріалів, їх досить складно відновлювати. Тому виконують повну заміну зношеної деталі, що суттєво збільшує затрати на ремонт.

Зносостійкі сталі одержують шляхом розплавлення компонентів та литтям готової продукції у форми. Найбільш розповсюджені групи зносостійких сталей наведені на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Основні групи зносостійких сталей

Вказані групи мають свої особливості застосування, що обумовлено їх властивостями. Високомарганцеві сталі містять значний обсяг марганцю – 14 % і більше, незначний вміст вуглецю та кремнію, до декількох відсотків кожен. Деталі з таких сталей здатні працювати за умов значної кількості абразивних частинок, за високих значень тиску та ударних навантажень. В

сільськогосподарській техніці з них виготовляють траки для гусеничної техніки та робочі ограни різноманітних дробарок.

Графітізована сталь одержується шляхом короткочасного відпалу, результатом якого є утворення вільного графіту відпалу. До складу такої сталі входить незначна кількість вуглецю та кремнію – до 2 % кожного елементу. Вільних графіт виступаю так званим мастильним матеріалом, тому часто таку сталь встановлюють взамін деталей з бронзи. Вона широко використовується в ДВЗ, наприклад у якості матеріалу для компресійних кілець, колінвалів та ін.

За назвою підшипникових сталей, стає зрозумілим основна сфера їх застосування це виготовлення елементів підшипників кочення. Самі ж підшипникові сталі це леговані конструкційні сталі. Основний недолік таких матеріалів є необхідність високоточного обладнання для виготовлення елементів підшипників. Тільки в такому випадку можна отримати деталь із значною довговічністю. У випадку низької точності розмірів деталей, їх ресурс значно зменшується, що обґрунтовано ударними навантаженнями.

Інструментальні сталі дозволяють одержувати інструмент, що має значну зносостійкість, термостійкість та міцність. Для одержання таких сталей необхідно вносити значний обсяг та кількість легуючих елементів, таких як хром, вольфрам, молібден та ін. Вміст легуючих елементів може сягати 25 %, що призводить до значного зростання собівартості одержання таких сталей. Тому, вони отримали широке використання тільки в сфері виготовлення промислового інструменту.

Порошкові матеріали або матеріали отримані на основі спікання певних елементів порошків сьогодні починають широко впроваджувати у промислових масштабах. Такі матеріали мають значну твердість та міцність при високій зносостійкості у поєднанні з помірною собівартістю одержання готових виробів. Основними компонентами таких матеріалів є карбіди (або бориди), вольфрам, хром, нікель, кобальт та ін. Сьогодні такі матеріали досить широко використовуються у вузлах тертя сільськогосподарської техніки: сівалках, культиваторах, боронах та ін. Проте, виготовлення деталей значних

геометричних розмірів або у якості покриття має певну технологічну складність.

Зносостійкі матеріали на основі кераміки мають високу твердість та зносостійкість. Для забезпечення вказаних властивостей до кераміки додають карбіди металів. Недоліком таких матеріалів є їх висока собівартість та незначна міцність, що обмежує широке впровадження в машинобудівній галузі.

Одним із важливим напрямком забезпечення високої зносостійкості поверхонь тертя є створення спеціальних покриттів. Для одержання таких покриттів використовують напилення або наплавлення твердих сплавів. Такими сплавами можуть бути матеріали типу: сормайт, стерліт, реліт. Основними легуючими елементами в таких сплавах є хром, кобальт, вольфрам та нікель. Основними перевагами використання саме наплавних матеріалів є незначна вартість відновлення зношеної поверхні або незначна вартість одержаної зносостійкої поверхні деталі. В той час, як основна частина деталі виготовляється із матеріалу, що має значно меншу собівартість та виконує функції забезпечення загальних властивостей деталі, таких як пружність та жорсткість. Крім того це дозволяє одержувати деталі складної конфігурації, забезпечуючи високу зносостійкість тільки в місцях де вона потрібна, а не по всій поверхні деталі. Тому, такі деталі мають значно меншу собівартість, у порівнянні наприклад, із білим чавуном чи зносостійкими сталями. Необхідно також звернути увагу, що використання зносостійких наплавних матеріалів дозволяє зменшити затрати коштів на виконання ремонтних робіт, а й часу, так як наплавлення значної кількості вказаних матеріалів можна виконати в умовах ремонтних майстерень чи станцій обслуговування техніки. Саме собівартість та проста технологія одержання зносостійкого покриття стали основними факторами, що забезпечили широке розповсюдження даних матеріалів.

Промисловість пропонує значну кількість наплавних матеріалів у різних формах, технологіях нанесення та ін. Тому, є необхідність у короткому огляді існуючих наплавних матеріалів та сферах їх використання, зокрема в сільськогосподарському машинобудуванні.

## 1.2 Огляд існуючих наплавних матеріалів та сфер їх використання

На сьогодні розроблено значну кількість технологій, які дозволяють підвищити довговічність деталей машин [1, 2]. У промисловості накопичено значний досвід підвищення зносостійкості поверхонь тертя, при цьому застосовуються різноманітні методи досягнення бажаного результату. Зазвичай використовують три основні методи підвищення зносостійкості (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Методи підвищення зносостійкості поверхонь деталей

Кожен з наведених методів має свої переваги та недоліки. Вибір конкретного варіанту повинен спиратися на значну кількість факторів, від режимів роботи до технології одержання та собівартості одержаного продукту.

Проте, найбільш ефективним способом зміцнення залишаються такі методи, як наплавлення та напилення робочих поверхонь. Використання таких методів забезпечує будь-які характеристики (твердість, міцність, корозійну стійкість) нанесених зносостійких покриттів завдяки, насамперед оптимально підбраному хімічному складу наплавних матеріалів. При цьому, найвищу зносостійкість, при роботі в зазначених умовах, мають композиційні покриття на основі тугоплавких сполук. Зазвичай, основними компонентами таких матеріалів є частинки нітридів, карбідів та ін. елементів, що мають значну твердість та міцність. Ці тверді частинки самостійно створюють крихкі матеріали, тому їх наносять на певну основу, наприклад зі сталі [2, 3]. Наплавлення зносостійкого матеріалу дозволяє досить точно підібрати склад

суміші компонентів для одержання бажаного ефекту. Останнім часом, значну увагу приділяють наплавним матеріалам на основі вольфраму. Перелік розповсюджених способів наплавлення матеріалів та сплавів наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Способи наплавлення матеріалів і сплавів

Широке впровадження наплавлення в промисловості показало, що цей технологічний процес підвищення довговічності деталей машин є актуальним, і знижує витрату металу на їх виготовлення [4, 5]. У багатьох промислових підприємствах створені спеціальні відділи зварювання, організовані спеціалізовані відділи або навіть цехи для виготовлення зварних металоконструкцій, проведення процесів відновлення та зміцнення наплавленням.

Перелік найбільш розповсюджених груп наплавних матеріалів наведено на рис. 1.5.

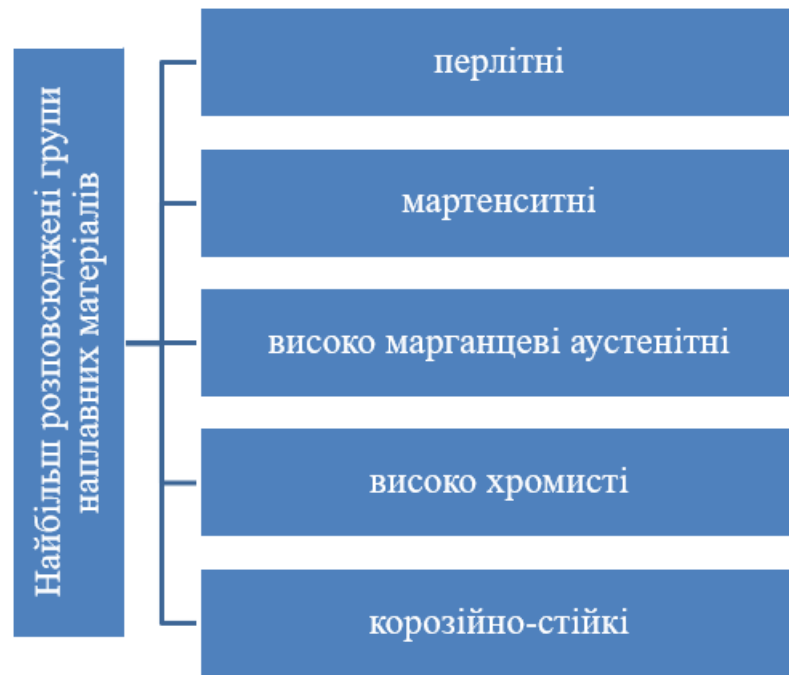


Рисунок 1.5 – Основні групи наплавних матеріалів

Зазвичай, такі матеріали виготовляються для виконання робіт в промислових масштабах та мають вигляд спеціальних електродів, смуг чи трубчастих елементів (рис. 1.6-1.7).



Рисунок 1.6 – Наплавні матеріали та сплави у вигляді електродів та дротів

Електроди та спеціальні дроти є одними із найбільш розповсюджених та доступних видів наплавних матеріалів, що використовуються в промислових масштабах. Пов'язано це із незначною вартістю та простотою технологічного процесу наплавлення за допомогою таких матеріалів. В залежності від типу



основи та необхідних властивостей поверхні обирають певний тип матеріалу. Такі види наплавних матеріалів часто використовують для підвищення зносостійкості робочих поверхонь сільськогосподарської техніки.

Матеріали у вигляді порошкових смуг використовуються для наплавлення деталей, які працюють в умовах різних видів інтенсивного абразивного зношування [6, 7]: робочі органи кар'єрної техніки, дробарок породи, ролики, валки обладнання гірничої промисловості та ін.



Рисунок 1.7 – Наплавні матеріали у вигляді смуг [6, 7]

Найбільш розповсюдженими видами наплавних матеріалів є електроди та порошкові смуги [8-10] різних видів (табл. 1.1), зокрема такі як, ПЛАН-Т, ПС12нвк, Т-600 (540) Сормайт, VT-HS-610 та ін.

Таблиця 1.1

#### Характеристики деяких наплавних матеріалів

Назва (марка) матеріалу	Твердість матеріалу, HRC	Сфера використання наплавних матеріалів	Середня вартість, грн/кг
ПС12-НВК	40-58	Наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування	1600

## Продовження табл. 1.1

T-600 (540) Сормайт	44-52	Наплавлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування	250
ВЕЛТЕК- VT-HS-610	60-63	Наплавлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування та корозії	550
ВЕЛТЕК- H540	50-58	Наплавлення робочих органів гірничих машин, робочих органів грунтообробної техніки, роликів ходових систем гусеничної техніки та ін.	600
OK Tubrodur 58	52-58	Наплавлення робочих органів гірничих машин	520
SK 260	58-60	Робочі органи в зоні зі значною кількістю абразивних частинок	480

Середня вартість наплавних матеріалів може значно відрізнятись, в залежності від сфери їх застосування та якості одержаних покриттів. Так, вартість матеріалів типу «Сормайт» становить – 250...350 грн/кг. Більшість інших матеріалів мають вартість в діапазоні 450...600 грн/кг. Найбільшу вартість мають такі компоненти (порошки) наплавних матеріалів, як вольфрам (2400...2600 грн/кг), нікель (2000...3200 грн/кг), хрому (750...1450 грн/кг). Саме ці компоненти є основними завдяки яким отримують необхідні

властивості наплавочних матеріалів. Така незначна вартість та ефективність нанесення наплавних матеріалів сприяла широкого їх розповсюдження.

### **1.3 Застосування спеціальних зносостійких матеріалів в конструкціях сільськогосподарської техніки**

Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробної сільськогосподарської техніки використанням спеціальних наплавних матеріалів є одним із важливих завдань технічної експлуатації. Серед ґрунтообробної техніки найбільше готових рішень пов'язано із зміцненням робочих органів культиваторів. Це обумовлено їх конструкційними особливостями: незначною товщиною робочого органу та необхідністю утримання потрібної товщини робочої кромки леза. Робота культиваторних лап відбувається в умовах тертя ґрунту по всій робочій поверхні. Ґрунт фактично взаємодіє зі всією площею культиваторної лапи (окрім деяких елементів нижньої частини). Це призводить до інтенсифікації процесу зношування. Тому, на певні поверхні вказаних робочих органів наносять зносостійкі покриття або зміцнюють їх поверхневі шари за допомогою термічних або хіміко-термічних методів.

Науковці та промислові виробники постійно шукають компромісне рішення, яке здатне забезпечити дві основні вимоги: перша, це незначна собівартість та простота технологічного процесу; друга – забезпечення високої довговічності одержаного покриття чи поверхні робочого органу. Саме тому, у науковій літературі досить багато рішень, які направлені на вирішення даного завдання.

Відомий метод підвищення довговічності культиваторних лап методом технологічної конвенції [11] (рис. 1.8).



Рис. 1.8 – Культиваторні лапи з локальним нанесенням спеціальних зносостійких наплавних матеріалів [11]

Загальний вигляд комплекту виготовлених робочих органів і зміцнених стрілочастих лап до культиватора КВАНТ-12. Запропоновані технологічні рішення дозволяють підвищити довговічність лап культиваторів, проте для реалізації процесу необхідно спеціальне обладнання. Тому, таку технологію доцільно застосовувати в промислових масштабах при виробництві культиваторних лап.

Однією з проблем, яка виникає при виконанні культивації ґрунту – нерівномірність зношування поверхні лап, в результаті підвищується тяговий опір робочих органів та зростає питома витрата палива. Відомі дослідження направлені на підвищення рівномірності зношування робочих поверхонь лап ґрунтообробних машин шляхом локального наплавлення зміцнювальних матеріалів [12]. Спеціальне розташування наплавлених матеріалів (рис. 1.9), в поєднанні з потрібною їх зносостійкістю, дозволяє підвищити рівномірність зношування та зменшити тяговий опір зношених культиваторних лап, у порівнянні із робочими органами без нанесених матеріалів.

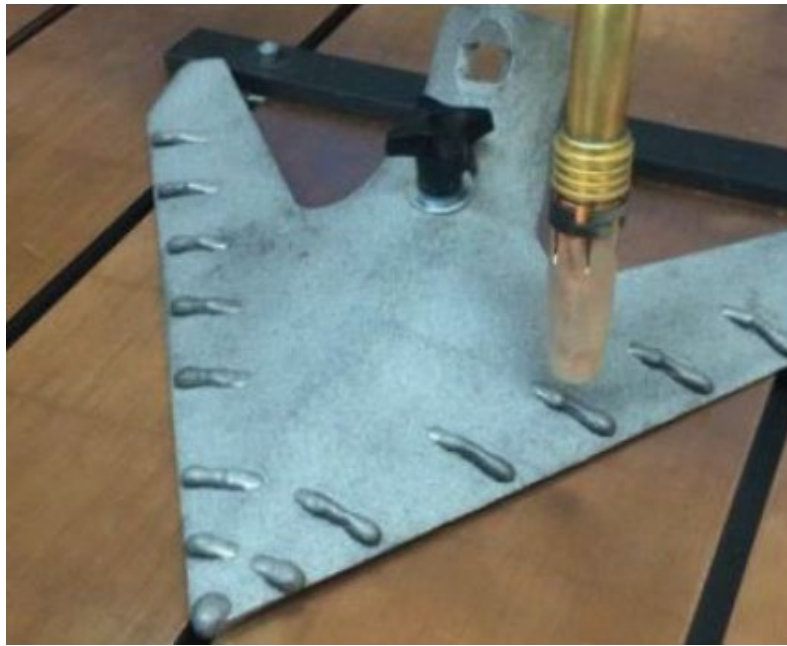


Рисунок 1.9 – Культиваторна лапа із нанесеними локальними зміцнювальними матеріалами [12]

Перевагою запропонованого рішення є також збереження ефекту самозагострювання леза лапи при її зношуванні.

Відомі технологічні рішення щодо локального зміцнення робочих органів культиваторних лап (рис. 1.10), які дозволяють підвищити їх зносостійкість та забезпечити процес самозагострювання [13-14].



Рис. 1.10 Культиваторна лапа зі елементами зміцнення та ґрунтом, що налипає [13]

У запропонованих рішень щодо локального нанесення спеціальних зносостійких матеріалів є один недолік – налипання ґрунту на поверхню культиваторної лапи.

Відомі також дослідження спрямовані на підвищення зносостійкості не тільки культиваторних лап, а й дисків борін та польових дошок плугів [15, 16]. В роботі [15] запропоновано застосування двошарового наплавного матеріалу, як суцільною стрічкою, так і точковим нанесенням (рис. 1.11).

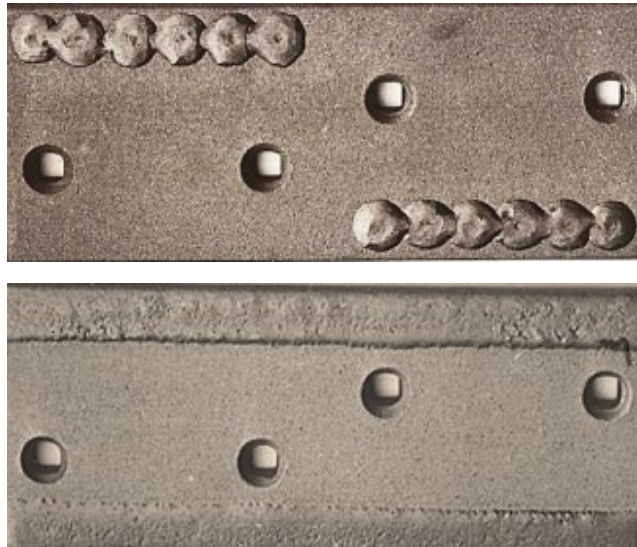


Рисунок 1.11 – Польова дошка із нанесеними зміцнювальними матеріалами [15]

Запропоновану технологію нанесення зносостійких покриттів пропонується застосовувати не тільки при виготовленні робочих органів ґрунтообробних знарядь, а й при відновленні поверхонь зношених. Це дозволить зменшити витрати за рахунок відновлення зношених деталей, а не купувати нові робочі органи.

Для підвищення зносостійкості дисків важких борін та зменшення їх вартості також можливе застосування елементів із зносостійких матеріалів та сплавів. В роботі [17] запропоновано використовувати спеціальні зміцненні матеріали нанесені на внутрішній бік зуба борони, що має можливість встановлення до основи диска болтовим з'єднанням (рис. 1.12).

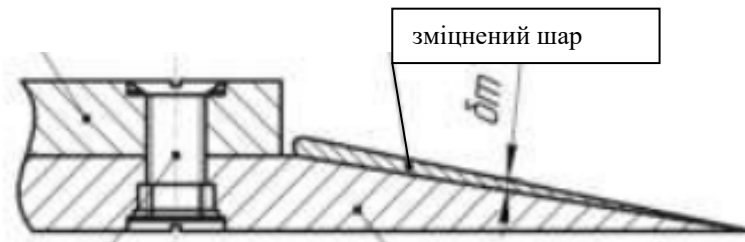


Рис. 1.12 – Переріз конструкції диска борони з робочою ріжучою поверхнею зубів, що має можливість заміни [17]

Загальний вид диска відновленого за вказаним способом наведений на рис. 1.13 [17].

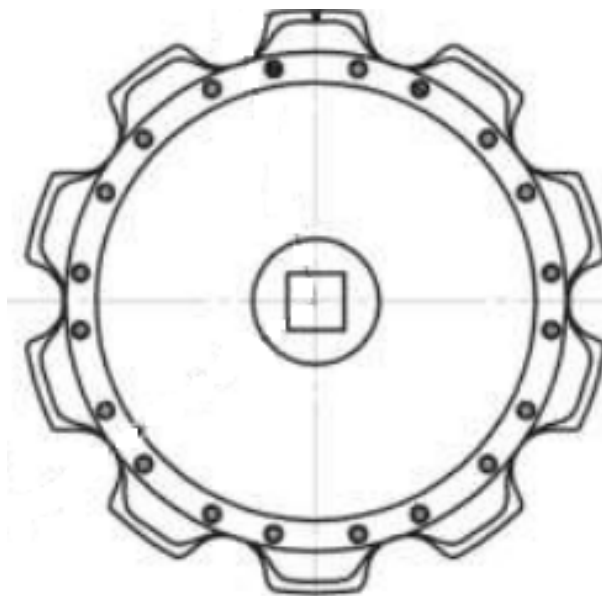


Рисунок 1.13 – Загальний вид відновленого диску важкої борони [17]

Запропонована технологія ремонту або відновлення дисків важких борін дозволяє використовувати зношені робочі органи. Робочі зуби виготовляють штампуванням. Потім виконують нанесення зносостійкого міцного матеріалу на одну з поверхонь. Запропоноване рішення дозволяє ліквідувати процес зварювання ремонтних елементів та диску, що відновлюється. За рахунок чого зменшується вартість відновлювальних робіт та час на виконання ремонтних робіт.

Значне різноманіття технологій та матеріалів для підвищення зносостійкості поверхонь тертя дозволяє обрати оптимальне рішення для

конкретної виробничої задачі. Проте, не всі матеріали, які пропонує промисловість, має необхідну зносостійкість. Можна зустріти невідповідність технічних показників зносостійкості матеріалу із реальними в виробничих умовах. Тому, актуальною задачею залишається визначення та порівняння відносної абразивної стійкості декількох зносостійких матеріалів, а вибір одного з них, повинен спиратися саме на результати експериментальних досліджень.

#### **1.4 Обґрунтування теми дипломної роботи**

Використання спеціальних покриттів для робочих органів техніки, механізмів, трубопроводів та машин дозволяє значно збільшити термін їх експлуатації. Крім того, нанесенням різноманітних матеріалів на поверхні деталей можна отримати потрібні характеристики та властивості готових виробів. Наприклад, створення деталі типу вал, що має пружню (до певної міри еластичну) сердцевину та зносостійкий міцний зовнішній шар. Нанесення спеціальних покриттів на поверхню деталей, дозволяє забезпечити не тільки необхідні характеристики, а й незначну собівартість виготовлення деталей або їх відновлення. Використання таких матеріалів при відновленні зношених деталей забезпечує невисоку вартість ремонтних робіт, у порівнянні із купівлею нових. Саме тому, використання наплавних матеріалів є актуальним завданням сьогодення. Невисока вартість наплавних матеріалів та їх широке різноманіття дозволяє обрати матеріал, що забезпечить необхідне співвідношення «вартість-довговічність».

При вивченні абразивної стійкості поверхонь деталей з використанням спеціальних матеріалів важливо враховувати їхню здатність витримувати механічні впливи та забезпечувати оптимальний рівень абразивної стійкості в конкретних умовах експлуатації. Такі дослідження, сприяють розробці та впровадженню технологічних рішень, для покращення якості та тривалості



служби робочих органів сільськогосподарської техніки та промислового обладнання.

Саме тому, метою роботи є визначення та порівняння відносної абразивної стійкості еталонного зразку та зразків з нанесеними спеціальними зносостійкими покриттями.

Для досягнення мети дипломної роботи виконували такі завдання:

1. Проаналізувати технології одержання спеціальних зносостійких матеріалів та сфер їх використання.
2. Розробити програму експериментальних досліджень, навести методики виконання робіт.
3. Визначити та порівняти відносну абразивну стійкість еталонного зразку та зразків із нанесеними спеціальними покриттями.
4. Розглянути вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів.
5. Навести техніко-економічний аналіз дипломної роботи.

## **2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Програма та завдання досліджень**

Дослідження абразивної зносостійкості деталей на поверхню якої нанесені спеціальні матеріали відіграє важливу роль у підвищенні ефективності і довговічності їх роботи. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу, зокрема робочих органів сільськогосподарських машин, при експлуатації в умовах інтенсивного абразивного зносу.

При вивченні абразивної стійкості поверхонь деталей з використанням спеціальних матеріалів важливо враховувати їхню здатність витримувати механічні впливи та забезпечувати оптимальний рівень абразивної стійкості в конкретних умовах експлуатації. Такі дослідження сприяють розробці та впровадженню технологічних рішень направлених на підвищення довговічності робочих органів при незначній їх собівартості.

Зносостійкі наплавні матеріали, є основними ключовим елементом, за рахунок використання яких пришвидшується розвиток технологій розробки та створення робочих органів машин, що взаємодіють з абразивним середовищем.

Використання наплавних зносостійких матеріалів дозволяє не тільки підвищити довговічність робочих органів, а й зменшити вартість ремонту чи відновлення спрацьованих ріжучих кромки. Більшість промислових наплавних матеріалів дозволяє використовувати шляхом простих технологій, доступних для звичайних умов сільськогосподарського підприємства.

Тому, визначення та порівняння відносної абразивної стійкості еталонного зразку та зразків з нанесеними спеціальними зносостійкими покриттями є актуальним завданням сільськогосподарського машинобудування.

Програма експериментальних досліджень містила наступні етапи:

- визначення шорсткості поверхонь досліджуваних матеріалів;
- визначення густини досліджуваних матеріалів;
- визначити величину зносу експериментальних зразків;
- порівняти відносну абразивну стійкість матеріалів;
- дослідження поверхонь тертя;
- аналіз одержаних результатів.

Завданням експериментальних досліджень є обґрунтування оптимального наплавного матеріалу для підвищення зносостійкості поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин.

В якості досліджуваних матеріалів обрано 3 зразки, виготовлені за розмірами в межах 53×29×7 мм, що в цілому задовольняло умовам випробувань та вимогам ГОСТу 23.208-79. Усім зразкам надано умовні позначення наведені в таблиці 2.1.

*Таблиця 2.1*

**Умовні позначення зразків**

№ з/п	Щифр
1	Зразок 1
2	Зразок 2
3	Зразок 3

Зразки виготовлялися зі Ст. 45 без нанесення покриття (зразок 1) та з нанесенням на Ст.45 зносостійких матеріалів зі шифрами «зразок 2» та «зразок 3.». На зразках за номерами 2 та 3 зафіксовані тріщини в матеріалах, які наплавлені на основу. Скоріше всього, вказані тріщини пов'язані із технологічним процесом наплавлення зносостійких матеріалів та утворення концентрацій напружень.

Загальний вигляд експериментальних зразків наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд експериментальних зразків

Розглядаючи зразки зафіксовано, що наплавлені матеріали займають приблизно половину товщини всього зразку, інша частина – це основа зі Ст. 45.

## 2.2 Методика визначення шорсткості поверхонь досліджуваних матеріалів

Шорсткість поверхні визначали за допомогою тестера шорсткості Walcom SRT-6210 (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Тестер шорсткості Walcom SRT-6210: 1 – основний блок тестера шорсткості, 2 – пластина для калібрування, 3 – датчик тестера.

Вказаний тестер шорсткості здатен вимірювати такі параметри як:  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_q$ ,  $R_t$  [18]. Принцип визначення шорсткості досліджуваної поверхні полягає у встановленні датчика приладу, що встановлюється на поверхні та ковзає по ній. При цьому на кінці сенсора (датчика) встановлено алмазну пірамідку, яка копіює всі впадини та виступи при русі датчика. Переміщення у вертикальній площині сенсора призводить до зміни його індуктивності, який фіксується приладом та перетворюється на досліджувану величину шорсткості.

Перед початком виконання робіт з визначення шорсткості досліджуваної поверхні, прилад необхідно відкалібрувати [18], за допомогою еталонної пластини із відомою шорсткістю, яка йде в комплекті постачання з тестером шорсткості (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Процес перевірки правильності результатів визначення шорсткості поверхні тестером (калібрування)

Процес калібрування наступний [18]. На горизонтальну поверхню вкладається еталонна пластина із комплекту приладу. Після чого датчик тестера встановлюють на платину та за допомогою упору 4 фіксують тестер у горизонтальному положенню. Наступним кроком є вибір параметрів визначення шорсткості. Далі виконується визначення шорсткості поверхні з потрібним повторюванням. Якщо значення, що визначена приладом відрізняється від шорсткості вказаної на еталонній пластині, то необхідно

виконати калібрування приладу шляхом обертання регулювального гвинта 1 приладу викруткою, яка є в комплекті постачання (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Розташування додаткових елементів тестера: 1 – гвинт для калібрування тестера, 2 – вхід для зарядження внутрішньої батареї, 3 – роз’єм під’єднання до ПК, 4 – упор для встановлення тестера в горизонтальне положення

Після отримання на дисплеї приладу величини шорсткості, що відповідає значенню еталонної пластини, прилад готовий до використання.

Процес визначення шорсткості досліджуваної наступний [18]. Після ввімкнення приладу він автоматично відновлює умови останнього вимірювання перед виключенням. Потім потрібно перевірити правильність обраної довжини відсічки. Рекомендовану довжину відсічки обирають у додатку до інструкції з експлуатації приладу [18]. Після цього необхідно обрати одиниці вимірювання, метрична чи дюймова. Завершальним етапом налаштування приладу є встановлення величини  $R_a$ ,  $R_z$ . Після всіх налаштувань потрібно очистити досліджувану поверхню та встановити прилад у горизонтальне положення, датчик тестера повинен бути розміщений паралельно поверхні, яка досліджується. Після завершення підготовки необхідно натиснути клавішу «Пуск» та дочекатися завершення процесу, що характеризується результатом вимірювання шорсткості поверхні на дисплеї. Одержане значення шорсткості

досліджуваної поверхні можна зберегти у пам'яті приладу для подальшого аналізу.

### 2.3 Методика визначення густини досліджуваних матеріалів

Густину експериментальних зразків  $\rho$  визначали методом гідростатичного зважування у відповідності з вимогам ГОСТ 15139-69. Суть вказаного методу полягає у наступному [19, 20]: спочатку визначають масу досліджуваного зразку у повітрі (звичайне зважування); потім визначають масу зразку, що повністю занурений у воду (дистильовану) та підвішений до коромисла аналітичних терезів ВРЛ-200 (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Терези ВРЛ-200

Масою нитки, якою зразок підвішений до коромисла, знехтували.

Густину досліджуваних матеріалів визначали за формулою:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} (\rho_p - \rho_n) + \rho_n \quad (2.1)$$

де:  $m_1$ ,  $m_2$  – маси експериментального зразку визначені при зважуванні у середовищі повітря та зануреного у дистильовану воду, г;

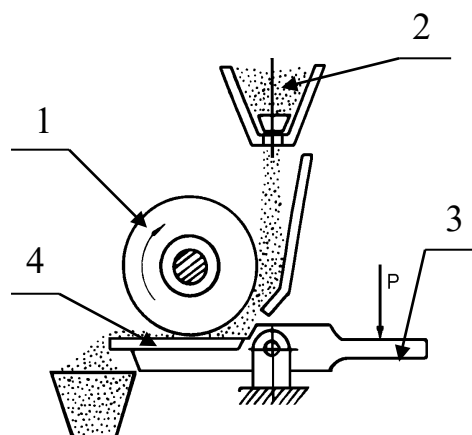
$\rho_p, \rho_n$  – густина дистильованої води і повітря відповідно.

## 2.4 Методика визначення відносної абразивної стійкості

Дослідження абразивної стійкості проводили шляхом визначення величини зносу зразків за однакових умов [20, 21]. Для створення однакових умов зношування використовували машину СМЦ-2, яка обладнана спеціальними пристосуваннями (рис. 2.6).



а



б

Рисунок 2.6 – Машина СМЦ-2: а – зі встановленими пристосуваннями для абразивного зношування матеріалів, б – схема процесу зношування: 1 – сталевий ролик із зовнішнім з гумовим ободом; 2 – ємність із абразивними частинками; 3 – механізм для створення навантаження на зразок; 4 – дослідний зразок

Визначення відносної абразивної стійкості матеріалів базується на примусовому зношуванні досліджуваних зразків, один з яких обирається в якості еталонного. Зазвичай, еталонним зразком обирають базовий матеріал, з яким хочуть порівняти зносостійкість вдосконалених або створених матеріалів.



Зношування полягає у застосуванні не жорстко зафіксованого абразивного матеріалу, який безперервним потоком подається до зони тертя із ємності. Абразивні частинки, які потрапляють в зону притискання ролика до зразку протягуються роликом по досліджуваному зразку викликаючи його знос.

Режими, що створюються машиною СМЦ-2 при визначенні зносу досліджуваних матеріалів:

- загальна кількість обертів ролика – 600 об.,
- навантаження на досліджувані зразки – 44 Н,

Знос зразків, що випробовувались і обраних еталонних визначали шляхом зважування, з похибкою не більше 0,1 мг за допомогою терезів Metrinco AB224 (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Аналітичні терези METRINCO AB224

Величину відносної абразивної стійкості досліджуваних матеріалів визначали за формулою [20, 21]:

$$K_u = \frac{U_e \cdot \rho_\partial \cdot n_\partial}{U_\partial \cdot \rho_e \cdot n_e}, \quad (2.5)$$

де  $\rho_e$ ,  $\rho_\partial$  – густина обраного еталонного матеріалу та матеріалу, з яким відбувається порівняння зносу відповідно, кг/м<sup>3</sup>;

$n_e, n_d$  – сумарна кількість обертів ролика, для еталонного та досліджуваних зносостійких матеріалів відповідно;

$U_e, U_d$  – знос (зміна маси) еталонного зразку і зразку з яким відбувається порівняння зразків відповідно, кг.

У роботі в якості еталонного зразку обрано зразок виготовлений зі Ст. 45, його відносну абразивну стійкість обрано рівну одиниці. Наплавлення зносостійких покриттів також виконано та основу зі Ст. 45.

## 2.5 Методика металографічних досліджень

Металографічні дослідження поверхонь зразків після примусового абразивного зношування проводили на мікроскопі МБИ-6, з використанням окулярної камери, ПК та програмного забезпечення для їх взаємодії (рис. 2.8).

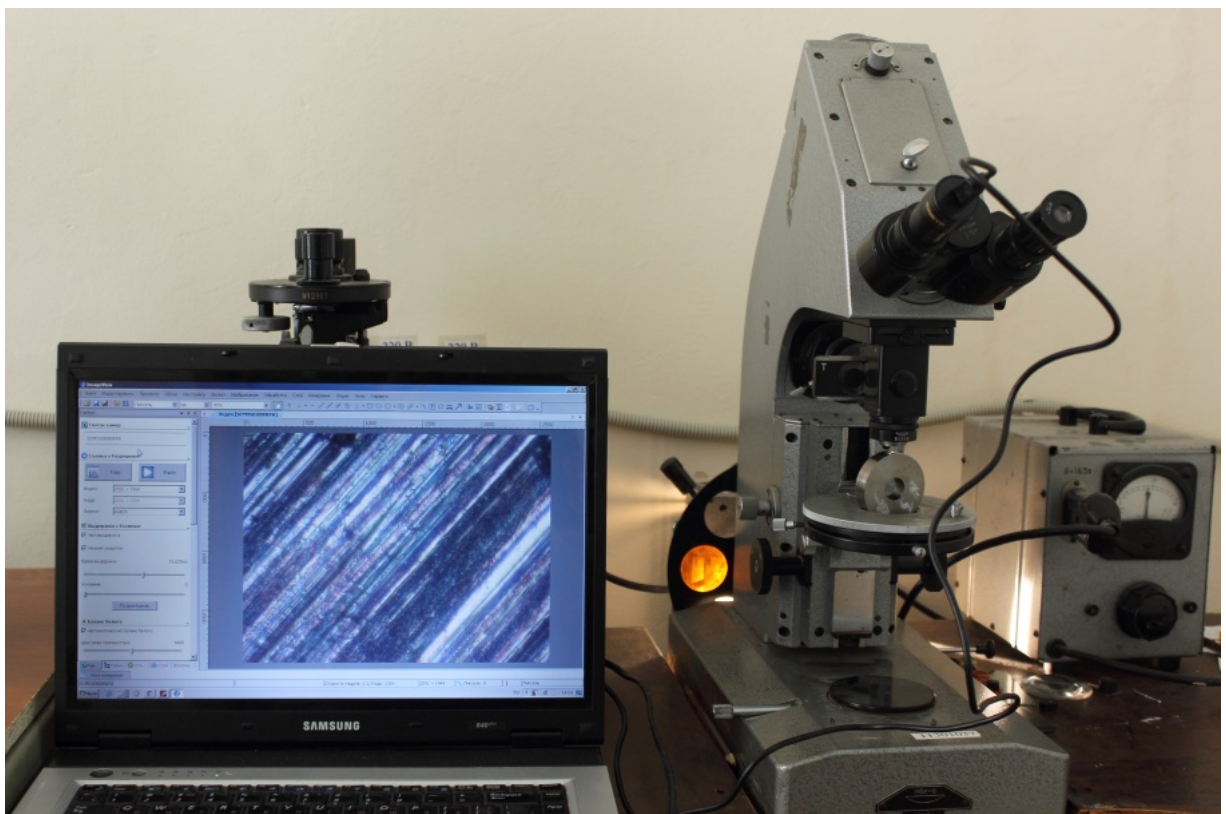


Рисунок 2.8 – Мікроскоп МБИ-6 з обладнанням для одержання металографічних знімків

Зображення поверхонь тертя фіксували та зберігали за допомогою програмного забезпечення Top View. Збільшення окулярної камери з використанням вказаного програмного забезпечення склало  $\times 135$  разів.

Після одержання знімків виконували їх аналіз шляхом порівняння мікрофото одержаних для аналогічних досліджень вченими університету або інших вчених. У відповідності до наведеної програми та висвітлених методик, проведені дослідження щодо визначення та порівняння відносної абразивної стійкості досліджуваних матеріалів, результати яких наведено у наступному розділі роботи.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Результати визначення шорсткості поверхонь досліджуваних зразків

Результати визначення шорсткості поверхонь досліджуваних матеріалів наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати визначення шорсткості досліджуваних поверхонь

Назва (шифр) матеріалу	Шорсткість досліджуваних матеріалів Ra, мкм			
	До тертя	Середнє значення	Після тертя	Середнє значення
Зразок 1	1,14	1,12	1,27	1,22
	1,12		1,25	
	1,09		1,15	
Зразок 2	0,42	0,42	0,61	0,57
	0,41		0,52	
	0,43		0,58	
Зразок 3	0,57	0,59	0,88	1,06
	0,73		1,33	
	0,48		0,98	

Аналіз одержаних результатів (табл. 3.1) свідчить про зростання шорсткості поверхонь тертя після абразивного зношування. На поверхнях зразків було зафіксовано декілька пошкоджень у вигляді відколювання зерен матеріалів. Слід зазначити, що шорсткість зразку 2 після тертя незначно зросла та має більш стабільне значення, у порівнянні з іншими матеріалами. Зразок 3 має дещо гіршу стабільність досліджуваного показника шорсткості.

### 3.2 Результати визначення густини досліджуваних зразків

Для зважуванні в рідині обрано дистильовану воду, так як вона має мінімальну кількість домішок у своєму складі та її густину можна прийняти за одиницю. Для реалізації процесу зважування у воді використовували спеціальну підставку, що дозволяє встановити ємність з водою без дії самої ємності та води на важіль аналітичних терезів (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Визначення маси зразку зануреного у дистильовану воду

Результати визначення густини матеріалів наведено у табл. 3.2

Таблиця 3.2

Визначення густини досліджуваних матеріалів

Назва (шифр) матеріалу	m (у повітрі), г	m (у дистильованій воді), г	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Зразок 1	108,3105	94,58045	7888,6
Зразок 2	114,35365	99,56510	7732,6
Зразок 3	113,12725	98,41875	7691,3

Одержані результати дозволяють зробити висновок, що досліджувані зразки мають приблизно однакову густину, орієнтовно від 7,7 до 7,9 т/м<sup>3</sup>.

### 3.3 Результати визначення величини зносу та відносної абразивної стійкості

Досліджувані зразки перед кожним примусовим зношуванням та після нього протирали спиртом. Це дозволяє прибрати з поверхні зразку продукти зносу та абразивні частинки.

Загальний вид зразків після примусового абразивного зношування наведено на рис. 3.2.



а

б

в

Рисунок 3.2 – Зразки після примусового абразивного зношування: а – зразок 1, б – зразок 2, в – зразок 3.

Дослідженнями встановлено (рис. 3.3), що величина зносу для обраного еталонного зразку 1 та двох інших досліджуваних зразків суттєво відрізняються. Слід зауважити, що виконані трикратні дослідження для кожного зразку показали високу повторюваність результатів. Це може бути свідченням сталістю структури та властивостей досліджуваних матеріалів.

I сер, г

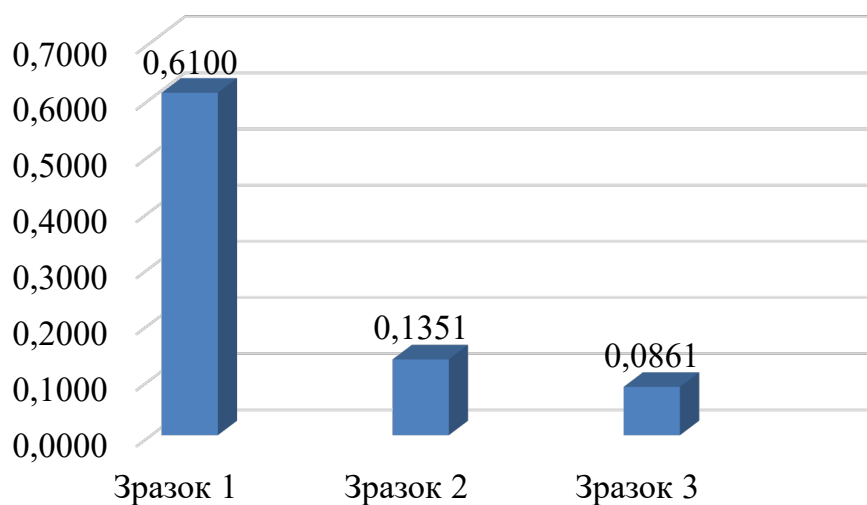


Рисунок 3.3 – Середня величина зносу зразків

Аналіз одержаних даних (табл. 3.3) свідчить про те, що найвищу відносну зносостійкість має зразок «Зразок 3» ( $K_i = 6,91$ ), дещо нижчу має зразок «Зразок 2» ( $K_i = 4,42$ ).

Таблиця 3.3

## Результати визначення відносної абразивної зносостійкості

Назва (шифр) матеріалу	$m_0$ , г	$m_k$ , г	Знос $\Delta m$ , г	$\Delta m_{сер}$ , г	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	*Відносна зносостійкість
Зразок 1	108,3180	107,7079	0,6101	0,6100	7888,6	1,00
	107,7079	107,0879	0,6200			
	107,0879	106,4880	0,5999			
Зразок 2	114,3747	114,2335	0,1412	0,1351	7732,6	4,42
	114,2344	114,1080	0,1264			
	114,1080	113,9702	0,1378			
Зразок 3	113,1385	113,0533	0,0852	0,0861	7691,3	6,91
	113,0533	112,9823	0,0710			
	112,9823	112,8803	0,1020			

\* значення більше 1 вказує на вищу зносостійкість (в рази) у порівнянні з еталонним зразком 1.

За результатами досліджень отримана графічна залежність (рис. 3.4).

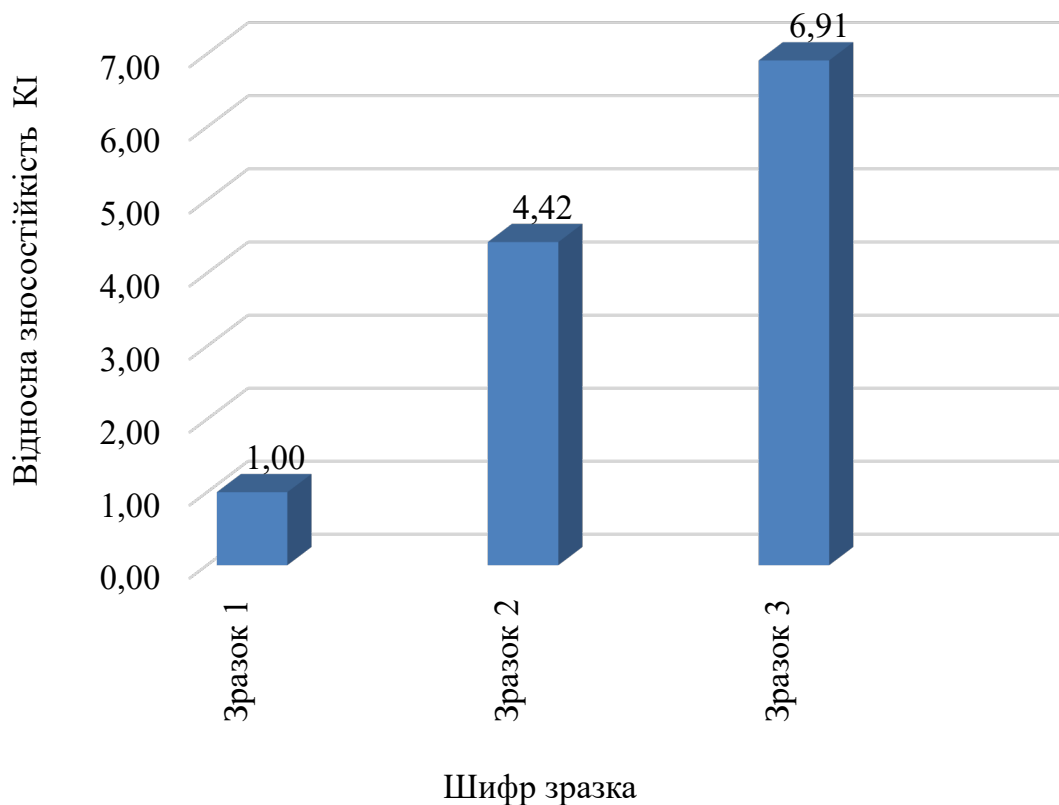


Рисунок 3.4 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних зразків

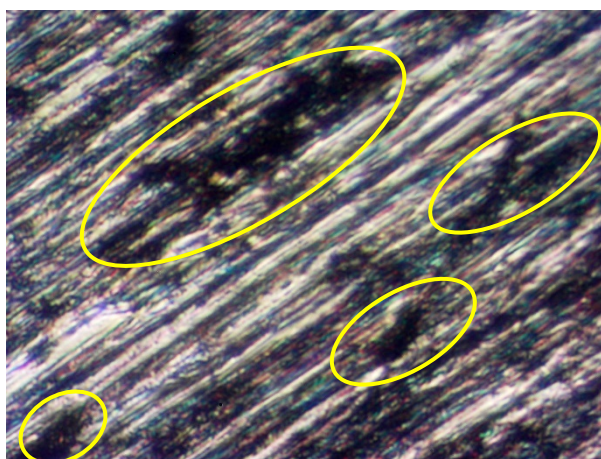
Таким чином, можна стверджувати, що зразок із шифром зразок 3, значно (майже у 7 разів) перевищує за зносостійкістю еталонний зразок 1.

### 3.4 Результати металографічних досліджень

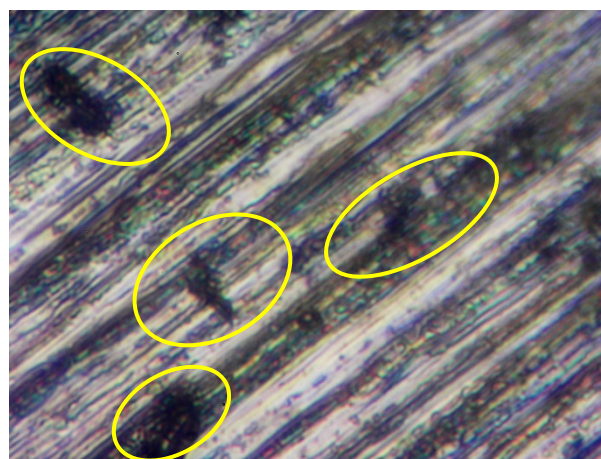
На поверхнях тертя, зразків із шифрами «Зразок 3» та «Зразок 2», після випробувань зафіксовано наявність тріщини, що може бути пов'язано із особливістю технологічного процесу наплавлення зносостійких матеріалів.

Мікрофото поверхонь тертя ( $\times 135$ ) досліджуваних зразків наведено на рис. 3.5. Аналізуючи наведені металографічні знімки, можна зробити висновок, що поверхня тертя матеріалу «Зразок 1» має значно більше пошкоджень (виділено на фото) у порівнянні з поверхнями інших досліджуваних матеріалів.



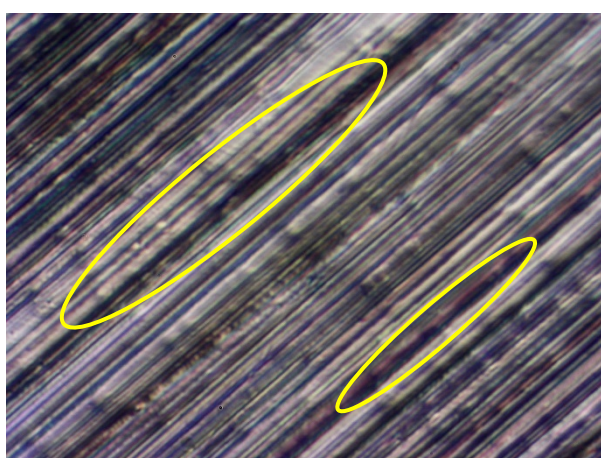


×135

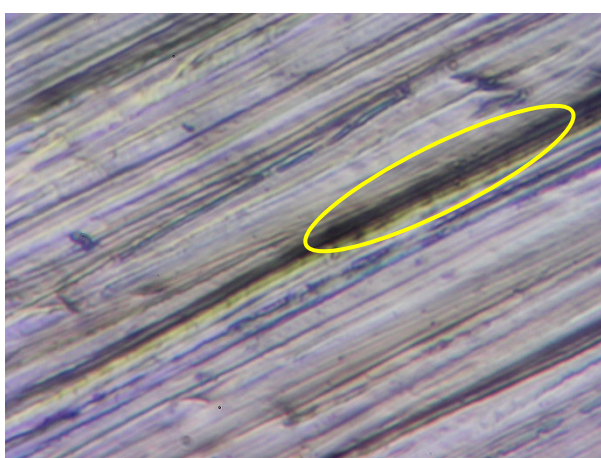


×300

а

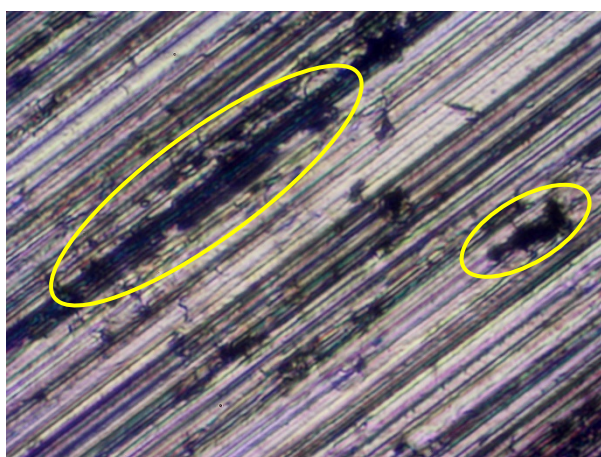


×135

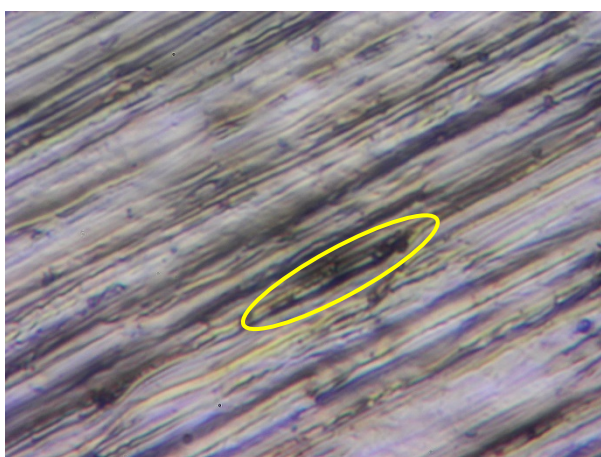


×300

б



×135



×300

в

Рисунок 3.5 – Мікрофото поверхонь після тертя: а – зразок 1, б – зразок 2,  
в – зразок 3.

Аналіз макрофото поверхонь тертя досліджуваних матеріалів (рис. 3.6), підтверджує вище вказані висновки.

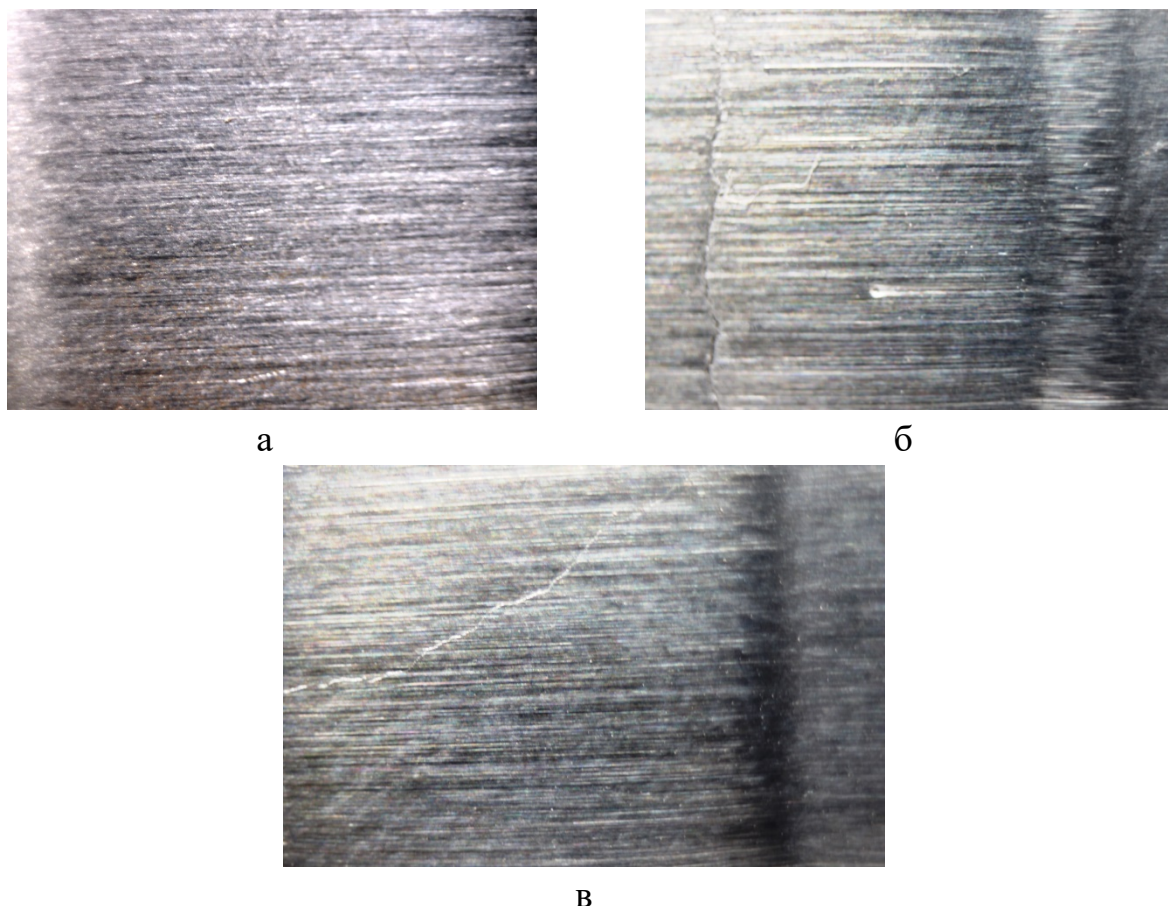


Рисунок 3.6 – Макрофото поверхонь тертя: а – зразок 1, б – зразок 2, в – зразок 3

На рис. 3.6а, поверхня тертя має візуально більшу кількість пошкоджень, в той час, як зразки 2 та 3, мають відносно рівномірну поверхню.

### **3.5 Рекомендації щодо використання одержаних результатів**

Одержані результати дають розуміння щодо відносної абразивної стійкості досліджуваних зразків, зокрема матеріалів одного виробника. При цьому, для оптимального вибору конкретного наплавного зносостійкого матеріалу, споживачу цікаво буде порівняти наведені результати, зі схожими матеріалами, які пропонують інші промислові виробники.

Тому, в роботі додатково наведені результати порівняння відносної абразивної стійкості досліджуваних в даній роботі матеріалів, з результатами

аналогічних досліджень. Слід зазначити, що таке порівняння можна виконувати тільки у випадку проведення досліджень, за однакових режимів примусового абразивного зношування.

Для порівняння, обрано результати одержані в тій же лабораторії, що й виконана дана робота, на аналогічному обладнанні, співробітниками Дніпровського державного аграрно-економічного університету [22].

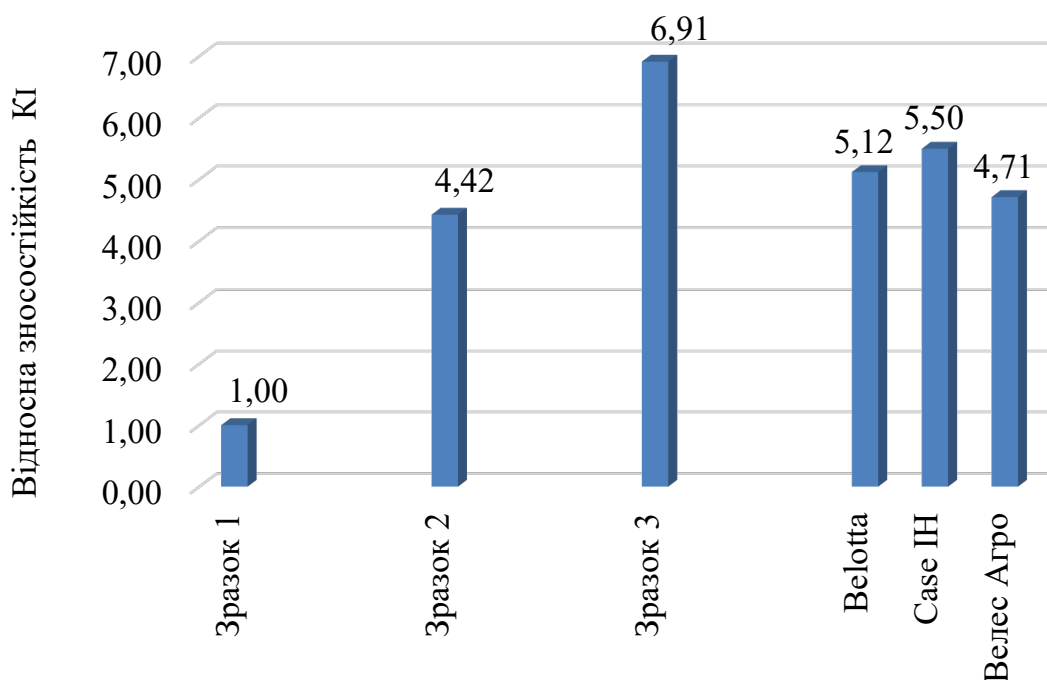


Рисунок 3.7 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних зразків з порівнянням із аналогічними результатами [22]

Наведені результати (рис. 3.7) дозволяють зробити висновок, що матеріал зразку 2 має близькі значення відносної абразивної стійкості з матеріалами робочих органів культиваторів виробництва Велес Агро та Belotta. При цьому, зразок 3 має найвище значення відносної абразивної стійкості у порівнянні з всіма наведеними матеріалами. Тому, рекомендується досліджувані матеріали використовувати в якості наплавних матеріалів для робочих поверхонь культиваторів. Остаточний вибір необхідно виконувати спираючись на наведені результати та собівартість виконання технологічного процесу наплавлення матеріалів на робочі поверхні сільськогосподарської ґрунтообробної техніки.

**Висновки до розділу.** Встановлено, що досліджувані зразки мають приблизно однакову густину, орієнтовно від 7,7 до 7,9 т/м<sup>3</sup>. Аналіз одержаних результатів свідчить про зростання шорсткості поверхонь тертя після абразивного зношування. На поверхнях зразків було зафіксовано декілька пошкоджень у вигляді відколювання зерен матеріалів. Слід зазначити, що шорсткість зразку 2 після тертя незначно зросла та має більш стабільне значення, у порівнянні з іншими матеріалами. Зразок 3 має дещо гіршу стабільність досліджуваного показника шорсткості. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що найвищу зносостійкість серед наданих зразків має зразок 3, у якого даний показник вищий у 6,9 разів ніж у еталонного. Зразок 2 також має значно вищу зносостійкість, у порівнянні з еталонним зразком 1 – у 4,4 разів. Рекомендується досліджувані матеріали використовувати в якості наплавних матеріалів для робочих поверхонь культиваторів.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Основні положення охорони праці

Охороною праці називають систему соціально-економічних, організаційних, правових, лікувальних та профілактичних засобів та заходів, які спрямовані на збереження життя, працездатності та здоров'я людей під час виконання ними своїх посадових обов'язків [23].

Наплавлення зносостійких матеріалів відбувається у ручному, напівавтоматичному та автоматичному (автоматизованому) режимі. Тип режиму наплавлення залежить від форми матеріалу для наплавлення (дріт, електрод, смуга) та особливостей реалізації технологічного процесу, відповідно до вимог виробника. Найбільш розповсюдженими є електродугове наплавлення. Об'єктом підвищеної небезпеки називають такий об'єкт, на якому використовують, створюють, зберігають або транспортують небезпечні речовини чи їх категорії в такій кількості, що відповідає або навіть перевищує допустимі порогові їх концентрації [24]. Об'єктом підвищеної небезпеки, при виконанні наплавлення можуть бути установки та обладнання, які містять ємності із газами, в тому числі вибухонебезпечні, що перебувають під високим тиском. Шкідливим виробничим фактором називають такий чинник трудової діяльності, вплив якого на організм працівників, у випадку недотримання нормативів гігієни праці, може спричинити до зниження працездатності або проблем зі здоров'ям чи навіть до виникнення профзахворювання [24]. До шкідливих факторів при наплавленні матеріалів можна віднести дії газів, високих струмів, які використовуються в технологічних процесах. «Небезпечний виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини, за певних умов, може спричинити травми або іншого раптового погіршення здоров'я» [24].

При виконанні наплавлення або зварювання на працівника можуть діяти чинники, які є потенційно небезпечні або шкідливі. Наприклад, неякісна робота

системи відведення шкідливих газів, що використовуються при зварювальних роботах, може призвести до погіршення стану здоров'я працівника.

#### **4.2 Основні вимоги безпеки праці при наплавленні в середовищі захисних газів**

У випадку наплавлення напівавтоматом, в середовищі захисних газів, його сопло необхідно ізолювати від частини пальника, що проводить електричний струм [25]. Пальник повинен мати окремий вентиль для припинення подачі газу по завершенню наплавлення. Використання балонів з газами повинна здійснюватися у відповідності до технічних регламентів експлуатації вказаного обладнання. Якщо захисний газ подається із нагромадженого майданчика, то він повинен бути обладнаний спеціальною огорожею. У випадку встановлення балону або контейнеру на відкритому повітрі, необхідно забезпечити його захист від прямих сонячних променів шляхом використання навісів.

При виконанні робіт в середовищі вуглекислого газу температура робочої зони повинна бути нижчою за 25 °С. Місця накопичення балонів не повинно містити більше 20 шт. При заміні відпрацьованих балонів необхідно виконувати перекривання запірної арматури між ними та колектором.

Ремонтні роботи системи розподілу та подачі захисних газів можна виконувати тільки при закритих вентилях балонів та відсутності тиску в системі подачі газів. На місцях зберігання, розподілу та подачі захисних газів забороняється встановлювати легкозаймісті речовини.

У випадку коли організовано централізована подача вуглекислого газу на робочі місця, то підігрів арматури може бути реалізовано тільки парою або водою. Забороняється виконувати ремонтні операції у випадку використання системи відбору газу з контейнеру.

У випадку виконання робіт під відкритим небом, в холодну пору року, необхідно організувати встановлення балонів з вуглекислим газом у теплих

приміщеннях. Забороняється виконувати відігрів обмерзлого балону чи редуктора газовим пальником або використовувати струмінь пари. Відігрівання вказаних елементів повинно виконуватися поступово в приміщеннях із температурою в діапазоні 20...25 °С. Забороняється виконувати ремонтні роботи вентилів та редукторів на робочому місці. У випадку необхідності використання балону з вуглекислим газом в холодну пору, попереду редуктора необхідно встановити підігрівач.

### **4.3 Дії у випадку надзвичайної ситуації**

У випадку виникнення аварійної ситуації працівник зобов'язаний якомога швидше відключити подачу струму до установки для зварювання або наплавлення. Якщо працівником зафіксовано виникнення пожежі, то він повинен розпочати її гасіння доступними засобами пожежогасіння, і обов'язково повідомити відповідальну особу за дільницю. У випадку неможливості загасити пожежу своїми силами необхідно зателефонувати в службу з надзвичайних ситуацій. Допускається використання для гасіння пожежі тільки вуглекислотних вогнегасників, піску чи спеціальної вогнетривкої тканини. Якщо зафіксовано витік горючих газів з магістралей чи балонів необхідно терміново повідомити про це відповідальному керівнику. При перемерзанні редуктора чи запірної арматури кисневого чи вуглекислотного балонів, їх відігрівання необхідно виконувати поступово в теплому приміщенні.

Дозволяється відновити роботи тільки після повного усунення несправностей арматури чи вентилів, з обов'язковою перевіркою зафіксованих місць витоків газу.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний аналіз ефективності впровадження запропонованих технічних рішень для умов сільського господарства доцільно виконувати на основі порівнянні витрат на експлуатацію стандартної та вдосконаленої машини або обладнання. Деякі рішення направлені на не тільки на підвищення продуктивності МТА, зменшені витрат палива, а й на підвищення якісних показників виконання технологічних операцій при вирощуванні сільськогосподарських культур.

Технологічна операція культивуації ґрунту спрямована на знищення бур'янів, розпушування ґрунту та створення сприятливих умов для виконання наступної технологічної операції. Якість передпосівної культивуації безпосередньо впливає на якість виконання майбутньої сівби. Саме якість сівби має один із найвагоміших впливів на майбутній врожай сільськогосподарської культури.

Виробники ґрунтообробної техніки пропонують значне різноманіття робочих органів для виконання культивуації, зазвичай це стрілчасті лапи, різних розмірів та форм. Основним фактором, що впливає на довговічність культиваторних лап є зносостійкість їх робочих кромки. Зазвичай, робочі поверхні або їх частини зміцнюють шляхом нанесення спеціальних зносостійких покриттів або виготовляють із зносостійких матеріалів. При цьому, основним напрямком є саме нанесення зносостійких матеріалів на робочу поверхню лапи. Це дозволяє одержати бажану зносостійкість при незначному зростанню вартості культиваторної лапи.

Тому, в роботі розглянемо економічний ефект використання досліджуваного зносостійкого наплавного матеріалу, у порівнянні зі стандартними культиваторними лапами виробництва Case.

Для порівняння базового та проектного варіанту будемо використовувати експлуатаційні показники, такі як: середній темп робіт (продуктивність),



питома витрата палива, затрати праці на виконання культивуації та питомі експлуатаційні витрати роботи МТА.

В якості базового ТМА для культивуації обираємо трактор Case МХМ 190 та культиватор Case ІН 4600 з шириною захвату 8,5 м. Вказаний культиватор має три ряди культиваторних лап, із загальною їх кількістю – 33 шт.

Виробник заявляє, що напрацювання їх стрілчастих лап до вибраковування становить в середньому 55...60 га/од. З врахуванням загальної кількості робочих органів на культиваторі маємо середнє напрацювання машини – 1815...1980 га. Приймаємо для розрахунків значення 1900 га.

Відповідно до одержаних результатів в даній роботі встановлено, що матеріал з шифром «зразок 3» має зносостійкість вищу за матеріал лапи культиватора виробництва Case у 1,47 разів. Таким чином приймаємо, що робочі органи культиватора, з нанесеним зносостійким матеріалом будуть мати ресурс в діапазоні 80...88 га/шт. При цьому необхідно врахувати вартість нанесення вказаного матеріалу на культиваторні лапи.

Додана вартість культиваторної лапи буде складатися із вартості матеріалу для наплавлення та вартості та вартості роботи для виконання вказаного виду робіт. Приймаємо, що маса нанесеного покриття буде становити орієнтовно 100 гр. Вартість матеріалу для наплавлення приймаємо 600 грн/кг. Отже вартість наплавленого матеріалу на одну лапу становить – 60 грн. Тарифна ставка оплати праці працівника – 350 грн/год. Тривалість наплавлення однієї лапи з урахування підготовчих робіт становить орієнтовно 8 хв. Таким чином, витрати на оплату праці складають 46,7 грн/шт. Наплавлення необхідно виконувати в середовищі захисних газів, тому додатково приймаємо вартість цих газів 12 грн/шт. Отже додана вартість культиваторної лапи становитиме 118,7 грн. Вартість стандартної лапи обраного виробника складає 400 грн./шт. В такому випадку вартість лапи з нанесеним покриттям буде становити 518,7 грн./шт.

Лапи даного культиватора потребують загострювання робочих кромek при напрацюванні 165...175 га на машину. Таким чином, до вибраковування

необхідно виконати загострювання в середньому 11 разів. Затрати часу на виконання загострювання 33 робочих органів приймаємо – 3,5 години. З врахуванням збільшення відносної абразивної стійкості при наплавленні досліджуваного матеріалу, напрацювання до загострювання зростає до 250 га. Таким чином, замість 11 загострювань, при наробітку культиватора 1900, у базового агрегату, для проектного необхідно буде виконати тільки 7. В результаті чого, вивільняється додатковий час обсягом 14 годин. Це призводить до підвищення темпу робіт проектного МТА.

Вихідні дані для визначення економічної ефективності наплавлення зносостійких матеріалів на робочу поверхню культиваторних лап наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

## Вихідні дані до роботи

Показник	Case MXM 190 + Case IH 4600	Case MXM 190 + Case IH 4600M
1	2	3
Середній темп робіт, га/год, $W$	8,00	8,45
Середнє напрацювання до заміни лап, га	1900	2790
Питомі витрати палива, кг /га	4,4	4,1
Річне завантаження, га	1960	2072
Час зміни, год., $t$	7	7
Кількість персоналу, чол.	1	1
Балансова вартість складових МТА, грн.: - Case MXM 190 - Case IH 4600	1700000 680000	1700000 683920
Оплата праці(ставка) 1 год, грн.	130	130
Ціна палива та мастильних матеріалів, грн./кг	$\text{Ц}_k^{\text{б}} = 56$	$\text{Ц}_k^{\text{п}} = 56$

Аналіз економічної ефективності роботи виконуємо за відомою методикою [26].

Експлуатаційні затрати на одиницю виконаної роботи визначаємо з виразу:

$$C_{nut} = C_m + C_M + C_{нмм} + C_{зн}, \quad (5.1)$$

де,  $C_m$  – питомі витрати на експлуатацію енергетичної частини МТА (трактора), що враховують витрати на виконання ремонтних робіт, ТО, реновацію та зберігання, грн./га.

$C_M$  – питомі витрати пов'язані з експлуатацією культиватора з врахуванням технічного обслуговування та зберігання, грн./га.

$C_{нмм}$  – витрати на мастильні матеріали та пальне, грн./га;

$C_{зн}$  – витрати на фонд заробітної плати працівникам, грн./га.

Питомі витрати використання енергетичного засобу:

$$C_m = \left[ \frac{B_m \cdot a_{pm} \cdot g_{za}}{100 \cdot G_H^{рик}} + \frac{(C_{нрм} + C_{прм} + C_{том} + C_{зм} + C_{шзм})}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (5.2)$$

де  $B_m, a_{pm}$  – відповідно вартість (відповідно до документації господарства) (грн.) та нормативний показник відрахувань, які заплановані амортизацію та реновацію (%). Для розрахунків приймаємо норму відрахувань для Case МХМ 190 – 11 %.

$C_{км}, C_{нрм}, C_{прм}, C_{том}, C_{зм}, C_{шзм}$  – планові питомі затрати на проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування і зберігання трактора, (грн/га). Приймаємо для двох варіантів приймаємо вказаних показник на рівні 5 % вартості (балансової);

$G_H^{рик}$  – нормативне значення навантаження трактора (річне), кг.

Із врахуванням наведених даних, маємо для стандартного та проектного варіанту відповідно:

$$C_m^б = \left[ \frac{1700000 \cdot 11 \cdot 4,4}{100 \cdot 20000} + \frac{85000}{1000} \right] = 126,14 \text{ грн/га}$$

$$C_m^n = \left[ \frac{1700000 \cdot 11 \cdot 4,2}{100 \cdot 20000} + \frac{85000}{1000} \right] = 124,27 \text{ грн/га}$$

Питомі витрати для культиватора визначаємо з виразу:

$$C_M = \left[ \frac{B_M \cdot a_{PM}}{100 \cdot n_{3M}^M \cdot G_H^{PIK}} + \frac{(C_{nPM} + C_{тоМ} + C_{3М})}{G_H^{PIK}} \right] \cdot K_i, \quad (5.3)$$

де,  $B_M$ ,  $a_{PM}$  – вартість (балансова) культиватора Case IH 4600 (грн.) і нормативний показник відрахувань на амортизацію та реновацію, %. Приймаємо для Case IH 4600 10 %.

$C_{nPM}$ ,  $C_{тоМ}$ ,  $C_{3М}$  – витрати (експлуатаційні) на ремонт, ТО та зберігання машини. Приймаємо для культиватора базової комплектації – 9 %, для проектного варіанту – 7,5 %, за рахунок зменшення витрат на загострення та заміну культиваторних лап.

$n_{3M}^M$ ,  $G_H^{PIK}$  – нормативне значення завантаження культиватора (річне), га або зм.

Для базової комплектації:

$$C_M = \left[ \frac{680000 \cdot 10}{100 \cdot 35 \cdot 1960} + \frac{61200}{1960} \right] \cdot 1 = 32,22 \text{ грн/га}$$

Для проектного варіанту:

$$C_M^n = \left[ \frac{683920 \cdot 10}{100 \cdot 35 \cdot 2072} + \frac{51294}{2072} \right] \cdot 1 = 25,69 \text{ грн/га}$$

Витрати на пальне на мастильні матеріали визначаємо з виразу:

$$C_{nMM} = C_K \cdot g_{ga} \cdot K_i \quad (5.4)$$

де  $C_K$  – ціна з врахуванням мастильних матеріалів та пального, грн/кг;

$g_{ga}$  – нормативне значення витрат пального на виконання культивації, кг/га (приймаємо 4,5 та 4,1 кг/га для базового варіанту та проектної машини відповідно);

$K_i$  – коефіцієнт індексації, приймаємо – 1.

Отже маємо:

$$C_{nMM}^b = 56 \cdot 4,5 \cdot 1 = 252,00 \text{ грн./га}$$

$$C_{nMM}^n = 56 \cdot 4,2 \cdot 1 = 235,20 \text{ грн./га}$$

Витрати на ЗП розраховуємо:

$$C_{зп} = \frac{1,49(K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех}) \cdot 1,02 \cdot K_3}{W_{зп}}, \text{ грн/га} \quad (5.5)$$

де 1,49 і 1,02 – нормативні значення коефіцієнтів нарахувань на ЗП;

$K_{нк}$  – коефіцієнт, який використовується для нарахувань за класність працівників, приймаємо рівний 1,2;

$m_{мех}$  – чисельність працівників, які одночасно працюють на МТА;

$f_{мех}$  – базовий тариф оплати праці (ставка), грн./зм.;

$W_{зп}$  – виробіток МТА, га/зм;

$K_3$  – коефіцієнт, який враховує величину інфляції (прийнято 1).

Враховуючи дані, маємо для двох варіантів:

$$C_{зп}^{\bar{}} = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 910) \cdot 1,02 \cdot 1}{56} = 29,64 \text{ грн/га}$$

$$C_{зп}^n = \frac{1,49(1,2 \cdot 1 \cdot 910) \cdot 1,02 \cdot 1}{59,15} = 28,06 \text{ грн/га}$$

Загальні експлуатаційні затрати для двох варіантів складають:

$$C_{нум}^{\bar{}} = 126,14 + 32,22 + 252,00 + 29,64 = 440,00 \text{ грн./га}$$

$$C_{нум}^n = 124,27 + 25,69 + 235,20 + 28,06 = 413,22 \text{ грн./га}$$

Обсяг додаткових капіталовкладень визначаємо за формулою:

$$K^{сер} = \frac{B_m \cdot a_{рм}}{100 \cdot G_n^{рік}} + \frac{B_M \cdot a_{рм}}{100 \cdot G_n^{рік}}, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

Питомий обсяг капіталовкладень становить, для двох варіантів становить:

$$K^{\bar{}} = \frac{1700000 \cdot 11}{100 \cdot 20000} + \frac{680000 \cdot 10}{100 \cdot 1960} = 44,04 \text{ грн/га}$$

$$K^n = \frac{1700000 \cdot 11}{100 \cdot 20000} + \frac{683920 \cdot 10}{100 \cdot 2072} = 42,23 \text{ грн/га}$$

Величину приведених витрат визначаємо з виразу:

$$П_8 = C_3 + E \cdot K, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де  $E = 0,15$  – нормативне показник (коефіцієнт) ефективності використання капіталовкладень.

З врахуванням наведених даних, для двох варіантів маємо:

$$\Pi_g^{\bar{o}} = 440,00 + 0,15 \cdot 44,04 = 446,61 \text{ грн./га}$$

$$\Pi_g^n = 413,22 + 0,15 \cdot 42,23 = 419,55 \text{ грн./га}$$

Одержані результати дозволяють зробити висновок, що наплавлення зносостійкого матеріалу на поверхню серійної культиваторної лапи дозволяє зменшити питомі експлуатаційні витрати.

Економічний ефект можна визначити за виразом:

$$E_{e,za} = \Pi_g^n - \Pi_g^{\bar{o}} = 446,61 - 419,55 = 27,06 \text{ грн./га}$$

Враховуючи середнє річне завантаження культиватора, маємо величину річного економічного ефекту, яка складе:

$$E_e^{pik} = F \cdot (\Pi_g^n - \Pi_g^{\bar{o}}) = 2080 \cdot (446,61 - 419,22) = 56014,2 \text{ грн}$$

Термін окупності додаткових витрат складе:

$$T_{ок} = K / \Pi \quad (5.7)$$

Отже, термін окупності капіталовкладень становить:

$$T_{ок} = 3920 / 56014,2 = 0,07 \text{ року}$$

**Висновки до розділу.** Встановлено, що питомі експлуатаційні витрати на суцільну культивуацію трактором Case МХМ 190 з культиватором Case ІН 4600 на робочі поверхні лап якого наплавлений зносостійкий матеріал, менші на 26,7 грн/га, у порівнянні з серійним варіантом. Враховуючи величину капіталовкладень, приведені витрати знижуються на 27,06 грн/га. При цьому, річний економічний ефект від використання культиваторних лап для Case ІН 4600, на робочі поверхні яких виконано наплавлення зносостійкого матеріалу становить 56014 грн. Окупність запропонованого технічного рішення становить до 150 га напрацювання, або орієнтовно три зміни.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що використання спеціальних покриттів для робочих органів техніки, механізмів, трубопроводів та ін. дозволяє значно збільшити термін їх експлуатації. Крім того, нанесенням різноманітних матеріалів, на поверхні деталей, можна отримати бажані характеристики та властивості готових виробів. Нанесення спеціальних покриттів на поверхню деталей, дозволяє забезпечити не тільки необхідні характеристики, а й незначну собівартість виготовлення деталей або їх відновлення. Використання таких матеріалів, при відновленні зношених деталей, забезпечує невисоку вартість ремонтних робіт, у порівнянні із купівлею нових. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробної сільськогосподарської техніки використанням спеціальних наплавних матеріалів є одним із важливих завдань технічної експлуатації.

2. Наведені програма, розглянуто обладнання та методики проведення досліджень величини зносу та визначення відносної абразивної стійкості матеріалів.

3. Встановлено, що досліджувані зразки мають приблизно однакову густину, орієнтовно від 7,7 до 7,9 т/м<sup>3</sup>. Аналіз одержаних результатів свідчить про зростання шорсткості поверхонь тертя після абразивного зношування. На поверхнях зразків було зафіксовано декілька пошкоджень у вигляді відколювання зерен матеріалів. Слід зазначити, що шорсткість зразку 2 після тертя незначно зросла та має більш стабільне значення, у порівнянні з іншими матеріалами. Зразок 3 має дещо гіршу стабільність досліджуваного показника шорсткості. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що найвищу зносостійкість серед наданих зразків має зразок 3, у якого даний показник вищий у 6,9 разів ніж у еталонного. Зразок 2 також має значно вищу зносостійкість, у порівнянні з еталонним зразком 1 – у 4,4 разів. Рекомендується досліджувані матеріали використовувати в якості наплавних матеріалів для робочих поверхонь культиваторів.

4. Розглянути загальні питання охорони праці та вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів.

5. Встановлено, що питомі експлуатаційні витрати на суцільну культивуацію трактором Case МХМ 190 з культиватором Case ІН 4600 на робочі поверхні лап якого наплавлений зносостійкий матеріал, менші на 26,7 грн/га, у порівнянні з серійним варіантом. Враховуючи величину капіталовкладень, приведені витрати знижуються на 27,06 грн/га. При цьому, річний економічний ефект від використання культиваторних лап для Case ІН 4600, на робочі поверхні яких виконано наплавлення зносостійкого матеріалу становить 56014 грн. Окупність запропонованого технічного рішення становить до 150 га напруцювання, або орієнтовно три зміни.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Технологічні методи забезпечення довговічності робочих органів і надійності сільськогосподарських машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2013, вип. 43, част. II. – С.7-17.
2. Диха О. В., Свідерський В. П., Дробот О. С., Машовець Н. С. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с
3. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин [Текст]: навч. посіб. / А.Г.Фесенко та [ін.] – Д.: РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.
4. А. Бойко, В. Савченко, В. Куликівський. Підвищення довговічності та ефективності роботи гвинтових транспортерів і шнекових живильників. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2011, випуск 24, ч.І. С. 148-152.
5. Ю.В. Кулешков, М.І. Черновол, М.В. Красота, Т.В. Руденко, Є.К. Солових, Р.А. Осін. Підвищення довговічності турбокомпресора в наслідок ремонтного впливу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2021, вип. 51. С. 169-174.
6. Технології, обладнання, матеріали для износостойкости наплавки. <http://www.plan-t.com.ua/>
7. [http://www.elna.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43&Itemid=222&lang=ru#plan-101](http://www.elna.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=222&lang=ru#plan-101)
8. Гринь О. Г., Трембач Б. О., Трембач І. О. Сучасні матеріали для підвищення зносостійкості деталей машин наплавленням при гідроабразивному зносі. ВІСНИК ДДМА. – 2018. – №2 (44). С – 41-46.
9. Наплавні матеріали ВЕЛТЕК. <https://weldtech-group.com/ukr/spraying>
10. Дріт порошковий для наплавлення та ремонту ОК Tubrodur 58 O/G M. <https://nisa-svarka.com.ua/ua/p39214605-provoloka-poroshkovaya-dlya.html>

11. Підвищення довговічності культиваторних лап для передпосівного обробітку ґрунту методом технологічної конвергенції [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Буслаєв Дмитро Олександрович ; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". - Глеваха, 2021. - 24 с

12. Борак К.В. Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Машинобудування та транспорт. Наукові праці ВНТУ, 2010, № 2

13. Обґрунтування параметрів культиваторних лап, оснащених елементами локального зміцнення : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / А. М. Пугач ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. — Вінниця, 2010. — 20 с.

14. Козаченко О.В. Оптимізація параметрів локального зміцнення леза лапи культиватора /О.В.Козаченко, О.М.Шкрегаль, В.С.Каденко, В.В.Гончаров // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: Науковий журнал. – Харків: ХНТУСГ, 2017. – Вип.7. С.149-155.

15. Денисенко М.І. До питання відновлення та зміцнення деталей робочих органів ґрунтообробної техніки. Центральнотехнічний науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 7(38), ч. I. С. 86-99.

16. Василенко І.Ф. Дослідження властивостей композиційних покриттів, нанесених контактним наварюванням порошкових дротів / І.Ф.Василенко // Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2014.– Вип. 27.– С. 60-67.

17. Герук С.М., Руденко В.Г., Бучко І.О. Ремонт та зміцнення робочих органів дискових борін. Вісник ТДАТУ, № 6. 2020.

18. Інструкція з експлуатації тестера шорсткості Walcom SRT-6210. 13 с.

19. Ціпоренко, С. В. Визначення густини матеріалу гир методом гідростатичного зважування / Ціпоренко С. В. // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 158-160.

20. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2018. – 185с.

21. Деркач, О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2006. – 182с.

22. Брижаний І. Дослідження відносної абразивної стійкості робочих органів сільськогосподарських машин. Техніка і технології АПК. №6 (93) червень 2017 р. С. 17-19.

23. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.

24. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 N 2245-III.

25. Правила охорони праці під час зварювання металів. Наказ МНС України від 14.12.2012 р.

26. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П. та ін. Практикум з використання машин у рослинництві. Дн-ськ, ДДАУ. – 2002. – 212с.

# ДОДАТКИ

ДОДАТОК А - Демонстраційний матеріал до дипломної роботи

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН  
ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ НАПЛАВНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІз-1-22

**Мацак Микола Михайлович**

**Керівник:** к.т.н., доцент

Деркач Олексій Дмитрович

ДНПРО 2024

Метою роботи є визначення та порівняння відносної абразивної стійкості еталонного зразку та зразків з нанесеними спеціальними зносостійкими покриттями.

Для досягнення мети дипломної роботи виконували такі завдання:

- Проаналізувати технології одержання спеціальних зносостійких матеріалів та сфер їх використання.
- Розробити програму експериментальних досліджень, навести методики виконання робіт.
- Визначити та порівняти відносну абразивну стійкість еталонного зразку та зразків із нанесеними спеціальними покриттями.
- Розглянути вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів.
- Навести техніко-економічний аналіз дипломної роботи.



Рис. 1 – Зносостійкі матеріали



Рис. 2 – Методи підвищення зносостійкості поверхонь деталей



Рис. 3 – Способи наплавлення матеріалів і сплавів

## Застосування зносостійких матеріалів у конструкціях сільськогосподарських машин



Рис. 4 – Культиваторні лапи із нанесеними локальними зміцнювальними матеріалами

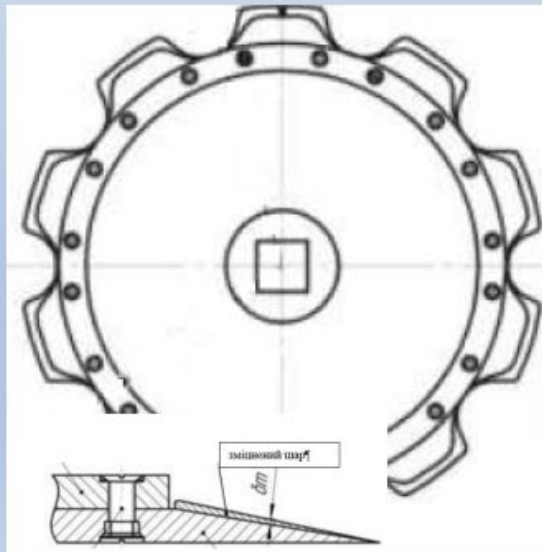


Рис. 5 – Диск важкої борони із зносостійкими накладками



Рис. 6 – Польова дошка із нанесеними зміцнювальними матеріалами



## Обладнання для проведення досліджень



Рис. 7 – Тестер шорсткості Walcom SRT-6210



Рис. 8 – Машина СМЦ-2 з устаткуванням для абразивного зношування матеріалів



Рис. 9 – Аналітичні терези METRINCO AB224



Рис. 10 – Аналітичні терези ВЛР-200

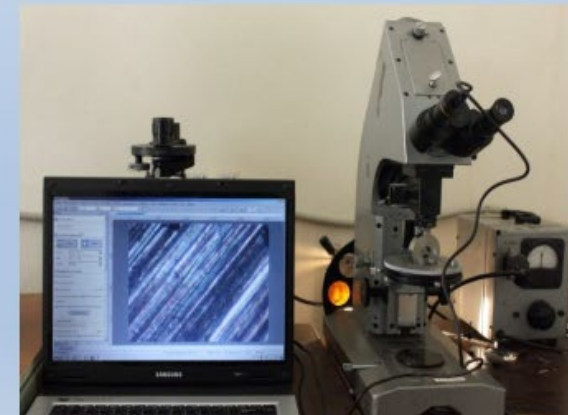


Рис. 11 – Мікроскоп МБІ-6 з окулярною камерою та ПК

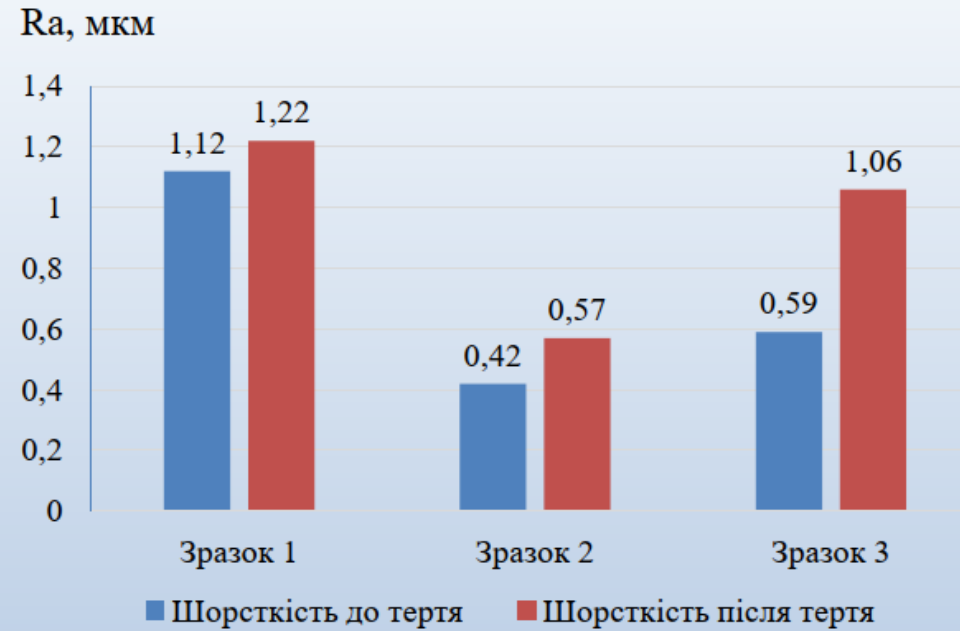


Рис. 12 – Результати визначення шорсткості досліджуваних поверхонь

Табл. 1 – Результати визначення густини досліджуваних матеріалів

Назва (шифр) матеріалу	m (у повітрі), г	m (у дистильованій воді), г	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Зразок 1	108,3105	94,58045	7888,6
Зразок 2	114,35365	99,56510	7732,6
Зразок 3	113,12725	98,41875	7691,3

Табл. 2 – Результати визначення відносної абразивної стійкості

Назва (шифр) матеріалу	m0, г	mк, г	Знос Δm, г	Δmсер, г	Густина ρ, кг/м <sup>3</sup>	*Відносна зносо-стійкість
Зразок 1	108,3180	107,7079	0,6101	0,6100	7888,6	1,00
	107,7079	107,0879	0,6200			
	107,0879	106,4880	0,5999			
Зразок 2	114,3747	114,2335	0,1412	0,1351	7732,6	4,42
	114,2344	114,1080	0,1264			
	114,1080	113,9702	0,1378			
Зразок 3	113,1385	113,0533	0,0852	0,0861	7691,3	6,91
	113,0533	112,9823	0,0710			
	112,9823	112,8803	0,1020			

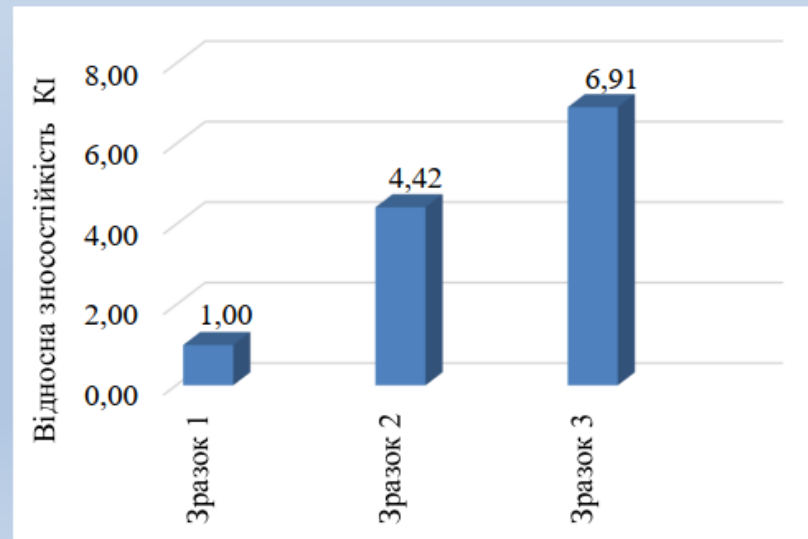


Рис. 13 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних зразків

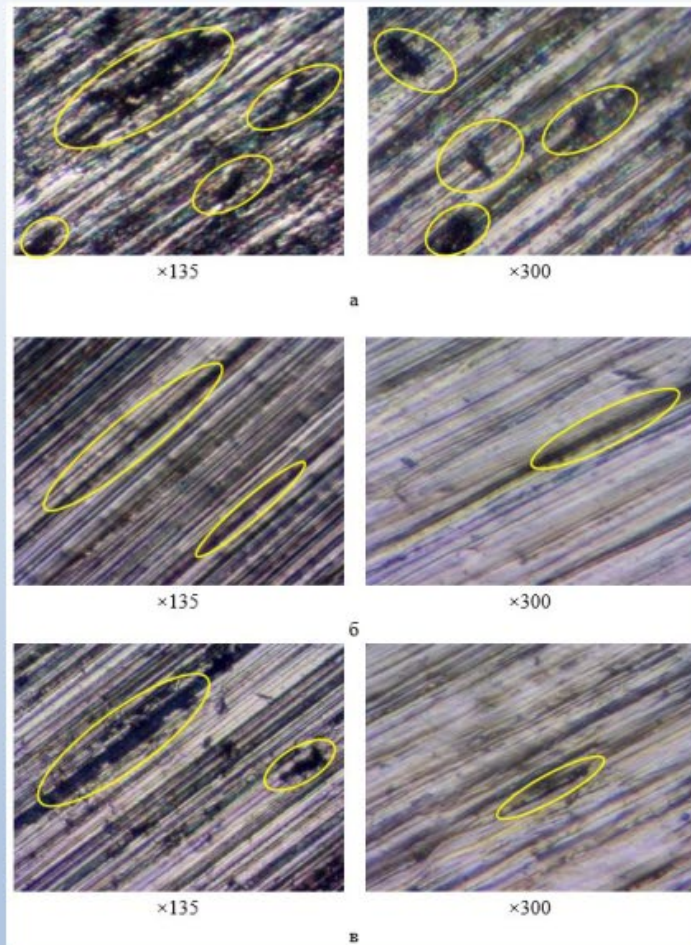


Рис. 14 – Мікрофото поверхонь після тертя: а – зразок 1, б – зразок 2, в – зразок 3.

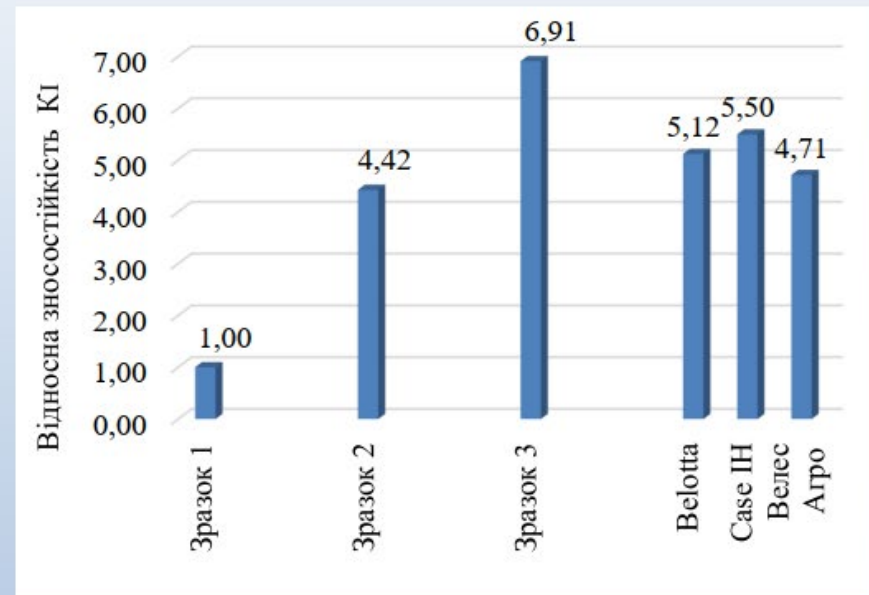


Рис. 15 – Відносна абразивна стійкість досліджуваних зразків у порівнянні із аналогічними результатами

## Техніко-економічні показники роботи

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Склад агрегату	-	Case MXM 190 + Case IH 4600	Case MXM 190 + Case IH 4600M
Темп робіт МТА	га/год	8,00	8,45
Балансова вартість:			
трактора	грн.	1700000	1700000
культиватора		680000	683920
Сумарні витрати на реновацію, ТО та ремонт МТА	грн./га	158,36	149,96
Вартість ПММ	грн./га	252,00	235,20
Оплата праці	грн./га	29,64	28,06
Експлуатаційні витрати	грн./га	440,00	413,22
Приведені витрати	грн./га	446,61	419,55
Питомий економічний ефект	грн./га	-	27,06
Річний економічний ефект	грн.	-	56014,2
Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	-	0,07

## Висновки

1. Встановлено, що використання спеціальних покриттів для робочих органів техніки, механізмів, трубопроводів та ін. дозволяє значно збільшити термін їх експлуатації. Крім того, нанесенням різноманітних матеріалів, на поверхні деталей, можна отримати бажані характеристики та властивості готових виробів. Нанесення спеціальних покриттів на поверхню деталей, дозволяє забезпечити не тільки необхідні характеристики, а й незначну собівартість виготовлення деталей або їх відновлення. Використання таких матеріалів, при відновленні зношених деталей, забезпечує невисоку вартість ремонтних робіт, у порівнянні із купівлею нових. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробної сільськогосподарської техніки використанням спеціальних наплавних матеріалів є одним із важливих завдань технічної експлуатації.
2. Наведені програма, розглянуто обладнання та методики проведення досліджень величини зносу та визначення відносної абразивної стійкості матеріалів.
3. Встановлено, що досліджувані зразки мають приблизно однакову густину, орієнтовно від 7,7 до 7,9 т/м<sup>3</sup>. Аналіз одержаних результатів свідчить про зростання шорсткості поверхонь тертя після абразивного зношування. На поверхнях зразків було зафіксовано декілька пошкоджень у вигляді відколювання зерен матеріалів. Слід зазначити, що шорсткість зразку 2 після тертя незначно зросла та має більш стабільне значення, у порівнянні з іншими матеріалами. Зразок 3 має дещо гіршу стабільність досліджуваного показника шорсткості. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що найвищу зносостійкість серед наданих зразків має зразок 3, у якого даний показник вищий у 6,9 разів ніж у еталонного. Зразок 2 також має значно вищу зносостійкість, у порівнянні з еталонним зразком 1 – у 4,4 разів. Рекомендується досліджувані матеріали використовувати в якості наплавних матеріалів для робочих поверхонь культиваторів.
4. Розглянути загальні питання охорони праці та вимоги безпеки при виконанні технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів.
5. Встановлено, що питомі експлуатаційні витрати на суцільну культивування трактором Case MХМ 190 з культиватором Case ІН 4600 на робочі поверхні лап якого наплавлений зносостійкий матеріал, менші на 26,7 грн/га, у порівнянні з серійним варіантом. Враховуючи величину капіталовкладень, приведені витрати знижуються на 27,06 грн/га. При цьому, річний економічний ефект від використання культиваторних лап для Case ІН 4600, на робочі поверхні яких виконано наплавлення зносостійкого матеріалу становить 56014 грн. Окупність запропонованого технічного рішення становить до 150 га напрацювання, або орієнтовно три зміни.