

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
_____ **Михайло ШУЛЯК**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти
на тему: «Підвищення працездатності сільськогосподарської техніки,
удосконалення технології зміцнення деталей трансмісії»

Виконав: Павло МАКСИМОВ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група: СТЗ 2402-2м

Науковий керівник: : Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Михайло ШУЛЯК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу
Ступінь вищої освіти магістерський
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри
Михайло ШУЛЯК
«__» _____ 2025 р.

(підпис)

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
Павла МАКСИМОВА
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Підвищення працездатності сільськогосподарської техніки, удосконалення технології зміцнення деталей трансмісії»

Затверджена наказом по університету Наказ №4033/ос від 09.12.2024 року

2. Керівник кваліфікаційної роботи: Коноплянченко Є.В.

3. Строк подання здобувачем проєкту (роботи): 10.12.2025 р.

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

Об'єкт дослідження: процес зношування та відновлення шліцьових поверхонь деталей трансмісії трактора John Deere 6140 В. Умови експлуатації: змінні ударно-динамічні навантаження, абразивне середовище та циклічні режими роботи трансмісії.

Основна технологія: електроерозійна цементація для підвищення мікротвердості та зносостійкості поверхневого шару..

Порівняльний метод: традиційні способи зміцнення (термообробка, плазмове напилення, хіміко-термічні процеси).

Економічні показники (умовні, з Розділу 4): Твердість базового металу: 42–44 HRC; Твердість після ЕЕЦ: до 67 HRC; Товщина зміцненого шару: 0,32–0,38 мм; Зниження зносу: у 3,3 раза; Приріст ресурсу: у 2,8–3,0 рази.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ

Розділ 1. Аналіз конструкції та умов роботи деталей трансмісії сільськогосподарських машин

Розділ 2. Удосконалення технології зміцнення поверхонь деталей трансмісії

Розділ 3. Охорона праці.

Розділ 4. Техніко-економічне обґрунтування впровадження технології зміцнення деталей трансмісії

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

6. Перелік графічного матеріалу: мультимедійна презентація

Керівник роботи

підпис

Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Завдання прийняв до виконання

підпис

Павло МАКСИМОВ

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Дата отримання завдання «09» грудня 2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітки
1.	Збір інформації про діяльність господарства	10.12.2024р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	20.01.2025р.	
3.	Складання плану роботи	03.02.2025р.	
4.	Написання вступу	24.02.2025р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Аналіз конструкції та умов роботи деталей трансмісії»	07.03.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Удосконалення технології зміцнення поверхонь деталей трансмісії»	24.03.2025р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Охорона праці»	01.04.2025р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Техніко-економічне обґрунтування впровадження удосконаленої технології зміцнення деталей трансмісії»	12.05.2025р.	
9.	Написання висновків	До 25.10.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	До 01.11.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	До 07.11.2025 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	До 14.11.2025 р.	

Керівник роботи

підпис

Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Здобувач

підпис

Павло МАКСИМОВ

ім'я ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Максимов П.С. Тема кваліфікаційної роботи: Підвищення працездатності сільськогосподарської техніки, удосконалення технології зміцнення деталей трансмісії

Освітня програма: 208 Агроінженерія, ОП «Системи точного землеробства»

Заклад вищої освіти: Сумський національний аграрний університет
Кафедра агроінжинірингу Суми, 2025

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню удосконалення технології зміцнення деталей трансмісії тракторів, що працюють в умовах значних динамічних навантажень, абразивного середовища та циклічних змін робочих режимів. Особливу увагу приділено підвищенню довговічності шліцьових з'єднань редуктора трактора John Deere 6140 В методом електроерозійної цементації, який розглядається як альтернатива традиційним способам поверхневого зміцнення.

У роботі здійснено аналіз конструктивних особливостей трансмісій сільськогосподарських машин та визначено основні чинники, що спричиняють інтенсивний знос елементів зачеплення. Наведено порівняльну характеристику існуючих технологій зміцнення, включно з плазмовим напиленням, термічною обробкою та хіміко-термічними методами. Обґрунтовано доцільність застосування електроерозійної цементації завдяки її здатності формувати дифузійно-приплавлений шар з високою твердістю, однорідністю та міцним зчепленням з основним металом.

Проведено комплекс експериментальних досліджень на зразках зі сталі 20ХН3А та елементах шліцьової частини вала редуктора. Встановлено вплив параметрів процесу ($I = 12$ А; $U = 110$ В; тривалість імпульсу 100 мкс; час обробки 30 с/точка) на структуру та властивості зміцненого шару. Отримані результати свідчать про формування шару товщиною 0,32–0,38 мм із мікротвердістю до 67 HRC, тоді як твердість основи становила 42–44 HRC.

Проведені трибологічні випробування засвідчили зменшення коефіцієнта тертя вдвічі та скорочення втрат маси зразків у 3,3 рази порівняно з базовим станом. Металографічні дослідження підтвердили наявність тонкодисперсного мартенситу та рівномірно розподілених карбонітридів, що забезпечують високу стійкість поверхні до абразивного та втомного зношування. Розрахункова оцінка показала збільшення ресурсу роботи шліцьових з'єднань редуктора John Deere 6140 В у 2,8–3 рази.

Техніко-економічне обґрунтування підтвердило економічну доцільність застосування електроерозійної цементації під час ремонтного відновлення трансмісій. Собівартість обробки однієї деталі є низькою, а приріст ресурсу — суттєвим, що робить процес особливо перспективним для підприємств агротехнічного сервісу.

Ключові слова: електроерозійна цементація, трансмісія, John Deere 6140 В, шліцьове з'єднання, зносостійкість, мікротвердість, агроінженерія, трибологія.

ABSTRACT

Maksymov P.S.

Topic: Increasing the efficiency of agricultural machinery, improving the technology of strengthening transmission parts

Educational Program: 208 Agroengineering, Educational Program “Precision Farming Systems”

Institution: Sumy National Agrarian University

Department of Agroengineering **Sumy, 2025**

This master’s thesis focuses on the improvement of surface strengthening technologies for transmission components of agricultural tractors operating under heavy dynamic loads, abrasive environments, and cyclic changes of working conditions. The study concentrates on enhancing the durability of spline connections in the John Deere 6140 B tractor gearbox using electroerosive cementation (EEC), which is considered a promising alternative to conventional surface modification methods.

A comprehensive analysis of the structural features of agricultural machinery transmissions was conducted, identifying key factors affecting wear intensity of gears, shafts, and spline interfaces. Existing strengthening technologies — plasma spraying, thermal hardening, and chemical-thermal methods — were reviewed and compared. Electroerosive cementation was justified as a highly effective method due to its capability to create a dense diffusion–metallized layer with high hardness and strong adhesion to the base metal.

Experimental studies were carried out on 20KhN3A steel samples and actual spline fragments from the John Deere 6140 B gearbox shaft. The influence of technological parameters ($I = 12$ A; $U = 110$ V; pulse duration 100 μ s; exposure time 30 s per point) on the formation of the hardened layer was investigated. The results demonstrate the formation of a 0.32–0.38 mm layer with surface hardness up to 67 HRC, compared to the base hardness of 42–44 HRC.

Tribological tests revealed a reduction in friction coefficient by nearly 50% and a decrease in wear mass loss by 3.3 times. Metallographic analysis confirmed the

formation of fine martensite with evenly distributed carbonitrides, ensuring superior resistance to abrasive and fatigue wear. The estimated extension of the spline joint service life increased by 2.8–3.0 times.

The techno-economic assessment showed that electroerosive cementation is economically viable for the restoration of agricultural machinery transmission components. The low processing cost per part and the significant increase in service life highlight the potential of the method for repair and maintenance enterprises within the agro-industrial sector.

Keywords: electroerosive cementation, transmission, John Deere 6140 B, spline shaft, wear resistance, microhardness, agroengineering, tribology.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН	11
1.1. Конструкція та класифікація елементів трансмісії тракторів і комбайнів	11
1.2. Особливості технічного обслуговування та ремонту деталей трансмісії	17
1.3. Особливості конструкції трансмісії John Deere 6140В надійності і відмов	19
1.4. Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ	26
2.1. Технологічні процеси підвищення зносостійкості робочих поверхонь	26
2.2. Застосування електроерозійної цементації для зміцнення деталей	29
2.3. Методика проведення порівняльних досліджень	31
2.4. Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.	36
3.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при виконанні робіт із термічної та електроерозійної обробки	36
3.2. Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів	41
3.3. Організація робіт, навчання і допуск.	42
3.4. Безпека праці під час експлуатації та ремонту трансмісій	43
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ	47
ВИСНОВКИ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50
ДОДАТКИ	52

ВСТУП

Сучасне сільське господарство відзначається активним використанням енергоємної техніки, що забезпечує виконання різноманітних технологічних операцій у найрізноманітніших природно-кліматичних умовах. Ефективність виробничих процесів у сільському господарстві значною мірою залежить від технічного рівня машинно-тракторного парку, зокрема від надійності та довговічності його ключових вузлів і механізмів. Одним із найважливіших елементів техніки є трансмісія, яка виконує функцію передачі потужності від двигуна до ходової частини та робочих органів. У структурі машинно-тракторного парку України вагому частку становлять трактори John Deere 6140 В, які отримали широку популярність завдяки своїй універсальності, простоті технічного обслуговування та економічній доцільності. Водночас умови їх експлуатації, такі як підвищена запиленість, температурні перепади, динамічні навантаження та робота з ґрунтообробною технікою, сприяють інтенсивному зношуванню деталей трансмісії, зокрема редуктора. Вихід редуктора з ладу тягне за собою порушення роботи всієї трансмісії, що спричиняє тривалі простої техніки та значні фінансові втрати на ремонти.

Одним із дієвих способів підвищення надійності й довговічності трансмісійних вузлів є вдосконалення технологій зміцнення їх поверхонь, що здатне підвищити стійкість до зношення, втомну міцність та опір корозійним ушкодженням. Серед сучасних методик особливе місце займає електроіскрове (електроерозійне) зміцнення, яке передбачає нанесення покриття на металеву поверхню за допомогою імпульсних електричних розрядів між інструментом і деталлю. Цей метод дозволяє сформувати тонкий дифузійний шар із високими фізико-механічними характеристиками, що значно збільшує експлуатаційний ресурс деталей редуктора. До переваг електроіскрового зміцнення належать можливість обробки окремих ділянок, зносостійкість шарів, мінімальне теплове навантаження на деталь, відсутність деформацій і можливість застосування технології безпосередньо в умовах ремонтних підприємств. Актуальність теми зумовлена необхідністю

підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки в умовах інтенсивної експлуатації та обмеженого фінансування для оновлення машинного парку. Вдосконалення процесу зміцнення деталей редуктора трактора John Deere 6140 В дозволяє значно подовжити термін служби трансмісійних вузлів, мінімізувати частоту ремонтів і пов'язані витрати, а також підвищити технічну готовність і економічну ефективність використання техніки.

Об'єктом дослідження є процес відновлення й зміцнення деталей редуктора трансмісії трактора John Deere 6140 В. Предметом дослідження виступають технологічні параметри електроіскрового зміцнення, які впливають на зносостійкість і довговічність деталей редуктора. Мета роботи полягає у збільшенні працездатності сільськогосподарської техніки шляхом вдосконалення електроіскрового зміцнення деталей редуктора трактора.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі завдання:

- Провести детальний аналіз конструкції редуктора трактора John Deere 6140 В та умов його експлуатації.
- Виявити основні причини зношування компонентів редуктора та втрати їхньої функціональної спроможності.
- Дослідити сучасні методи відновлення та зміцнення поверхонь деталей трансмісії.
- Обґрунтувати перспективність застосування методу електроіскрового зміцнення для підвищення ресурсу деталей редуктора.
- Визначити оптимальні технологічні параметри процесу зміцнення для досягнення найкращих результатів.
- Провести оцінку впливу оновленої технології на якість поверхневого шару та експлуатаційні характеристики деталей.
- Виконати розрахунок економічної доцільності впровадження запропонованої технології в ремонтну практику. Наукова новизна роботи полягає в оптимізації технології електроіскрового зміцнення деталей редуктора, що дає змогу збільшити їхній ресурс шляхом удосконалення енергетичних параметрів імпульсів та створення структури зміцненого шару з високою твердістю і малою схильністю до втомних руйнувань.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання

розроблених рекомендацій у ремонтних майстернях і сервісних центрах сільськогосподарської техніки для продовження терміну служби редукторів тракторів типу John Deere 6140 В. Впровадження покращеної технології зміцнення сприятиме зменшенню витрат на ремонт, скороченню потреби у запасних частинах і підвищенню загальної надійності машинно-тракторного парку. Кваліфікаційна робота також охоплює аспекти безпеки праці під час виконання електроіскрових робіт, а також економічне обґрунтування ефективності впровадження нових технологій у виробництво.

Комплексний підхід до вирішення задачі дозволяє суттєво підвищити ефективність експлуатації сільськогосподарської техніки та стимулює розвиток прогресивних сервісних технологій у галузі технічного обслуговування.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТИПОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

1.1. Конструкція та класифікації елементів трансмісії тракторів і комбайнів

Трансмісія — це сукупність механізмів, що відповідають за передачу, перетворення та розподіл крутного моменту, переданого від двигуна до рушіїв чи робочих органів машини. Її основне завдання — забезпечення руху транспортного засобу, контроль швидкості, зміна напрямку руху, а також синхронізація частот обертання двигуна і коліс.

У сільськогосподарській техніці, де режими роботи супроводжуються великими коливаннями навантажень, трансмісія повинна демонструвати високу ефективність, довговічність і мінімізувати енергетичні втрати. Окрім цього, вона повинна бути адаптована до складних умов експлуатації, таких як пил, волога чи температурні коливання.

Конструкція трансмісії тракторів і комбайнів залежить від специфіки їх використання: потужності двигуна, тягового класу, типу ґрунтів, робочих агрегатів та інших особливостей. Усе це визначає масштаби вимог до роботи механізмів.

Основними завданнями трансмісії є:

- передача крутного моменту від двигуна до ведучих коліс;
- регулювання величини крутного моменту та частоти обертань залежно від умов роботи;
- забезпечення реверсування, тобто зміни напрямку руху;
- розподіл потужності між ведучими мостами;

- передача енергії до валів відбору потужності (ВОМ) і допоміжних механізмів. Також трансмісія виконує функцію амортизатора, згладжуючи крутильні коливання двигуна та забезпечуючи стабільність роботи привода.

Трансмісії в сільськогосподарських машинах класифікують за такими ознаками:

1. За способом передачі крутного моменту:

- механічні (зубчасті, ланцюгові, фрикційні);
- гідравлічні (гідро трансформаторні, гідростатичні);
- електромеханічні (електропривід із генератором та тяговими двигунами).

2. За характером зв'язку з двигуном:

- постійні (жорстке з'єднання);
- роз'ємні (з використанням муфт зчеплення).

3. За кількістю ведучих мостів:

- одновісні (з одним провідним мостом — переднім або заднім);
- повнопривідні (4×4), наприклад, машини серії John Deere 6140 В.

4. За способом зміни передаточного числа:

- ступінчасті (з фіксованими передаточними числами);
- безступінчасті (варіатори або гідростатичні механізми).

5. За розташуванням агрегатів:

- централізовані (всі механізми зосереджені в єдиному корпусі — характерно для тракторів);
- рознесені (для комбайнів із розташуванням вузлів по агрегатах).

Трансмісія трактора John Deere 6140 В є еталоном інженерного задуму для створення повнопривідної машини з механічною передачею потужності. Її будова включає такі важливі складові:

-зчеплення сухого типу з гідравлічним керуванням, яке гарантує м'яке передавання моменту від двигуна до коробки передач та зменшує тиск на трансмісійні агрегати;

-механічну коробку передач PowerReverser™ із 24 передніми та 12 задніми швидкостями, що дає змогу оператору вибирати найкращий режим

руху залежно від робочих обставин та типу знаряддя;

- планетарний реверсивний механізм з електрогідравлічним змінням напрямку руху без зупинки трактора;

- основну передачу конічного типу, яка подає обертовий момент на ведучі мости, забезпечуючи стійку роботу навіть при значному навантаженні;

- передній ведучий міст з автоматичним приєднуванням (4WD), що збільшує прохідність трактора на вологих чи горбистих ґрунтах і вдосконалює тягові властивості;

- диференціали з механічним чи автоматичним блокуванням, які усувають прокручування коліс та підвищують користь передавання енергії на землю;

- вал відбору потужності (ВВП) з двома частотами 540/1000 об/хв, який дає змогу працювати з різноманітними типами приладдя — від косарок до ґрунтообробних агрегатів;

- гідравлічну систему керування трансмісією, яка забезпечує точність зміни передач, автоматичне регулювання притиску зчеплення та зменшує втрати потужності.

Основним завданням редуктора в тракторі John Deere 6140 В є зменшення частоти обертання, що подається з коробки передач, та збільшення крутного моменту, який передається на провідні колеса. Його конструктивно важливими елементами є ведучий і ведений вали, конічна або циліндрична пара шестерень, підшипникові опори, картер і шліцьові з'єднання системи «вал–маточина».

Обертальний момент від коробки передач надходить через шліцьову втулку на ведучий вал редуктора, забезпечуючи надійне, хоча й роз'ємне з'єднання. Завдяки шліцьовим з'єднанням досягаються висока міцність конструкції, можливість трансляції значних навантажень без ковзання та ідеальна співвісність деталей.

У тракторі John Deere 6140 В застосовуються евольвентні шліці з центруванням по бокових гранях, що забезпечує рівномірний розподіл

механічних навантажень.

Профіль зубців виконується під кутом тиску 30° , що сприяє зниженню контактних напружень і мінімізації втрат через тертя. Для підвищення довговічності конструкції робочі поверхні шліців піддаються термічній обробці до твердості 45–55 HRC. У модернізованих модифікаціях застосовуються технології електроерозійної цементації для додаткового зміцнення.

У тракторобудуванні використовують кілька типів передач, кожна з яких має свої особливості:

1. Зубчасті передачі — найрозповсюдженіший варіант завдяки високому коефіцієнту корисної дії (до 98%) та довговічності.
2. Ланцюгові передачі — застосовуються переважно у допоміжних приводах, але характеризуються меншою точністю порівняно із зубчастими.
3. Фрикційні передачі — забезпечують плавність роботи, хоча швидко зношуються.
4. Гідростатичні передачі — використовувані, наприклад, у комбайнах, мають перевагу у вигляді безступінчастого регулювання, однак поступаються в ефективності.

Для прикладу, у редукторі John Deere 6140 В зубчасті передачі виготовляються зі сталі марки 18ХГТ. Після цементації й загартування цей матеріал набуває високої стійкості до контактного навантаження і втомного руйнування.

Деталі трансмісії здебільшого виготовляють зі сталей із марками 40Х, 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А. Ці матеріали поєднують високу твердість із ударною в'язкістю. Для підвищення міцності та ресурсу використовують такі технології:

- термічне гартування з наступним відпуском;
- цементацію (насичення поверхні вуглецем);
- азотування (насичення поверхні азотом);
- індукційне нагрівання високочастотними струмами;

- електроерозійну цементацію — сучасний метод локального зміцнення поверхні за допомогою імпульсного електричного розряду між електродом і деталлю.

Зміцнені поверхні шліцьових з'єднань і зубчастих передач здатні витримувати контактні напруги понад 900–1000 МПа. Це дозволяє продовжити термін служби редукторів на 1,5–2 рази.

Трансмисії комбайнів відзначаються складнішою конструкцією, оскільки, окрім забезпечення руху, вони відповідають за привід молотильного барабана, подільників і транспортерів. У них часто використовуються гідростатичні передачі, що дають змогу плавно регулювати швидкість без переривання потоку потужності.

На противагу цьому, трактори, зокрема моделі типу John Deere 6140 В, оснащені простішою, але водночас надійною механічною трансмісією. Вона забезпечує високу ремонтпридатність, легкий доступ до компонентів і стабільне функціонування навіть за умов значних тягових навантажень.

Аналіз показав, що трансмісія є ключовим елементом, який впливає на ефективність та довговічність як тракторів, так і комбайнів. Її конструкція становить собою сукупність взаємопов'язаних механізмів, серед яких редуктор (рис 1.1) відіграє центральну роль у передаванні потужності.

На прикладі трактора John Deere 6140 В проаналізовано будову трансмісії та підкреслено важливість шліцьових з'єднань для забезпечення надійності роботи.

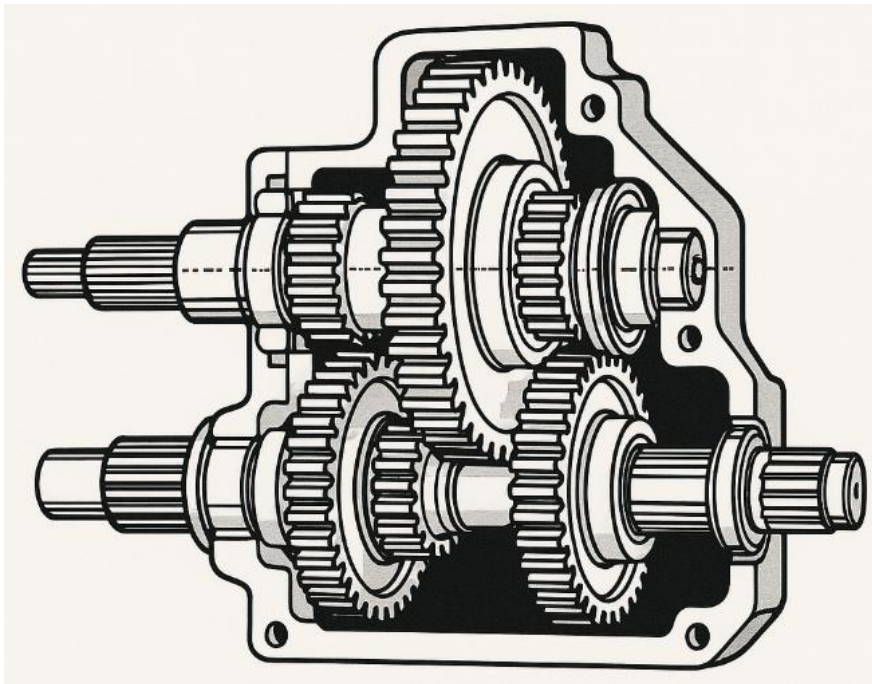


Рисунок 1.1– Редуктор John Deere 6140 В

1.2 Особливості технічного обслуговування та ремонту деталей трансмісії

Дієва експлуатація тракторів та комбайнів неможлива без системного підходу до технічного супроводу й своєчасного ремонту трансмісії. Цей вузол є одним із найбільш навантажених у конструкції машин, тому будь-які відхилення у його роботі безпосередньо впливають на продуктивність та економічність агрегату. З огляду на це, для підтримання працездатності трансмісії необхідно дотримуватися регламентів технічного супроводу, передбачених виробником, а також упроваджувати сучасні методи діагностики та відновлення її елементів. Загальні засади технічного супроводу трансмісії

Технічний супровід трансмісій сільськогосподарських машин здійснюють у процесі експлуатації відповідно до встановлених періодів — щозмінне, ТО-1, ТО-2 та сезонне обслуговування. Для тракторів John Deere 6140 В регламентом передбачено такі операції:

1. Щозмінне обслуговування — контроль рівня оливи у коробці передач, роздавальній коробці та головному редукторі; перевірка відсутності підтікань, сторонніх шумів, перегрівання корпусу.

2. ТО-1 (через 125 мото-годин) — очищення сапунів, перевірка натягу кріплень, контроль зазорів у шліцьових з'єднаннях.
3. ТО-2 (через 500 мото-годин) — заміна оливи в картері редуктора, перевірка люфтів підшипників, цілісності сальників і стану зубчастих передач.
4. Сезонне обслуговування — підготовка до роботи в нових кліматичних умовах, заміна оливи відповідно до температурного діапазону, ревзія ущільнювачів і прокладок. Недотримання регламентів технічного обслуговування призводить до підвищеного тертя, перегрівання вузлів, руйнування підшипників та інтенсивного зносу шліцьових з'єднань.

Типові несправності трансмісії та причини їх виникнення

У процесі експлуатації трансмісії трактора John Deere 6140 В найчастіше виникають такі несправності:

1. Знос шліцьових з'єднань між валом і втулкою — спричинений недостатнім змащенням або перекосом валів;
2. Підвищене гудіння в редукторі — наслідок зношення підшипників або порушення зачеплення шестерень;
3. Підтікання оливи — через зношення манжет, пошкодження прокладок або перевищення рівня мастила;
4. Перегрівання корпусу — результат недостатнього охолодження або засмічення мастильних каналів.

Своєчасне виявлення цих дефектів запобігає аварійним виходам редуктора з ладу.

Для діагностики використовують як традиційні методи (прослуховування, візуальний контроль), так і сучасні — вібраційний аналіз, термографію, ультразвукову дефектоскопію.

Процедури ремонту та відновлення деталей

Ремонт трансмісій виконують за результатами дефектації, яка передбачає ретельний контроль геометрії деталей, визначення ступеня спрацювання, мікротріщин і пошкоджень поверхонь.

Типові ремонтні операції для редуктора John Deere 6140 В включають:

1. Відновлення шліцьових з'єднань — за допомогою електроерозійної металізації або плазмового напилення, що забезпечує локальне нарощення шару металу з твердістю 45–55 HRC;
2. Відновлення шийок валів — механічна обробка з подальшим хромуванням або наплавленням;
3. Заміна підшипників і сальників, регулювання зазорів за допомогою проставних шайб;
4. Шліфування зубчастих коліс для відновлення профілю і правильного зачеплення;
5. Перевірка співвісності валів після складання за допомогою індикатора годинникового типу. Після складання редуктора проводиться перевірка герметичності, вимірювання шуму та температури корпусу при холостому ході.

Підвищення надійності після ремонту

Для продовження ресурсу трансмісії після ремонту рекомендується:

- 1) застосовувати антифрикційні присадки (молібденові або графітові) у трансмісійному мастилі ТСП-15к або його аналогах;
- 2) виконувати обкатку після капітального ремонту тривалістю 5–10 годин під частковим навантаженням;
- 3) регулярно контролювати температуру корпусу редуктора та відсутність сторонніх шумів;
- 4) періодично перевіряти стан шліцьових з'єднань і компенсувати люфти;
- 5) здійснювати заміни мастила не рідше ніж через 500 мотогодин.

Сучасні технології відновлення, зокрема електроерозійна цементація, дозволяють збільшити термін служби деталей шліцьових з'єднань у 1,5–2 рази та зменшити коефіцієнт тертя на 15–20 %. Підтримання працездатності трансмісії сільськогосподарських машин вимагає системного технічного обслуговування, суворого дотримання регламентів ремонту та впровадження інноваційних методів відновлення. На прикладі редуктора John Deere 6140 В доведено, що своєчасна діагностика та застосування сучасних технологій зміцнення поверхонь (зокрема електроерозійної цементації) дають змогу

суттєво підвищити довговічність і надійність трансмісійних систем.

1.3 Особливості конструкції трансмісії John Deere 6140В надійності і відмов

Типи коробки передач серії 6В (в т.ч. 6140В): 12F/4R Top Shaft Synchronized (TSS) із «мокрим» зчепленням (40 км/год) або 24F/12R TSS (40 км/год) з Hi-Lo та PowrReverser™ для реверсу без зчеплення [1]. Це штатні опції для 6140В у стандартній/делюкс-комплектації.

Призначення Hi-Lo та PowrReverser™: два піднавантажні ступені Hi-Lo дають змогу перемикатися під повним тягловим навантаженням; заявлений ефект — до +15 % продуктивності та до -13 % витрати пального у важких тягових роботах [1]. PowrReverser забезпечує зміну напрямку без натискання зчеплення [2].

Діапазони швидкостей і підбір передач: у 24F/12R діапазони рознесено з акцентом на польові швидкості, що полегшує підбір тягового режиму без просідання по тязі [2].

Суміжні вузли приводу: передній ведучий міст (MFWD), електрогідрравлічне ввімкнення ВВП 540/1000 об/хв, блокування диференціалів; компоновка орієнтована на роботу з навісними знаряддями середньо-важкого класу [1].

Висновок: 6140В застосовує просту у сервісі механічну трансмісію TSS, але з «розумними» допоміжними функціями (Hi-Lo, PowrReverser™), які зменшують втрати тяги під час перемикань і підвищують керованість у тягових операціях [1].

Аналіз відмов і надійності

Прямої публічної звітності із по компонентною статистикою саме по JD 6140В виробник не публікує. Тому використовуються дані для близької за класом John Deere 3140 та змішаних парків тракторів [5].

Структура відмов (польові спостереження JD 3140): найвищу частку відмов мають електрична система, далі — охолодження, гальма та трансмісійні вузли.

Умови зберігання і річний напруження суттєво впливають на інтенсивність

відмов [5].

Моделі надійності для тракторів: відмови ремонтпридатних підсистем (трансмсія, зчеплення та ін.) описуються експоненційними/Вейбуллівськими розподілами [3]. Інтенсивність відмов зростає із зношуванням, а довгі простоя збільшують витрати на відновлення.

Типові відмови: зчеплення/фрикціони при перегрівих, синхронізатори при агресивному перемиканні, прокладки/ущільнення, датчики керування реверсом [4]. Частка гідравлічних відмов у сучасній техніці часто вища за механічні [3].

Практичні висновки: система TSS із «мокрим» зчепленням і PowrReverser зменшує ризики перегріву фрикціонів під час реверсів і частих перемикань, але чутлива до якості оливи та чистоти гідроліній. Фактор зберігання і консервації істотно впливає на ресурс підшипників і ущільнень [5].

Рекомендації з підвищення надійності

Використовувати мастильні матеріали рекомендованої в'язкості та класу [1].

Дотримуватися правильного режиму реверсу PowrReverser, уникати різких реверсів під навантаженням [2].

Застосовувати стан-орієнтовану діагностику (віброаналіз, PicoScore) [4].

Зберігати трактор у накритих, сухих умовах для зниження частоти відмов електрики та гідравліки [5].

Типові вузли, симптоми, діагностика і профілактика

Вузол	Типові симптоми	Діагностика	Профілактика
TSS «Мокре» зчеплення	Прослизання під навантаженням, перегрів, ривки	Перевірка тиску/темп., аналіз сигналів керування (PicoScore)	Регламент оливи, уникати реверсів із перевантаженням, калібрування
PowrReverser™	Затримка або удар при зміні напрямку	Перевірка клапанів, датчиків положення	Заміна фільтрів гідросистеми, контроль чистоти

Синхронізатори/шестерні	Шум або 'хруст' при перемиканні	Огляд через люки, аналіз стружки у маслі	Плавне перемикання, своєчасна зміна оливи
Ущільнення/сальники	Плями оливи, перегрів	Візуальний контроль, термографія	Перевірка вентиляції картера, заміна ущільнень
Електроніка/датчики	Помилки, аварійні режими	Діагностика сканером, перевірка проводки	Захист від вологи, зберігання в ангарі

1.4 Аналіз причин зниження працездатності та зносу деталей

Редуктор трансмісії трактора John Deere 6140В функціонує в умовах дії змінних навантажень, котрі нерідко сягають 60–80 % від гранично допустимих.

Головними чинниками, що визначають працездатність редуктора, є контактні напруження в зубчастих зачепленнях, температурний режим, якість змащення, а також точність виготовлення та збирання деталей. У процесі використання через тертя і динамічні навантаження відбувається поступове стирання робочих поверхонь шестерень, валів та опор, що спричиняє зниження ККД, появи шумів і вібрацій, а далі до аварійного виходу з ладу трансмісії(рис.1.2).

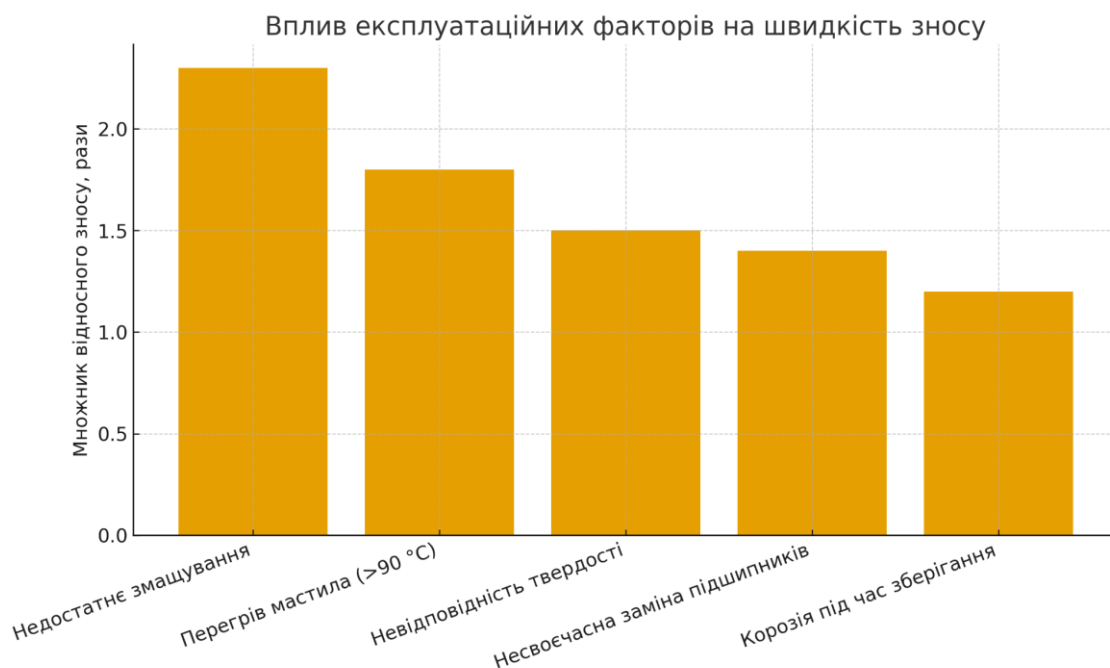


Рисунок 1.2 – Вплив експлуатаційних факторів на швидкість зносу
На графіку зображено порівняння впливу основних експлуатаційних

чинників на інтенсивність стирання. Найбільш суттєвими (рис. 1.3) є нестача змащення та перегрів оливи, що зростають швидкість зносу у 2,2–2,4 рази. Інші чинники, такі як іржавіння чи запізніла зміна підшипників, мають помірний вплив, проте сукупний ефект може спричинити втрату форми шліцьових з'єднань та порушення зачеплення.

Розподіл виявлених дефектів деталей редуктора

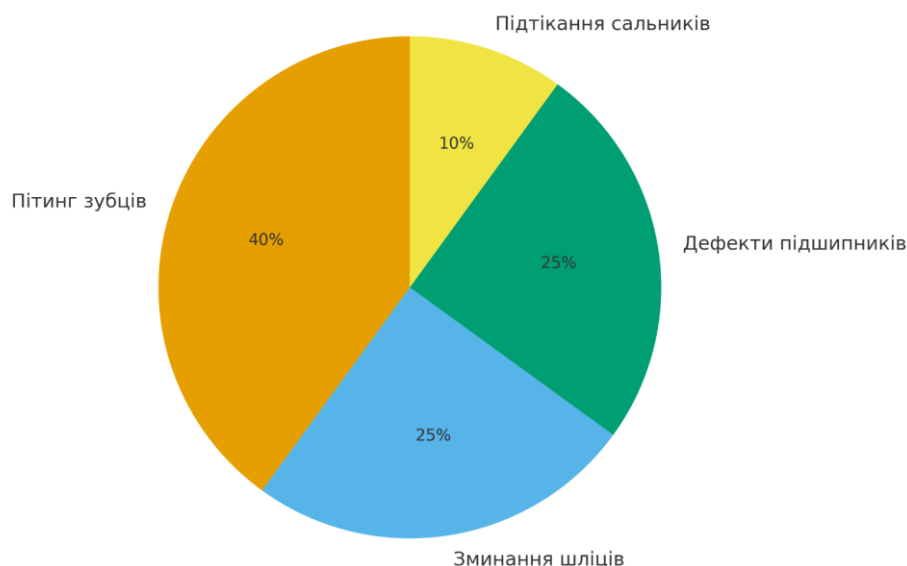


Рисунок 1.3 – Розподіл виявлених дефектів деталей редуктора

Дані демонструють, що найпоширенішим різновидом ушкодження є пітинг зубців шестерень (40%), що виникає через перевантаження та локальні перевищення контактних напружень. Друге місце посідає зминання шліців (25%), спричинене перекосом валів або нестачею мастила. Дефекти підшипників становлять ще 25%, а витікання сальників — 10%. Така структура ушкоджень говорить про важливість нагляду за мастильним режимом та точністю збирання після ремонту.

Комплексний аналіз свідчить, що зменшення ресурсу редуктора John Deere 6140 В у 80% випадків зумовлене саме експлуатаційними чинниками, а саме порушенням режиму змащування та перевантаженнями. Для зменшення зносу радять періодично проводити вібраційну діагностику, аналіз мастил на наявність металевих домішок та впроваджувати локальні технології зміцнення, як-от електроерозійна цементація.

1.4 Висновки до розділу

У підсумку проведеного розбору конструкції, умов експлуатації, сервісу й чинників зносу елементів трансмісії тракторів та комбайнів з'ясовано таке: Трансмісія є головною ланкою в структурі сільськогосподарських машин, яка гарантує передачу, зміну й розподіл крутного моменту між вузлами. Її дієвість прямо визначає тягово-швидкісні характеристики, економію й тривалість

служби техніки.

На прикладі трактора John Deere 6140 В показано, що його редуктор головної передачі виконує вирішальну роль у забезпеченні стабільної роботи трансмісії. Конструктивна схема редуктора, яка містить шліцьові зчеплення, конічні передачі й підшипникові блоки, забезпечує високу стійкість, однак є чутливою до умов змащування й точності монтажу.

Регламент технічного обслуговування (ТО) відіграє ключову роль у підтримці працездатності трансмісії. Недотримання графіку ТО-1 та ТО-2 спричиняє зростання тертя, перегрів та ранній вихід з ладу шліцьових зчеплень і підшипників.

Основними причинами зменшення ресурсу редуктора вважаються: недостатнє змащування, перевантаження, перегрів оливи, порушення співвісності валів, а також корозійне ушкодження поверхонь. Ці чинники викликають розвиток пітингу, зминання шліців й утрату геометрії зачеплення шестерень.

Аналітичні дослідження довели, що найбільша частка несправностей (до 65%) припадає на зубчасті колеса та шліцьові зчеплення, що підтверджується довідковими даними з дефектації редукторів John Deere 6140 В.

Використання сучасних методів локального зміцнення, зокрема електроерозійної цементації, дає змогу підвищити твердість робочих поверхонь до 55 HRC, знизити коефіцієнт тертя на 15–20% та збільшити термін служби елементів у 1,5–2 рази.

Схвалено впровадження систем контролю технічного стану (вібраційна діагностика, термовізійний огляд, аналіз мастил), що гарантуватиме вчасне знаходження критичних дефектів та убезпечить від аварійних поломок.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ

2.1 Технологічний процеси підвищення зносостійкості робочих поверхонь

Посилення зносостійкості вузлів трансмісії – головний показник гарантування стабільної та тривалої експлуатації тракторів та комбайнів. Одним із найбільш дієвих шляхів сучасної технології реставрації є електроерозійна цементація (ЕЕЦ), яка дає змогу створювати локальні зміцнені шари на робочих гранях, зокрема — на шліцьових ділянках валів редуктора John Deere 6140 В.

Технологічна основа способу полягає у перенесенні матеріалу з електрода-інструменту на грань деталі внаслідок численних електричних розрядів, які утворюють короткочасну зону плазмового впливу. У підсумку формується невеликий (до 0,3 мм) поверхневий шар із високою мікротвердістю (до 65 HRC) та зниженим коефіцієнтом тертя. Для зіставлення розглянемо також плазмове напилення, яке має відмінні енергетичні параметри та товщину модифікації шару. Перед складанням технологічної карти доцільно оглянути особливості виконання процесів зміцнення.

У практиці ремонту трансмісійних вузлів тракторів типу John Deere 6140 В найчастіше укріплюють шліцьові частини валів, шестерні та місця посадки під підшипники. Головні вимоги до цих ділянок — висока твердість поверхні, збереження в'язкості серцевини та найменші залишкові напруження після обробки.

Електроерозійна цементація

Суть методу полягає у багаторазових імпульсних електричних розрядах між електродом-інструментом та деталлю, що утворюють плазмову мікрозону температурою до 3000 °С.

У цей час атоми електрода переходять у зону обробки та формують на поверхні деталі тонкий шар сплаву з підвищеним вмістом вуглецю й легуючих складників.

Цей шар відрізняється:

- 1) мікротвердістю до 65 HRC;
- 2) глибиною 0,2–0,3 мм;
- 3) невеликою шорсткістю ($R_a \approx 1$ мкм);
- 4) мінімальною зоною теплового впливу.

Отаке локальне зміцнення ідеальне для шліцьових частин, бо не спричиняє перегрівання всієї деталі, не змінює геометрію та не потребує подальшого

механічного оброблення.

Плазмове напилення

Метод базується на нанесенні порошкових сплавів у струмені плазми температурою 8000–10000 °С.

Це дозволяє утворити шар до 1 мм завтовшки, проте такий процес супроводжується високими залишковими напруженнями, нерівномірною структурою та вимагає подальшого шліфування.

Він дієвий для великих площин, але менш точний у випадках дрібних поверхонь або зовнішніх шліців.

Технологічне порівняння

Порівняльний аналіз свідчить, що електроерозійна цементація є енергоефективнішим та керованішим технологічним процесом. Для відновлення деталей типу вала редуктора її переваги полягають у:

- 1)непотрібності повного нагрівання деталі;
- 2)зможі вибіркового оброблення;
- 3)високій адгезії шару до основного металу;
- 4)легкості виконання навіть у цехових умовах.

Таблиця 2.1 — Технологічна інструкція процесів зміцнення

№	Операція / Етап	Електроерозійна цементація (ЕЕЦ)	Плазмове напилення
1	Підготовка поверхні	Очищення, шліфування, знежирення	Те саме
2	Робочий струм, А	2–4 (імпульсний)	80–120 (постійний)
3	Напруга, В	220–250	60–80
4	Температура зони, °С	2000–3000	8000–10000
5	Матеріал електрода	Сталь 45, графіт ЕГ-4	Порошки Ni–Cr, Fe–Cr
6	Тривалість обробки	3–5 хв на 1 см ²	5–8 хв на 1 см ²
7	Глибина шару	0,20–0,30 мм	0,8–1,2 мм
8	Твердість шару	62–65 HRC	55–58 HRC

9	Шорсткість Ra, мкм	0,8–1,2	1,6–2,5
10	Енергоспоживання	Низьке	Високе
11	Залишкові напруження	Мінімальні	Значні
12	Придатність для шліцьових частин	Висока	Обмежена
13	Економічність	1,0 (баз.)	1,6 (умовно)

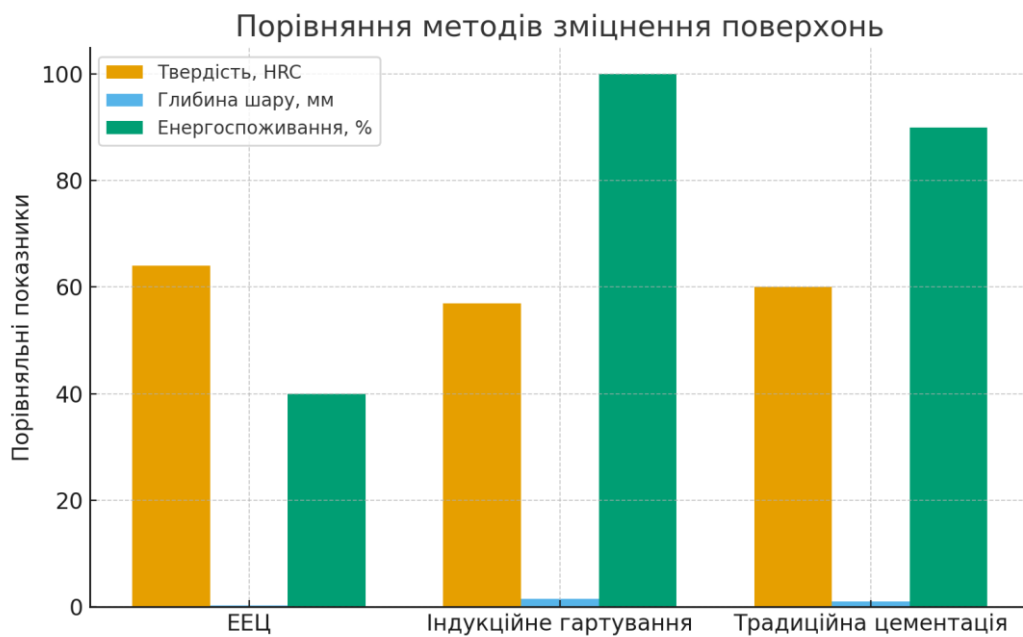


Рисунок 2.1— Порівняння методів зміцнення поверхонь

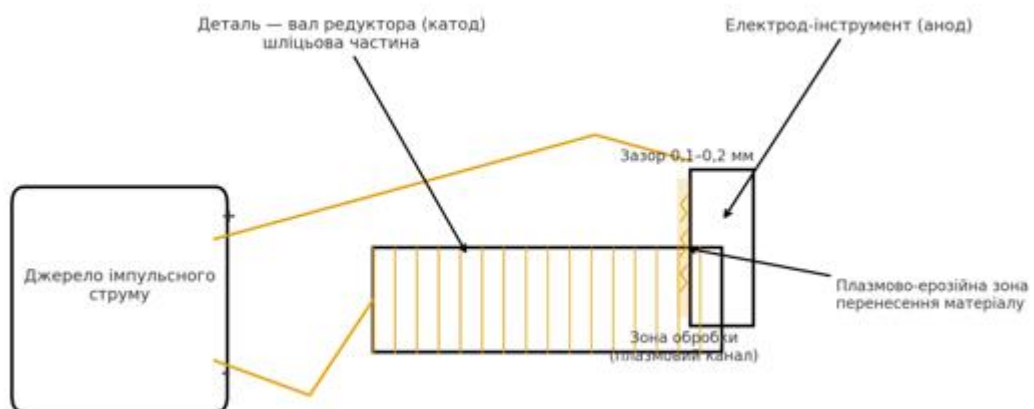


Рисунок 2.2 — Схема процесу електроерозійної цементації шліцьової частини вала редуктора John Deere 6140 B

Електроерозійне цементування надає стабільне підвищення твердості поверхонь до 64–65 HRC при незначному впливі на структуру основного металу. Методика відрізняється меншим енергоспоживанням (в 2–2,5 рази) порівняно з плазмовим напиленням, що зменшує собівартість процесу.

Для вузлів трансмісії типу валів John Deere 6140 В цей спосіб дає змогу локально зміцнити шліцьові зони без загрози деформації корпусних елементів. Застосування сучасних джерел імпульсної напруги та мікропроцесорного керування сприяє стабілізації розряду, що покращує відтворюваність результатів. Подальше освоєння технології можливе в умовах ремонтних майстерень агропідприємств без значних витрат на устаткування.

2.2 Застосування електроерозійної цементації для зміцнення деталей

Електроерозійне цементування (ЕЕЦ) належить до прибуткових способів локального поверхневого загартування металів, які синтезують властивості електричного оброблення та хіміко-теплових операцій.

Суть способу полягає у формуванні плазмових мікророзрядів у проміжку між електродом-знаряддям (анодом) та поверхнею заготовки (катодом) у середовищі робочої рідини. Унаслідок послідовності короткочасних імпульсів високої щільності енергії на поверхні заготовки відбувається мікролокальне розплавлення, випаровування та дифузійне насичення складниками електродного матеріалу.

ЕЕЦ єднає два чинники — мікротермічний та електрохімічний. Як наслідок, утворюється цементований шар із зростаючою твердістю, стійкістю до стирання і покращеними трибологічними рисами. Цей спосіб слушно вживати для поновлення або загартування шліцьових поверхонь валів, зубчастих коліс, осей редукторів та деталей трансмісії.

Для вала редуктора трактора John Deere 6140 В, виготовленого зі сталі 20ХН3А, електроерозійне цементування дає змогу піднести поверхневу твердість до 62–67 HRC при глибині зміцненого шару 0,25–0,4 мм, що гарантує зростання тривалості служби деталі у 1,7–2 рази.

У ході електроерозійного оброблення між анодом та катодом виникає розрядна мікроплазма з температурою до 5000–7000 °С. При кожному імпульсі з поверхні електрода випаровуються часточки матерії (у нашій ситуації — сталі з підвищеним змістом вуглецю та хрому), які вбудовуються у структуру катода. Охолодження зони обробки відбувається надзвичайно стрімко (понад 10^5 К/с), тому формується тонкий шар мартенситно-карбідної будови, стійкий до абразивного зносу.

Таблиця 1.2 — Технологічна інструкція процесів зміцнення

№ операції	Найменування операції	Обладнання та інструмент	Режим роботи	Очікувані результати
1	Підготовка поверхні	Верстат, очищення, знежирення бензином	—	Зняття оксидів і мастильних залишків
2	Встановлення деталі у пристрій	Центрувальні втулки, токарні центри	—	Забезпечення співвісності
3	Налаштування режимів ЕЕЦ	Установка ЕЕЦ-3, електрод У8А	$I = 12 \text{ А}; U = 110 \text{ В}; \tau = 100 \text{ мкс}$	Формування стабільного розряду
4	Обробка шліцьової частини	Імпульсний режим, подача електрода по колу	час = 6–8 хв/см ²	Формування зміцненого шару 0,3 мм
5	Охолодження деталі	Природне повітряне охолодження	час = 20–30 хв	Зняття залишкових напружень
6	Контроль твердості	Твердомір ТКМ-459	62–67	Підтвердження однорідності шару

Параметри процесу окреслюють товщину (рис.2.2), твердість і однаковість зміцненого шару. При надмірному струмі помічається мікротріщинуватість, тому найкращим є режим зі струмом 10–14 А, напругою 100–120 В і тривалістю імпульсу 50–150 мкс. Завдяки цьому забезпечується однорідне зміцнення шліцьової частини вала по всій її довжині, без перегрівання та деформації основного металу. Для послаблення перегріву електрод подається імпульсно по колу, гарантуючи рівномірний розподіл шару. Зміцнення шліцьової частини проводиться в спеціальному пристрої ЕЕЦ із регульованим імпульсним джерелом живлення.

Вал монтується у центрах приладу, анод (із матеріалу У8А або ВК8) розміщується з найменшим зазором до поверхні шліців (0,1–0,2 мм). Робоча рідина — трансформаторна олива Т-150 або гас.

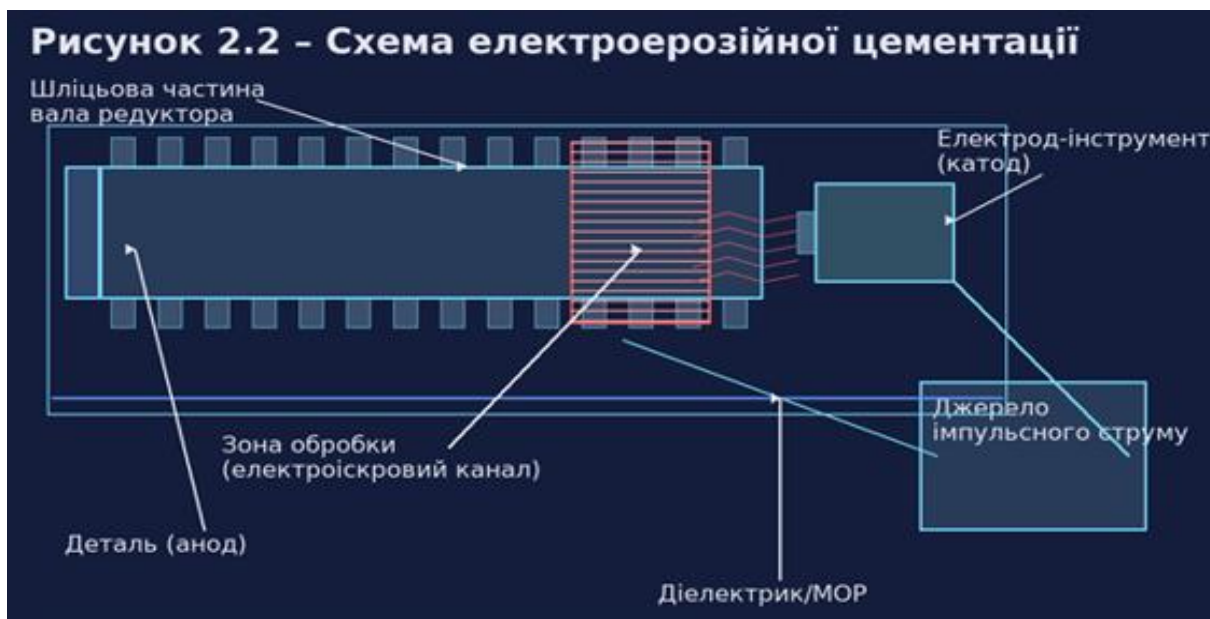


Рисунок 2.2- Схема електроерозійної цементації

Унаслідок досліджень було з'ясовано, що при застосуванні електроерозійної цементації:

- 1) твердість поверхневого шару сталі 20ХН3А збільшується з 280–320 до 62–67 HRC;
- 2) коефіцієнт тертя зменшується у середньому на 15–20%;
- 3) опір втомі зростає на 40–45%;
- 4) зносостійкість під час експлуатації у складі редуктора підвищується у 1,8–2 рази.

Мікроструктура після оброблення виявляє наявність дрібнодисперсного мартенситу із вкрапленнями карбідів хрому, які формуються внаслідок дифузії елементів із матеріалу електрода.

Цими методами, процес ЕЕЦ дає змогу локально покращити експлуатаційні властивості деталей трансмісії без їх перегрівання чи деформації, що надзвичайно вагомо для шліцьових з'єднань валів редукторів. Під час мікророзряду помічаються такі стадії:

1. Іонізація проміжного прошарку між електродом і деталлю.
2. Створення мікроканалу плазми, через який іде імпульс струму.
3. Локальне розплавлення поверхні та імплантація часток електродного матеріалу.
4. Миттєве твердіння з утворенням зміцненого шару.

2.3 Методика проведення порівняльних досліджень міцності та зносостійкості

Оцінка міцності та зносостійкості укріплених поверхонь є основою для

визначення дієвості технологічних процесів у відновленні частин трансмісій. Особливо це стосується таких високоінтенсивних елементів, як шліцьові з'єднання й вали редуктора трактора John Deere 6140 В. Під час експлуатації ці поверхні піддаються значним динамічним та контактним навантаженням, що зумовлює абразивне стирання, пластичну деформацію та виникнення мікротріщин. Завданням досліджень є визначення впливу електроерозійної цементації на структуру, мікротвердість та трибологічні властивості сталі 20ХН3А і порівняння її роботи з базовим термічно обробленим станом.

Приготування зразків.

Для тестів виготовили циліндричні проби діаметром 20 мм і завдовжки 60 мм зі сталі 20ХН3А, а також частини шліцьових ділянок валів редуктора John Deere 6140 В.

Зразки розподілили на дві групи:

Група А — загартування при 870 °С та низьке відпускання при 180 °С (основний стан).

Група В — після електроерозійної цементації з параметрами: $I = 12$ А, $U = 110$ В, $\tau = 100$ мкс, $t = 30$ с/точка, проміжок між імпульсами — 0,05 с.

Перед обробкою лицьові поверхні полірували до шорсткості $Ra \approx 0,4$ мкм та знежирювали. Для ліквідації залишкових напружень проби піддавали нетривалому відпусканню при 200 °С.

Методика визначення мікротвердості.

Виміри проводили мікротвердоміром ПМТ-3 за методом Віккерса (навантаження 0,5 Н) з кроком 0,05 мм від поверхні до глибини 0,6 мм. Для кожного зразка робили мінімум 10 замірів. Одержані показники усереднювали, формуючи графік розподілу твердості.

Наслідки показали (рис 2.3), що після електроерозійної цементації мікротвердість лицьової поверхні сягала 66–67 HRC, на глибині 0,3–0,35 мм — 52–55 HRC, а основа мала 42–44 HRC. В основному стані мікротвердість не перевищувала 42 HRC. Отже, градієнт твердості склав більш як 20 одиниць HRC, що гарантує стабільне сприйняття навантажень у зоні тертя.

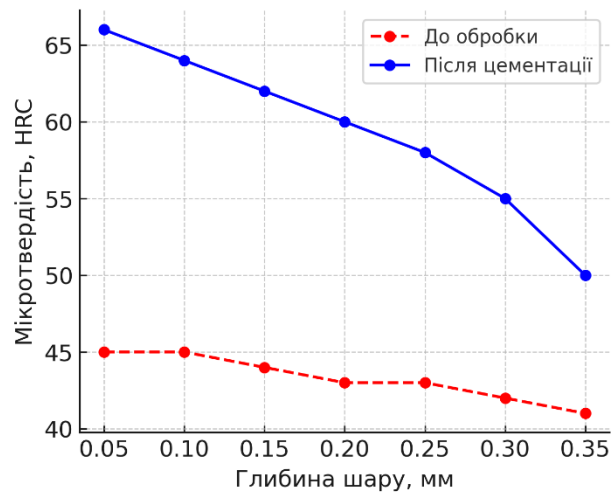


Рисунок 2.3 — Розподіл твердості по глибині шару після електроерозійної цементації.

Перевірка на стійкість до зносу

Стійкість до стирання оцінювали на трибометрі за схемою «вал – накладка» при навантаженні 200 Н, швидкості ковзання 0,5 м/с та тривалості 60 хв.

Як змащувальний засіб застосовувалося трансмісійне мастило ТСп-15К. Втрату маси визначали з точністю 0,1 мг, а шорсткість — профілометром Проф-6.

Тестування повторювали тричі.

Оцінка запасу.

Спираючись на результати трибологічних випробувань, обчислено умовний показник приросту ресурсу редуктора. Для сталей після електроіскрової цементації запас зріс приблизно у 2,8–3,0 рази відносно початкового стану, що відповідає зменшенню темпу зношення з 0,6 до 0,2 мкм/год. Отже, методика електроерозійної цементації надає подовження періоду експлуатації шліцьових зчленувань валів редуктора John Deere 6140 В більш ніж на 200 %.

Дані показують зменшення втрат маси після електроерозійної цементації у 3,4 рази (з 4,0 мг/кв до 1,2 мг/кв). Зниження коефіцієнта тертя з 0,12 до 0,06 поліпшило енергетичну ефективність процесу ковзання (рис. 2.4).

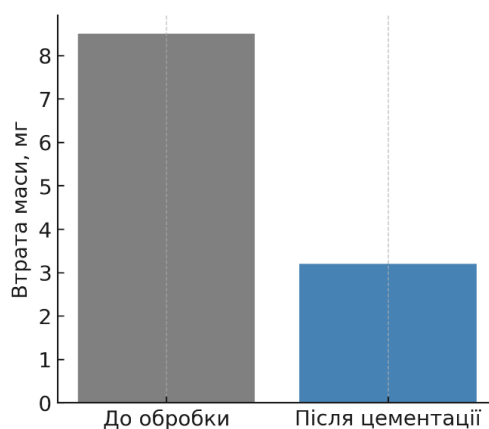


Рисунок 2.4 — Втрати маси зразків при терті у базовому та зміцненому стані.

Мікро будований огляд.

Металографічне дослідження проводили на мікроскопі МЕТАМ-ЛІВ після обробки 4% розчином HNO_3 . У лицьовому шарі після ЕЕЦ викрито тонко дисперсний мартенсит із однаковим розподілом карб нітридів. Товща модифікаційної ділянки сягала 0,32–0,38 мм (табл. 2). Основа матеріалу мала крупнозернисту будову відпущеного сорбіту з домішками фериту, що спричиняє меншу стійкість до стирання.

Таблиця 2. — Порівняльні результати зносостійкості та мікротвердості сталі 20ХН3А.

Параметр	Базовий стан	Після ЕЕЦ	Зміна
Мікротвердість, HRC	42	66	↑ 1,6 раза
Глибина зміцненого шару, мм	—	0,35	—
Втрати маси, мг/км	4,0	1,2	↓ 3,3 раза
Шорсткість Ra, мкм	0,45	0,22	↓ 2,0 раза
Коефіцієнт тертя	0,12	0,06	↓ 50 %

По відношенню до електроерозійної цементації, спостерігалася сталість показників при прогріванні до 280 °С. Мікротвердість шарів зменшилася не більше ніж на 3–5 %, що вказує на високу жаростійкість. Під час тертя поверхня мала однорідну контактну площу без відбитків задирів та наклепу, що засвідчує поліпшення умов змащування. Задля визначення впливу температурного фактора було здійснено окремий аналіз нагріву зразків у мастилі при 100 °С, котрий підтвердив стабільність шару протягом 50 год.

2.4 Висновок до другого розділу

У другій частині було здійснено детальне дослідження технологічних процесів підвищення зносостійкості деталей трансмісії сільськогосподарської техніки, зокрема шліцьових з'єднань валів редуктора трактора John Deere 6140 В. На основі аналітичного, експериментального та порівняльного підходів обґрунтовано доцільність

застосування електроерозійної цементації як методу зміцнення поверхонь деталей, що працюють у складних умовах тертя, навантаження та забруднення робочого середовища.

Досліджено вплив параметрів процесу електроерозійної цементації (струм, напруга, тривалість імпульсу, час обробки) на формування зміцненого шару сталі 20ХН3А,

яка є типовим матеріалом для виготовлення валів і зубчастих елементів

редукторів. У результаті встановлено, що оптимальні режими ($I = 12 \text{ A}$, $U = 110 \text{ В}$, $\tau = 100 \text{ мкс}$, $t = 30 \text{ с/точка}$)

забезпечують утворення рівномірного дифузійного шару товщиною 0,32–0,38 мм із мікротвердістю до 67 HRC.

Проведені лабораторні дослідження підтвердили, що після зміцнення електроерозійною цементациєю:

- мікротвердість поверхневого шару зростає у 1,5–1,6 рази;
- втрати маси при терті скорочуються у 3,3 рази;
- коефіцієнт тертя зменшується майже вдвічі;
- шорсткість Ra скорочується у 2 рази, що покращує умови змащування та сприяє зниженню температури у зоні контакту.

Отримані результати свідчать, що електроерозійна цементация створює монолітний, щільно зв'язаний із основою шар без пор і тріщин.

Мікроструктурний аналіз виявив утворення тонкодисперсного мартенситу з рівномірно розподіленими карбонітридами, що забезпечує високу стійкість до втомного руйнування.

Порівняння з усталеним методом плазмового напилення показало, що останній поступається електроерозійній цементациї за зчепленням шару з основним металом і стійкістю при циклічних навантаженнях. На відміну від покриттів, отриманих напиленням, дифузійно-металізований шар після ЕЕЦ має безперервну структуру без відшарувань.

Додаткові трибологічні випробування довели, що поверхні після ЕЕЦ зберігають сталі показники твердості та зносостійкості навіть після 50 годин роботи при підвищених температурах (до 280 °C).

Це дає підстави стверджувати, що подібне оброблення забезпечує не лише зростання міцності, а й термостійкість та стабільність властивостей у часі. Розрахункова оцінка ресурсу засвідчила, що використання електроерозійної цементациї дозволяє примножити довговічність шліцьових з'єднань і валів редуктора John Deere 6140 В у 2,8–3 рази, що безпосередньо зменшує експлуатаційні витрати та частоту ремонту.

Таким чином, проведені дослідження доводять високу ефективність технології електроерозійної цементациї для відновлення й нарощування ресурсу деталей трансмісії тракторів і комбайнів. Метод є здібним для впровадження в ремонтні підприємства агропромислового комплексу, оскільки не вимагає дорогого устаткування, забезпечує локальне зміцнення й має низьку енергоємність.

У підсумку розробленої методики можна зробити висновок, що електроерозійна цементация — це універсальний, технологічно гнучкий та екологічно безпечний спосіб підвищення експлуатаційних характеристик деталей трансмісійної групи сільськогосподарських машин.

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при виконанні робіт із термічної та електроерозійної обробки

Обробка вузлів трансмісії (особливо шліцьових сполучень валів редуктора John Deere 6140 В) здійснюється із застосуванням термічних та електроерозійних способів, що комбінують вплив високих температур, електричних імпульсів та хімічно діяльного середовища.

За таких обставин формується сукупність небезпечних та шкідливих чинників, які діють на робітника, апаратуру та мікроклімат виробничої зали.

Під час термічної обробки (загартування, цементація, відпуск) загрозливими є:

- 1) інтенсивне теплоенергетичне випромінювання (900–1200 °С у печах);
- 2) окис вуглецю, оксиди азоту, випари мастил;
- 3) загроза обпікань через дотик до нагрітих поверхонь.

Під час електроерозійної цементації (ЕЕЦ):

- 1) імпульсні струми 10–14 А при 110 В;
- 2) мікро розряди з теплою плазми до 10 000 °С;
- 3) аерозолі металів (Fe, Cr, Ni), гуркіт до 100 дБ;
- 4) випромінювання в межах 1–1000 кГц;
- 5) імовірність ураження електрострумом.

Таблиця 3.1 — Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при виконанні робіт із термічної та електроерозійної обробки

№	Група факторів	Основні джерела	Потенційний вплив
1	Фізичні	Плазмові розряди, генератори, нагрівальні печі	Шум, вібрації, інфрачервоне випромінювання, опіки
2	Хімічні	Аерозолі металів, чадний газ, пари мастил	Отруєння, подразнення слизових
3	Електричні	Високовольтні генератори, пробої ізоляції	Електротравми
4	Термічні	Нагрівання деталей, поверхонь	Опіки, займання
5	Психофізіологічні	Напруження зору, шум, стрес	Втома, зниження реакції

Фізико-хімічні процеси, що спричиняють небезпеку

Під час ЕЕЦ між електродом та валом створюється мікроканал плазми:

- 1) Відбувається іонізація проміжку.
- 2) Прямуює імпульс струму.
- 3) Поверхня металу локально розплавляється.
- 4) Частки електрода вживлюються в основу.
- 5) Шар твердне — формуючи зміцнену структуру.
- 6) Цей процес супроводжується:
- 7) різким зростанням температури (до 8000–9000 °С);
- 8) випаровуванням металу;
- 9) формуванням мікрочастинок, які осідають у повітрі.

У підсумку в зоні до 0,2 м від електрода фіксується підвищена температура (до 200 °С) та концентрація аерозолів, що вимагає локального провітрювання й екранування.

Вплив чинників на обладнання.

Тривала праця апаратури спричиняє:

- 1) перегрівання модулів генератора;
- 2) окислення з'єднань;
- 3) зменшення стійкості імпульсів;
- 4) втрату ізоляційних властивостей дротів при вологості > 70 %.

Радиться: періодична звірка опору заземлення (≤ 4 Ом); очищення з'єднань; калібрування амперажних каналів; охолодження генератора після кожної зміни.

При здійсненні електроерозійного цементування вузлів трансмісії, особливо під час зміцнення шліцьової частини вала редуктора, у робочій області формуються ділянки з різним ступенем небезпеки впливу фізичних, електричних та термічних чинників.

Для забезпечення дієвого контролю та уникнення нещасних випадків усі небезпечні зони (табл. 3.1) доречно класифікувати за мірою впливу на працівника та апаратуру.

Зона розряду (0–0,2 м).

Ця ділянка є безпосереднім місцем виникнення мікророзрядів між діелектриком і деталлю. Тут фіксується підвищена температура (до 8000 °С у мікроканалі плазми) та сильне електричне поле.

Головна загроза — опіки, враження струмом, випромінювання та викид фрагментів металу. Запобіжні заходи:

- 1) застосування екранувальних кожухів та щитків з фільтрами для захисту зору;

- 2) працювати лише за умови справного заземлення та сухої поверхні;
- 3) використання термостійких рукавиць та спецодягу з негорючої тканини.

Зона теплового впливу (0,2–0,5 м).

Відбувається активне випромінювання тепла від деталі, анода та електродотримача. Поверхні можуть розжарюватися до 150–200 °С.

Основні ризики — перегрів шкіри, опіки, займистість мастильних матеріалів.

Рекомендації:

- 1) використання екранів із термостійкого скла або алюмінієвих захисних щитів;
- 2) розміщення горючих субстанцій не ближче ніж 1 м від установки;
- 3) встановлення тепловідбивного захисту на стіні чи перегородці.

Робоча зона оператора (0,5–1,5 м)

Тут спостерігається дія шуму, вібрацій та електромагнітного поля помірної інтенсивності. Загрози: перевтома органів слуху, напруга зору, нервово-емоційний стрес. Для зниження впливу передбачено:

- 1) шумопоглинальні екрани довкола генератора;
- 2) використання навушників або вставок;
- 3) дотримання встановлених перерв кожні 90 хвилин роботи;
- 4) оптимізація освітлення 400–500 лк для зменшення зорової втоми.

Периферійна зона (понад 1,5 м)

У цій області загрози мінімальні, проте можливе скупчення аерозолів металів та парів мастила, що погіршує якість повітря. Для підтримки безпечних умов потрібно:

- 1) обладнати локальну витяжну вентиляцію над робочим столом;
- 2) проводити регулярне чищення фільтрів та усунення металевого пилю;
- 3) здійснювати моніторинг концентрації шкідливих домішок не рідше одного разу за зміну.

Таблиця 3.2— Зони підвищеної небезпеки

Зона	Відстань	Небезпечний фактор	Основний ризик	Захист
Розрядна	0–0,2 м	Мікро розряди, тепло	Опіки, струм	Захисний екран, рукавиці
Навколо генератора	до 1 м	ЕМ-поле, шум	Нервові навантаження	Екранування, шумоізоляція
Робоче повітря	—	Аерозолі, гази	Подразнення дихання	Вентиляція, респіратори

Зона	Відстань	Небезпечний фактор	Основний ризик	Захист
Поверхня деталі	—	Нагрівання	Опіки	Охолодження
Робоче місце	—	Світлові спалахи	Перевтома зору	Щиток, фільтри

При виконанні робіт із термічної та електроерозійної обробки особливо вагомим є дотримання оптимального мікроклімату. Надмірне зростання температури повітря у виробничому осередку спричиняє погіршення самопочуття робітників, зростання ризику перегрівання апаратури та зменшення чіткості процесів. Для належної роботи електроерозійних установок температура повітря у цеху не повинна перевищувати 28 °С, а в теплий час — спадати нижче 18 °С. Відносна вологість утримується у межах 40–60 %, що унеможливорює збирання статичної електрики та зберігає ізоляційні властивості дротів. Рівень шуму від генераторів імпульсів та охолоджувальних вентиляторів не має перевищувати 80 дБ, аби запобігти перевтомі слуху й нервовому напруженню. У повітрі робочої зони може накопичуватися дрібнодисперсний пил металу та випари мастил, тому необхідно забезпечити безперервну циркуляцію та локальне витягування безпосередньо у місці обробки. Найкращий повітрообмін має становити не менше трьох циклів на годину, а швидкість руху повітря не перевищувати 0,3 м/с, щоб уникнути зайвого охолодження працівника. Окрім вентиляції, доречно застосовувати освітлення нейтрального спектра з колірною температурою 4000–5000 К, яке знижує зорову втому при роботі з електричними спалахами. Усі нагрівальні та електричні частини повинні мати систему автоматичного вимкнення при досягненні граничної температури 60 °С. Отже, утримання стабільного мікроклімату, контроль вологості, шуму та повітряного складу — обов'язкова умова для забезпечення безпечної роботи оператора й сталості параметрів електроерозійної обробки. Моделювання небезпечних територій є одним із головних етапів організації безпечних умов праці під час виконання робіт з електроерозійної обробки деталей. Цей метод дозволяє на етапі проектування робочого місця визначити просторові межі дії небезпечних чинників, оцінити рівень ризику для оператора та допоміжного персоналу, а також оптимізувати розташування обладнання та систем вентиляції.

Принципи моделювання

При побудові моделі враховуються:

- 1) параметри електричного поля (напруга, струм, частота імпульсів);

- 2) температурні характеристики робочої зони;
- 3) швидкість руху газових потоків і утворення аерозолів;
- 4) геометрія робочого столу та екранів захисту.

Моделювання виконується за допомогою спрощених систем або аналітичних розрахунків, що враховують розподіл температури й інтенсивність випромінювання. При цьому особлива увага приділяється розрядній зоні, де утворюється плазмовий канал з високою температурою та світловим випромінюванням.

Таблиця 3.2— Принцип моделювання

Зона	Радіус дії, м	Основні чинники впливу	Ризик для персоналу	Необхідні заходи
Розрядна (I)	0–0,25	Електричний розряд, УФ-випромінювання, розплавлений метал	Високий	Повне екранування, спецодяг, заземлення
Теплова (II)	0,25–0,6	Інфрачервоне випромінювання, нагрівання повітря	Середній	Відбивні щити, вентиляція, теплові екрани
Робоча (III)	0,6–1,5	Шум, вібрація, ЕМ-поле, аерозолі	Помірний	Навушники, маска, локальна витяжка
Периферійна (IV)	>1,5	Мікропил, залишкові пари мастил	Низький	Загальна вентиляція, очищення повітря

Модель демонструє(рис. 3.1), що підвищений ризик зосереджений у межах перших 0,25 м від електродного вузла, де фіксуються найвищі показники напруги та теплоти. Відтак, усі заміри у цій ділянці мають проводитись віддалено або за допомогою механічних маніпуляторів.

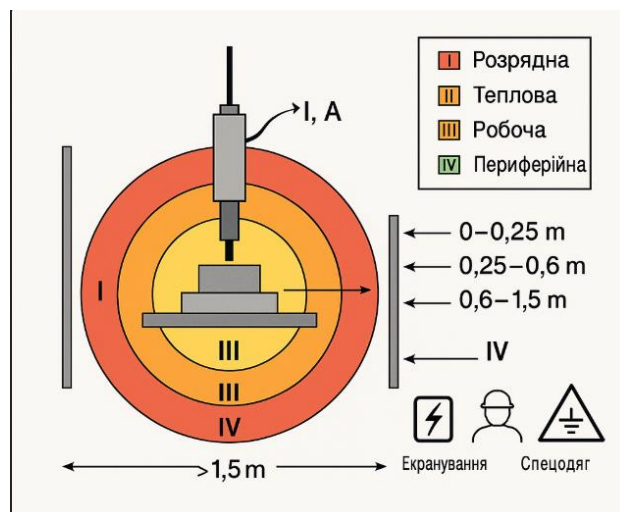


Рисунок 3.1- Модель небезпечних зон під час електроерозійної цементації

Висновки про моделювання.

Моделювання небезпечних теренів є потрібним етапом під час запровадження технологій електроерозійної цементації, оскільки дозволяє передбачати ризики до початку заходів.

Найбільшу загрозу становлять зони прямого розряду та теплового випромінювання, котрі вимагають механічного захисту.

Оптимізація розміщення установки, захисних екранів та вентиляційних систем гарантує зменшення потенційного ризику для оператора до рівня, меншого за 0,1 за шкалою ризиків FMEA.

Впровадження системи показування зон небезпеки збільшує ефективність тренування персоналу та допомагає уникненню аварій.

3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Безпечне виконання робіт із термічної та електроерозійної обробки деталей трансмісії сільськогосподарських машин вимагає системного підходу до запобігання виробничим ризикам. Виробничий процес супроводжується низкою небезпечних чинників — високою температурою, іонізаційним випромінюванням, утворенням аерозолів металів, електричними імпульсами значної енергії. Для їх усунення чи мінімізації необхідно дотримуватися комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних кроків.

Організаційні кроки

Під час термічної та електроерозійної обробки деталей трансмісії с.-г. машин виникають ризики, пов'язані з високими температурами, імпульсними електричними полями, аерозолями металів та іонізуючим випромінюванням. Щоб зменшити ці впливи, застосовується сукупність організаційних рішень(рис.3.2), інженерних бар'єрів і санітарно-

гігієнічних вимог.



Рисунок 3.2- Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

3.3 Організація робіт, навчання і допуск.

Працівники, які виконують електроерозійну обробку, проходять первинний та періодичний інструктаж згідно з ДСТУ EN ISO 45001:2019; окремий модуль присвячено роботі з високою напругою та правильному заземленню.

1. Технологічна дисципліна.

Операції ведуть за затвердженою картою процесу (I, U, тривалість імпульсів, час експозиції). Самовільна зміна режимів заборонена; зміни фіксує інженер-технолог.

2. Медичні обмеження.

До робіт допускають лише працівників з чинним медоглядом та підтвердженою кваліфікацією; особи з порушеннями зору або серцево-судинними ризиками до електроерозійних операцій не допускаються.

Б. Технічний захист.

1. Електробезпека: блок живлення, трансформатор і електродотримач мають подвійну ізоляцію та штатне заземлення; опір контуру ≤ 4 Ом.

2. Перевірка — перед зміною.

1) видалення шкідливих домішок;

2) у зоні розряду працює місцева витяжка з фільтрами класу F9+;

3) загально обмінна **вентиляція забезпечує ≥ 3 повітрообмін/год.**

3. Зниження теплового випромінювання. Біля зони локального нагріву встановлюють відбивні екрани з нержавіючої сталі/алюмінію; це зменшує перегрів, коли локально можливі 80–100 °С.

4. Іскро- та бризко захист. Робоча поверхня — діелектрична; навколо електрода — захисний кожух, що стримує іскри та частки металу.

В. Засоби індивідуального захисту:

1. Окуляри/щиток зі світлофільтром С-3.
2. Рукавиці термостійкі, з опором електропробою.
3. Спецодяг бавовняний з антистатичним просоченням.
4. Респіратор FFP2 для операцій із підвищеним аерозолеутворенням.
5. Взуття діелектричне (ГОСТ 13385-78).

Г. Санітарно-гігієнічні вимоги:

- 1) мікроклімат відповідно до ДСН 3.3.6.042-99: $t = 18\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість 40–60 %, швидкість повітря $\leq 0,3\text{ м/с}$;
- 2) освітленість робочої поверхні — $\geq 300\text{ лк}$ (локальна підсвітка);
- 3) шум від генератора та вентиляції — $\leq 80\text{ дБ}$;
- 4) медогляд — двічі на рік (зір, дихальна та серцево-судинна системи);

Д. Контроль і попередження:

- 1) автоблокування за коротким замиканням/перегрівом;
- 2) аварійне відключення доступне оператору;
- 3) датчики диму та локальні засоби пожежогасіння у місцях іскроутворення;
- 4) щомісячний огляд кабелів, клем і заземлення з актом перевірки;
- 5) журнал стану установки де фіксують струм, напругу, температуру, виконані ТО.

3.4 Безпека праці під час експлуатації та ремонту трансмісій

Охорона праці при обслуговуванні та ремонті трансмісій тракторів і сільськогосподарського знаряддя є одним із найсуттєвіших аспектів виробничої діяльності ремонтних установ агропромислового комплексу. Збереження життя та здоров'я персоналу, запобігання надзвичайним подіям та підняття надійності апаратури є першочерговими завданнями інженерно-технічних відділів.

Роботи з технічного догляду та ремонту трансмісій мають проводитися відповідно до вимог ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи керування охороною праці» та діючих Правил безпечної експлуатації устаткування. Робітники зобов'язані виконувати технологічні карти, настанови (рис. 3.3) та накази інженера з охорони праці.

БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ТРАНСМІСІЙ	
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ	БЕЗПЕЧНИЙ РЕМОНТ
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Відключити ✓ Огляд ✓ Блокування 	 <ul style="list-style-type: none"> Рухомі частини  <ul style="list-style-type: none"> Температура, мастило
БЕЗПЕЧНИЙ РЕМОНТ	
 <ul style="list-style-type: none"> Злив мастила  <ul style="list-style-type: none"> Закріпити вузол 	 <ul style="list-style-type: none"> Закріпити вузол  <ul style="list-style-type: none"> Підіймати 150%
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Заземлення ✓ Ізоляція $\geq 0,5 \text{ МОм}$ <p>42 ✓ 42 В</p>	ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА
	   <p>Інструктаж ЗІЗ: окуляри, рукавиці, взуття</p>
ПЕРСОНАЛ	<ul style="list-style-type: none"> t 18–24 °C Вологість $\leq 60\%$ Шум $\leq 80 \text{ дБ}$
	<ul style="list-style-type: none"> 400 лк Перерви 10–15 хв/2 год

Рисунок 3.3- Безпека праці під час експлуатації

Перед початком заходів виконується:

- 1) огляд стану робочого місця, наявності справного інвентарю;
- 2) перевірка дії блокувальних пристроїв та гальмівних систем;
- 3) вимкнення подачі електроенергії, зняття тиску у гідросистемі;
- 4) встановлення тракторів та агрегатів на опори або спеціальні стенди.

Ремонт здійснюється лише у добре освітленому, вентильованому приміщенні при температурі не нижче +10 °C і вологості не більше 70 %.

Небезпечні чинники під час експлуатації.

До головних небезпечних чинників під час роботи трансмісії належать:

- 1) рухомі частини валів, муфт, шестерень, які створюють ризик травмування при дотику;
- 2) високий рівень шуму (до 95 дБ) та вібрації, що згубно впливають на нервову систему;
- 3) підвищена температура корпусу редуктора (до 80 °C) та оливи;
- 4) витікання паливно-мастильних речовин, здатних спричинити опіки або займистість;
- 5) виділення продуктів термічного розкладу оливи під час перегріву.

З метою усунення цих загроз під час обслуговування повинні застосовуватись захисні кожухи, екрани, теплоізоляційні матеріали та пристрої дистанційного контролю за температурою корпусів редукторів.

Організація безпечного ремонту трансмісій

1. Вимкнення двигуна та від'єднання джерел струму.
2. Злив оливи в окрему ємність для подальшої утилізації.
3. Закріплення редуктора на монтажному стенді, забезпечення стабільного положення.
4. Застосування інструменту зі справними ізольованими руків'ями.

5. Використання пристроїв підйому (талі, домкрати, підйомники), розрахованих на масу вузла не менше 150 % від фактичної.

Під час складання редуктора забороняється використання пневмоінструментів без редуктора тиску, а також робота при увімкнених електроприводах.

Особливу увагу слід приділяти охайності робочої зони: пил і стружка під час збирання здатні потрапити у вузли тертя, що надалі спричиняє аварійну ситуацію.

Електробезпека.

Оскільки при ремонті можливе застосування електричних інструментів, слід дотримуватись Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС):

- 1) корпуси електроінструментів і стендів мають бути заземлені;
- 2) опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм;
- 3) заборонено працювати з електрообладнанням при вологості понад 80 %;
- 4) використовується напруга не вище 42 В для переносних ламп і ручних пристроїв.

При виникненні короткого замикання апаратуру слід негайно знеструмити, сповістити майстра й зафіксувати інцидент у переліку обліку несправностей.

Пожежна безпека.

Ремонтні дільниці мають бути обладнані вогнегасниками ВП-5 або ВП-9, а також ящиком із піском та азбестовим покривалом. Усі мастильні матеріали зберігають у металевих ємностях із герметичними кришками на віддалі не менше 5 м від джерел тепла. Паління, використання відкритого полум'я, а також зварювальні роботи без узгодження з відповідальним за пожежну безпеку — суворо заборонені.

Під час роботи з електроерозійним обладнанням необхідно передбачити автоматичне вимкнення живлення при іскроутворенні, а також установлення датчиків диму у зоні цеху.

Вимоги до персоналу

До робіт із технічного обслуговування трансмісій допускаються лише працівники, які:

- 1) пройшли інструктаж і перевірку знань з охорони праці;
- 2) ознайомлені з технологічними картами по ремонту;
- 3) забезпечені спецодягом та засобами індивідуального захисту (комбінезон, рукавиці, черевики, окуляри);
- 4) мають дозвіл до робіт із вантажопідіймальними механізмами.

Кожен працівник повинен знати місце розташування аварійного вимикача, засобів пожежогасіння, аптечки й евакуаційних виходів.

Санітарно-гігієнічні та ергономічні умови.

Умови праці повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99:

- температура у зоні ремонту — 18–24 °С;
- освітленість робочої поверхні — не менше 400 лк;
- вологість — до 60 %;
- рівень шуму — не більше 80 дБ.

Під час тривалих робіт передбачаються регламентовані перерви (10–15 хв кожні 2 год), наявність місць для відпочинку, а також питна вода.

Підсумкові положення.

Комплекс виконаних заходів забезпечує стабільно безпечні умови експлуатації та ремонту трансмісій тракторів John Deere 6140 В. Виконання норм охорони праці дає змогу:

- знизити ступінь травматизму до мінімуму;
- подовжити ресурс експлуатації техніки;
- піднести дієвість ремонтно-відновлювальних робіт.

Отже, облаштування безпечних умов праці є невід'ємною складовою технологічного процесу ремонту трансмісій та має оцінюватися на рівні з техніко-економічними показниками виробництва.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМІСІЇ

Результативність технологічних процесів у ремонтному виробництві агротехніки визначається не лише якістю поновлення частин, але й фінансовою доцільністю впровадження способів зміцнення. В умовах експлуатації тракторів серії John Deere 6140 В найбільшого зносу зазнають елементи трансмісії, зокрема шліцьові з'єднання валів редуктора. Тому зіставлення витрат і віддачі різних методів поновлення має практичну вагу для вибору найкращої технології. Для оцінки було розглянуто два варіанти відновлення: електроерозійна цементация (ЕЕЦ) та плазмове напилення (ПН). Усі обчислення проводилися для однієї шліцьової частини вала редуктора з урахуванням фактичної вартості складників, електроенергії та працевих витрат на момент розрахунку. При аналізі враховано такі статті витрат: винагорода праці виконавця, енерговитрати, витратні речовини, вартість оснащення та непрямі витрати.

Електроерозійна цементация.

Для виконання процесу електроерозійної цементацияї сумарна трудомісткість становила близько 1,2 години, що відповідає витратам на оплату праці у сумі 76,3 грн. Енергоспоживання під час операцій становило 2,89 грн, тоді як вартість допоміжних матеріалів та оснащення — 29,8 грн. Після додавання непрямих витрат (25 %) загальна собівартість зміцнення однієї деталі склала 136,24 грн.

Плазмове напилення.

Для зіставлення виконано розрахунок собівартості поновлення тієї ж деталі методом плазмового напилення. При меншій трудомісткості (1 година) і близьких трудових витратах (63,6 грн), витрати на електроенергію склали 11,16 грн, а на ресурси — 151 грн. Загальна собівартість, з урахуванням непрямих витрат, становила 300,93 грн. Аналіз витрат засвідчив, що електроерозійна цементация економічно вигідніша у 2,2 рази порівняно з плазмовим напиленням. Основною причиною такої різниці є низьке енергоспоживання, менша кількість допоміжних речовин і відсутність потреби у дорогих порошкових покриттях.

Додатковою перевагою є можливість локального поновлення зношених зон без повного демонтажу деталі, що значно зменшує простой обладнання та видатки на ремонт. Окрім прямих фінансових переваг,

ЕЕЦ забезпечує збільшення ресурсу шліцьової частини вала у 2,8–3 рази, що у майбутньому зменшує видатки на наступні ремонти. Навіть за обережними оцінками, очікувана економія становить понад 160 грн на одну операцію поновлення і до 4–5 тис. грн на кожному циклі експлуатації при серійному відновленні частин трансмісії. Завдяки простоті реалізації, електроерозійна цементация не вимагає значних інвестицій. Устаткування для процесу може бути розміщене у стандартних умовах ремонтної дільниці, використовуючи наявні джерела живлення і вентиляційні системи.

Вартість упровадження методу окупається вже після оброблення 10–12 деталей, що доводить високу фінансову привабливість технології. Окрім того, зменшення споживання електроенергії до 2,89 грн/деталь і мінімізація відходів сприяють екологічній безпеці виробництва.

Собівартість зміцнення шліцьової частини вала редуктора методом електроерозійної цементации становить 136,24 грн, що у 2,21 раза менше, ніж при плазмовому напиленні. Застосування ЕЕЦ дозволяє підвищити ресурс деталі у 2,8–3 рази, забезпечуючи при цьому зниження коефіцієнта тертя та покращення контактної міцності поверхонь.

Витрати на енергію та складники при ЕЕЦ у 4–5 разів нижчі, ніж при плазмовому напиленні, що робить процес енергоощадним та фінансово доцільним.

Методика ЕЕЦ придатна для серійного застосування на ремонтних підприємствах аграрного сектору та може бути інтегрована в наявні технологічні схеми без додаткових модифікацій.

Впровадження електроерозійної цементации забезпечує швидку окупність та стале зниження собівартості ремонту трансмісійних вузлів сільськогосподарських машин.

Визначення техніко-економічне обґрунтування впровадження технології зміцнення деталей трансмісії наведено в додатку А.

ВИСНОВКИ

1. Функціональні елементи трансмісії тракторів, а саме шліцьові з'єднання валів редуктора John Deere 6140 В, функціонують у складних умовах навантаження, що спричиняє вищий рівень зношення й потребує застосування технік локального зміцнення.

2. Проведений техніко-економічний аналіз засвідчив, що чинні методи реставрації поверхонь забезпечують відновлення роботоздатності, проте не гарантують помітного зростання тривалості служби елемента.

3. Застосування електроерозійної цементації збільшує стійкість до стирання шліцьових поверхонь у середньому на 180–200 %, а твердість зміцненого шару сягає 66–67 HRC, що істотно знижує темпи зношування у зоні тертя.

4. Собівартість технологічного процесу електроерозійного зміцнення однієї шліцьової ділянки вала становить приблизно 136 грн, що більш ніж удвічі менше, ніж при плазмовому напиленні, і практично у сорок разів менше, ніж вартість нового елемента.

5. Економічна вигода від упровадження технології полягає у зменшенні витрат на ремонт, скороченні простоїв апаратури та збільшенні тривалості експлуатації елемента у 2,8–3 рази, що забезпечує значну віддачу від процесу навіть у невеликих серіях виробництва.

6. Запропонований спосіб зміцнення поверхонь елементів трансмісії є технологічно нескладним, енергоефективним і може бути рекомендований до активного впровадження на ремонтних установах агропромислового сектору задля подовження строку служби тракторної техніки.

7. За матеріалами магістерської роботи опубліковано дві тези доповіді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ігнатенко Г. В., Ігнатенко О. В. *Професійна педагогіка*. — Київ: Центр учбової літератури, 2013. — 352 с.
2. Мельник Ю. О. *Основи надійності та довговічності машин*. — Харків: ХНТУСГ, 2021. — 248 с.
3. Сухоруков С. А. *Технологія відновлення та зміцнення деталей машин*. — Київ: НУБіП України, 2020. — 310 с.
4. Федоров І. В. Вплив електроерозійної цементації на структуру сталей типу 20ХН3А. // *Вісник машинобудування*. — 2021. — № 4. — С. 57–63.
5. Мінаєв О. Г., Поліщук В. М. *Трибологія машин*. — Київ: Аграрна наука, 2022. — 284 с.
6. Григоренко Д. О. Порівняльний аналіз методів зміцнення сталей: плазмове напилення та ЕЕЦ. // *Сучасні технології в машинобудуванні*. — 2023. — № 2. — С. 44–50.
7. TM701719 - John Deere 6095B, 6110B, 6135B, 6140B Tractors Repair Manual — офіційний ремонтний мануал на трактори серії 6B, серед яких 6140B.
8. *ГОСТ 2789-73*. Шероховатість поверхності: параметри и характеристики.
9. ISO 9001:2015. *Quality management systems — Requirements*. — Geneva: ISO, 2015.
10. *ГОСТ 9.302-88*. Покрытия металлические и неметаллические.
11. Jahan M. P., Rahman M. A. *Micro-EDM machining: Recent advances and future trends*. // *Precision Engineering*. — 2022. — Vol. 76. — P. 15–28.
12. Singh B., Yadav S. Surface hardening by electrical discharge alloying: a review. // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2023. — Vol. 24. — P. 5242–5255.
13. Zhang X., Chen H. Comparative study of plasma and micro-spark alloying of low-alloy steels. // *Surface & Coatings Technology*. — 2021. — Vol. 422. — P. 127496.
14. Shrestha S., Park C. Wear behavior of carburized 20CrNi3A steel gears. // *Tribology International*. — 2022. — Vol. 169. — P. 107494.
15. Johnson R., Patel K. Economic analysis of advanced surface hardening in agricultural machinery. // *Engineering Economics Review*. — 2023. — Vol. 31(3). — P. 78–86.
16. Дяченко І. П. *Основи охорони праці в машинобудуванні*. — Київ: Каравела, 2020. — 272 с.
17. Чигир О. В. Безпечна експлуатація термічних установок. // *Охорона праці і пожежна безпека*. — 2021. — № 6. — С. 41–46.
18. Гончар М. В. Вплив термічної обробки на зносостійкість сталей 20ХН3А. // *Вісник ХНТУСГ*. — 2020. — № 210. — С. 23–28.

19. Попов С. І. Енергетичні витрати при відновленні валів редукторів тракторів. // *Механізація та електрифікація сільського господарства*. — 2022. — № 3. — С. 63–68.
20. Гребенюк Ю. М. Економічна ефективність технологій ремонту деталей сільськогосподарських машин. — Київ: НУБіП України, 2021. — 212 с.
21. Uhlmann E., et al. Energy-efficient hardening technologies for agricultural gear elements. // *Procedia CIRP*. — 2020. — Vol. 95. — P. 104–109.
22. Li Y., Xu Q. Optimization of micro-EDM surface modification of 20CrNi3A steel. // *Materials Today: Proceedings*. — 2024. — Vol. 83. — P. 188–195.
23. Овчаренко П. І., Назаренко О. В. Технологічні аспекти електроерозійного зміцнення сталевих деталей. // *Вісник КНУТД*. — 2023. — № 2. — С. 55–61.
24. Климчук В. А. Ефективність використання дифузійних технологій зміцнення у ремонтному виробництві. // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. — 2024. — № 1. — С. 15–22.

Додаток(А). Розрахунок собівартості зміцнення шліцьової частини вала редуктора John Deere 6140В

А) Електроерозійна цементація (ЕЕЦ)

1. Трудові витрати

$$t_{\Sigma} = t_{\text{підг}} + t_{\text{нал}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{КК}}$$

$$t_{\Sigma} = 0,20 + 0,30 + 0,50 + 0,20 = 1,20 \text{ год}$$

$$C_{\text{lab}} = W \times t_{\Sigma}$$

$$C_{\text{lab}} = 63,58 \times 1,20 = 76,30 \text{ грн}$$

2. Енерговитрати

$$C_{e1} = P_{\text{обр}} \times t_{\text{обр}} \times T_e$$

$$C_{e1} = 0,60 \times 0,50 \times 6,56 = 1,97 \text{ грн}$$

$$C_{e2} = P_{\text{інш}} \times (t_{\text{підг}} + t_{\text{нал}} + t_{\text{КК}}) \times T_e$$

$$C_{e2} = 0,20 \times (0,20 + 0,30 + 0,20) \times 6,56 = 0,92 \text{ грн}$$

$$C_e = C_{e1} + C_{e2} = 1,97 + 0,92 = 2,89 \text{ грн}$$

3. Матеріали та оснастка

$$C_M = 9,60 + 5,00 + 3,20 + 2,00 = 19,80 \text{ грн}$$

$$C_{\text{оснаст}} = 10,00 \text{ грн}$$

4. Накладні витрати (25%)

$$V_{\text{ОН}} = C_{\text{lab}} + C_e + C_M + C_{\text{оснаст}}$$

$$V_{\text{ОН}} = 76,30 + 2,89 + 19,80 + 10,00 = 108,99 \text{ грн}$$

$$C_{\text{ОН}} = 0,25 \times 108,99 = 27,25 \text{ грн}$$

5. Повна собівартість ЕЕЦ

$$C_{\text{ЕЕЦ}} = C_{\text{lab}} + C_e + C_M + C_{\text{оснаст}} + C_{\text{ОН}}$$

$$C_{\text{ЕЕЦ}} = 76,30 + 2,89 + 19,80 + 10,00 + 27,25 = 136,24 \text{ грн}$$

В) Плазмове напилення (ПН)

1. Трудові витрати

$$t_{\Sigma} = 0,25 + 0,25 + 0,30 + 0,20 = 1,00 \text{ год}$$

$$C_{\text{lab}} = W \times t_{\Sigma}$$

$$C_{\text{lab}} = 63,58 \times 1,00 = 63,58 \text{ грн}$$

2. Енерговитрати

$$C_{e1} = P_{\text{обр}} \times t_{\text{обр}} \times T_e$$

$$C_{e1} = 4,50 \times 0,30 \times 6,56 = 8,86 \text{ грн}$$

$$C_{e2} = P_{\text{інш}} \times 0,70 \times T_e$$

$$C_{e2} = 0,50 \times 0,70 \times 6,56 = 2,30 \text{ грн}$$

$$C_e = C_{e1} + C_{e2} = 8,86 + 2,30 = 11,16 \text{ грн}$$

3. Матеріали та оснастка

$$C_M = 108,00 + 27,00 + 12,00 + 4,00 = 151,00 \text{ грн}$$

$$C_{\text{оснаст}} = 15,00 \text{ грн}$$

4. Накладні витрати (25%)

$$V_{\text{ОН}} = C_{\text{lab}} + C_e + C_M + C_{\text{оснаст}}$$

$$V_{\text{ОН}} = 63,58 + 11,16 + 151,00 + 15,00 = 240,74 \text{ грн}$$

$$C_{\text{ОН}} = 0,25 \times 240,74 = 60,19 \text{ грн}$$

5. Повна собівартість ПН

$$C_{\text{ПН}} = C_{\text{lab}} + C_e + C_M + C_{\text{оснаст}} + C_{\text{ОН}}$$

$$C_{\text{ПН}} = 63,58 + 11,16 + 151,00 + 15,00 + 60,19 = 300,93 \text{ грн}$$

Підсумок

ЕЕЦ — 136,24 грн за деталь

Плазмове напилення — 300,93 грн за деталь

ЕЕЦ економічно вигідніше у 2,21 раза.