МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Силін Леонід Миколайович

УДК 631.3-77: 621.9.047.7

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Організація технічного сервісу машинно-тракторного парку з розробкою пристосування для електромеханічної обробки деталей

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Силін Л.М.

Керівник роботи
Савченко В.М.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Силін Леонід Миколайовичч. Організація технічного сервісу машинно-тракторного парку з розробкою пристосування для електромеханічної обробки деталей. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання організації технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства з розробкою пристосування для електромеханічної обробки деталей. Обґрунтовано склад сучасного машинно-тракторного парку для господарства площею 4000 га та визначено основні напрями його технічного обслуговування і ремонту. Виконано розрахунок трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт і складено графік завантаження машинно-ремонтної майстерні. Проаналізовано сутність електромеханічної обробки як ефективного способу зміцнення поверхневого шару деталей машин. Розкрито фізико-механічні процеси, що відбуваються під час одночасної дії контактного нагрівання та пластичного деформування поверхні. Встановлено, що електромеханічна обробка сприяє підвищенню твердості, зменшенню шорсткості, покращенню припрацьовуваності та зростанню зносостійкості деталей. Запропоновано конструкцію пристосування з двома роликами, яке забезпечує інтенсивніше формування зміцненого шару та підвищення ефективності обробки. Результати роботи можуть бути використані під час удосконалення ремонтно-сервісної бази аграрних підприємств і впровадження ресурсозберігаючих технологій відновлення деталей.

Ключові слова: технічний сервіс, машинно-тракторний парк, електромеханічна обробка, зміцнення деталей, зносостійкість, ремонтна майстерня.

ANNOTATION

Leonid Mykolayovych Silin. Organisation of technical maintenance for a fleet of machinery and tractors, including the development of a device for the electromechanical machining of components. *– Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This qualification thesis examines the organisation of technical servicing for the machinery and tractor fleet of an agricultural enterprise, including the development of a device for the electromechanical machining of components. The composition of a modern machinery and tractor fleet for a farm covering an area of 4,000 hectares is justified, and the main areas of its technical maintenance and repair are identified. The labour intensity of repair and maintenance work has been calculated, and a workload schedule for the machinery repair workshop has been drawn up. The nature of electromechanical processing as an effective method for strengthening the surface layer of machine parts has been analysed. The physical and mechanical processes occurring during the simultaneous action of contact heating and plastic deformation of the surface have been elucidated. It has been established that electromechanical processing contributes to an increase in hardness, a reduction in surface roughness, improved run-in characteristics and increased wear resistance of components. A design for a two-roller device is proposed, which ensures more intensive formation of the hardened layer and increased processing efficiency. The results of this work can be utilised in improving the repair and maintenance facilities of agricultural enterprises and in the implementation of resource-saving technologies for the restoration of components.

Keywords: technical service, machinery and tractor fleet, electromechanical processing, component hardening, wear resistance, repair workshop.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МТП……10
РОЗДІЛ 2. СУТНІСТЬ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ……..28
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ…….…..37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……...….56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ефективне функціонування аграрного підприємства значною мірою залежить від технічного стану машинно-тракторного парку, своєчасності виконання технічного обслуговування, ремонту та раціональної організації роботи ремонтно-сервісної бази. У сучасних умовах сільськогосподарське виробництво характеризується високою інтенсивністю використання техніки, обмеженими строками виконання польових робіт, зростанням вартості запасних частин, пально-мастильних матеріалів і сервісних послуг. Тому забезпечення працездатності тракторів, комбайнів, ґрунтообробних, посівних, збиральних та транспортних машин є важливою умовою стабільної роботи господарства, зменшення простоїв техніки та підвищення економічної ефективності виробництва.

Особливої актуальності набуває питання організації технічного сервісу машинно-тракторного парку в аграрних підприємствах із великою площею оброблюваних земель. Для господарства площею 4000 га необхідно мати не лише раціонально підібраний склад сучасної техніки, а й відповідну ремонтно-обслуговувальну інфраструктуру, здатну забезпечити своєчасне проведення щоденного, періодичного, сезонного технічного обслуговування, діагностування та ремонту машин. Недостатній рівень організації технічного сервісу призводить до збільшення тривалості простоїв, зниження коефіцієнта технічної готовності, порушення агротехнічних строків виконання робіт і збільшення собівартості продукції.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності ремонту машин є застосування ресурсозберігаючих технологій відновлення та зміцнення зношених деталей. Значна частина деталей після експлуатації має незначний знос робочих поверхонь, але через втрату геометричних параметрів або погіршення стану поверхневого шару не може використовуватися без відновлення. У таких випадках доцільним є

впровадження технологій, які дозволяють підвищити твердість, зносостійкість, контактну міцність і довговічність деталей без значних витрат матеріалів та енергії.

До таких методів належить електромеханічна обробка, яка поєднує контактне нагрівання поверхні електричним струмом і пластичне деформування робочим інструментом. У процесі такої обробки в поверхневому шарі деталі відбуваються структурні перетворення, зменшується шорсткість, підвищується мікротвердість і формуються сприятливі залишкові напруження. Це позитивно впливає на триботехнічні характеристики поверхні, зокрема знижує інтенсивність зношування, покращує припрацьовуваність спряжених деталей і підвищує їхній ресурс.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства шляхом удосконалення організації ремонтно-обслуговувальних робіт і впровадження пристосування для електромеханічної обробки деталей. Використання такого пристосування дає змогу розширити технологічні можливості машинно-ремонтної майстерні, зменшити потребу в заміні зношених деталей новими, скоротити витрати на ремонт і підвищити надійність роботи сільськогосподарської техніки.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності організації технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства шляхом обґрунтування складу техніки, розрахунку трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт і розробки пристосування для електромеханічної обробки деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** обґрунтувати склад сучасного машинно-тракторного парку для аграрного підприємства площею 4000 га; розрахувати трудомісткість технічного обслуговування і ремонту машин; скласти графік завантаження машинно-ремонтної майстерні; проаналізувати сутність і фізико-механічні основи електромеханічної обробки; визначити вплив електромеханічної обробки на

триботехнічні характеристики поверхонь деталей; розробити конструкцію пристосування для електромеханічної обробки та виконати розрахунок його основних елементів.

Об’єктом дослідження є процес технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства.

Предметом дослідження є організаційно-технологічні параметри технічного обслуговування і ремонту машин, а також конструктивні параметри пристосування для електромеханічної обробки деталей.

У роботі використано **методи аналізу** технологічних процесів технічного сервісу, розрахунку трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт, порівняльної оцінки способів відновлення деталей, графічного моделювання завантаження майстерні та інженерного розрахунку елементів конструкції. Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень для підвищення рівня технічної готовності машинно-тракторного парку, зменшення витрат на ремонт і впровадження ефективної технології зміцнення зношених деталей у ремонтній майстерні аграрного підприємства.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко Василь, Приднюк Іван, **Силін Леонід.** Особливості застосування цифрових технологій у технічному сервісі сільськогосподарської техніки. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 22–23 квітня 2026 року. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2026. С. 107-110.

2. Дерев’янко Д.А., Веремій Т.Б., Сорока Р.В., Ніконенко М.С., **Силін Л.М.** Технічний сервіс машин і обладнання тваринницьких ферм. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/derevjanko_26-5.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в тому, що запропоновані організаційні, технологічні та конструктивні рішення можуть бути використані для підвищення ефективності технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства. Обґрунтований склад сучасної техніки для господарства площею 4000 га дає змогу раціонально організувати виконання основних польових, транспортних і допоміжних робіт із дотриманням агротехнічних строків. Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування і ремонту машин дозволяє визначити необхідний обсяг ремонтно-обслуговувальних робіт, потребу в робітниках, обладнанні та виробничих площах машинно-ремонтної майстерні.

Складений графік завантаження майстерні має практичне значення для планування роботи ремонтної служби протягом року, рівномірного розподілу навантаження на виробничі дільниці та зменшення простоїв техніки в напружені періоди сільськогосподарського виробництва. Запропоновані підходи до роботизації процесів зварювання і наплавлення можуть бути використані для підвищення продуктивності ремонтних робіт, стабільності якості відновлення деталей, зменшення впливу людського фактора та поліпшення умов праці ремонтного персоналу.

Розроблене пристосування для електромеханічної обробки деталей може застосовуватися в умовах машинно-ремонтної майстерні для зміцнення та відновлення зношених поверхонь деталей машин. Його використання сприяє підвищенню твердості поверхневого шару, зменшенню шорсткості, покращенню триботехнічних характеристик і збільшенню ресурсу роботи деталей. Практичне впровадження запропонованого пристосування дозволяє скоротити витрати на придбання нових запасних частин, знизити собівартість ремонту та підвищити коефіцієнт технічної готовності машинно-тракторного парку.

Отримані результати можуть бути використані аграрними підприємствами, ремонтними майстернями, сервісними центрами та навчальними закладами під час організації технічного сервісу, планування

ремонтно-обслуговувальних робіт і впровадження ресурсозберігаючих технологій відновлення деталей сільськогосподарської техніки..

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 25найменувань. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінок комп’ютерного тексту, містить 15 рисунків, 13 таблиць та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1
ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МТП

1.1. Вихідні умови проєктування системи технічного сервісу

Машинно-тракторний парк аграрного підприємства є основою своєчасного виконання технологічних операцій у рослинництві. Для господарства площею 4000 га технічний сервіс повинен бути організований не лише як сукупність ремонтних операцій, а як керована система підтримання працездатності машин протягом усього виробничого циклу. Особливість такого підприємства полягає у високій сезонності робіт: найбільше навантаження на техніку виникає у періоди сівби, захисту рослин, збирання врожаю та основного обробітку ґрунту. У ці періоди навіть короткочасний простій трактора, комбайна або обприскувача призводить до порушення агротехнічних строків, втрати врожаю і зростання собівартості продукції.

Проєктування процесу технічного сервісу передбачає узгодження складу МТП, структури ремонтно-обслуговуючих робіт, чисельності персоналу, площі та оснащення машинно-ремонтної майстерні. В роботі прийнято, що підприємство спеціалізується на вирощуванні зернових, технічних і зернобобових культур у зоні з помірною інтенсивністю землеробства. Основні культури підібрані так, щоб рівномірніше використовувати техніку впродовж року і забезпечити реалістичну потребу в різних групах машин.

Для розрахунків прийнято такі вихідні положення: площа ріллі становить 4000 га; парк формується із сучасних тракторів, зернозбиральних комбайнів, сівалок, ґрунтообробних агрегатів, обприскувачів, розкидачів добрив, транспортних і навантажувальних засобів; частина складних ремонтів агрегатів може виконуватись на спеціалізованих сервісних підприємствах, а поточні ремонти, технічне обслуговування, діагностування,

зварювально-наплавні та слюсарно-механічні роботи виконуються у власній машинно-ремонтній майстерні.

Таблиця 1.1 – Орієнтовна структура посівних площ аграрного підприємства

Культура	Площа, га	Частка, %
Озима пшениця	1000	25
Кукурудза на зерно	900	22.5
Соя	600	15
Соняшник	500	12.5
Озимий ріпак	500	12.5
Ярий ячмінь	300	7.5
Кормові культури	200	5



Рис. 1.1. Структура посівних площ господарства.

Наведена структура посівів забезпечує поєднання ранніх і пізніх польових робіт. Озима пшениця та ріпак формують значний обсяг осінньої сівби та літнього збирання, кукурудза і соняшник створюють навантаження на просапну сівалку, комбайнові приставки та транспорт восени, а соя й ячмінь дають змогу розподілити роботи у проміжні строки. Такий підхід

зменшує пікові навантаження на техніку, але не усуває потреби у добре організованому сервісі.

Система технічного сервісу МТП повинна виконувати профілактичну, відновлювальну та організаційно-контрольну функції. Профілактична функція охоплює щозмінне, періодичне та сезонне обслуговування. Відновлювальна функція пов’язана з усуненням відмов, ремонтом вузлів, зварюванням, наплавкою, заміною зношених деталей та регулюванням агрегатів. Організаційно-контрольна функція передбачає планування робіт, ведення карт обслуговування, облік напрацювання, аналіз причин відмов і контроль якості виконаних операцій.

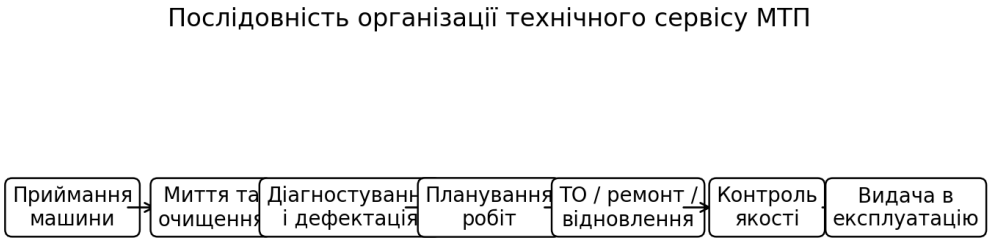


Рис. 1.2. Узагальнена послідовність технічного сервісу машинно-тракторного парку

1.2. Підбір сучасного машинно-тракторного парку для господарства площею 4000 га

Підбір техніки виконано з урахуванням площі підприємства, структури культур, потреби у дотриманні агротехнічних строків та можливості подальшого технічного обслуговування у власній майстерні. До складу парку включено техніку різних тягових класів, оскільки використання лише потужних тракторів для всіх операцій є економічно невиправданим, а застосування недостатньо потужних машин збільшує тривалість польових робіт і витрати пального.

Як базові енергонасичені трактори запропоновано John Deere 8R 410 та Fendt 942 Vario або машини аналогічного класу. Для трактора John Deere 8R 410 виробник зазначає номінальну потужність 302 кВт, або 410 к.с., що дозволяє агрегатувати його з широкозахватними ґрунтообробними і посівними машинами. Для збирання врожаю прийнято три зернозбиральні комбайни класу CLAAS LEXION 7700 або аналоги, оскільки комбайни родини LEXION 7000/8000 мають високу пропускну здатність, великі зернові бункери та швидке вивантаження. Для сівби зернових культур доцільно використати HORSCH Pronto 9 DC із робочою шириною 9 м і двосекційним бункером 6000 л, а для кукурудзи та соняшнику – точну сівалку Väderstad Tempo L 16.

Захист рослин запропоновано виконувати самохідним обприскувачем HORSCH Leeb PT 6.300. Його перевагами для господарства такого розміру є великий бак, штанги 24-48 м, висока дорожня швидкість і можливість точної роботи на значних площах. Для внесення мінеральних добрив обрано AMAZONE ZG-TS 10001, оскільки розкидач має бункер 7500 або 10000 л і робочу ширину до 54 м. Ґрунтообробний блок сформовано з дискових борін, глибокорозпушувача та оборотних плугів, що дає змогу застосовувати як мінімальний, так і традиційний обробіток залежно від попередника, вологості ґрунту і забур’яненості поля.

Таблиця 1.2 – Запропонований склад машинно-тракторного парку підприємства

Група машин	Марка/модель	Кількість, од.	Основний параметр	Призначення
Енергонасичений трактор	John Deere 8R 410	2	302 кВт / 410 к.с.	оранка, глибоке рихлення, агрегати 8-12 м
Енергонасичений трактор	Fendt 942 Vario	1	≈305 кВт / 415 к.с.	основний обробіток, важкі комбіновані агрегати
Трактор середнього класу	Case IH Puma 240 CVX / аналог	3	≈176 кВт / 240 к.с.	культивація, транспорт, причіпні машини
Універсально-просапний трактор	John Deere 6155M / аналог	4	≈114 кВт / 155 к.с.	сівба, догляд, міжопераційні роботи

Продовження таблиці 1.2

Допоміжний трактор	New Holland T5.120 / аналог	2	≈88 кВт / 120 к.с.	допоміжні та навантажувальні роботи
Зернозбиральний комбайн	CLAAS LEXION 7700 / аналог	3	≈404 кВт	збирання зернових, ріпаку, сої, кукурудзи
Самохідний обприскувач	HORSCH Leeb PT 6.300	1	бак 6000 л, штанга 24-42 м	захист рослин, внесення РКД
Зернова сівалка	HORSCH Pronto 9 DC	1	9 м, бункер 6000 л	сівба зернових і ріпаку
Просапна сівалка	Väderstad Tempo L 16	1	16 рядків, 12,2 м	точний висів кукурудзи та соняшнику
Дискова борона	LEMKEN Rubin 12/700 KUA	2	7 м	лущення стерні, перемішування решток
Глибокорозпушувач	HORSCH Tiger 8 MT / аналог	1	8 м	глибоке розпушування
Лущильник/дискатор	Väderstad Carrier XL 625 / аналог	1	6,25 м	поверхневий обробіток
Плуг оборотний	LEMKEN Diamant 16 / аналог	2	7-9 корпусів	оранка окремих площ
Розкидач добрив	AMAZONE ZG-TS 10001	1	10 000 л, до 54 м	внесення мінеральних добрив
Автомобіль-зерновоз	MAN TGX / аналог із напівпричепом	5	24-30 т	перевезення зерна та матеріалів
Перевантажувальний бункер	Kinze 1051 / аналог	2	≈35 м³	логістика зерна від комбайнів
Телескопічний навантажувач	Manitou MLT 737 / аналог	1	≈3,7 т	навантаження добрив, насіння, запчастин
Сервісний автомобіль	Toyota Hilux / Ford Ranger Service	2	мобільна майстерня	виїзне ТО та аварійна допомога

До складу парку включено 12 тракторів різної потужності, 3 зернозбиральні комбайни, 1 самохідний обприскувач, 2 сучасні сівалки, комплекс ґрунтообробних машин, розкидач добрив, транспортні засоби, перевантажувальні бункери, навантажувач і сервісні автомобілі. Така структура забезпечує виконання основних операцій без надмірного дублювання техніки і водночас створює резерв для ремонту окремих машин у пікові періоди.



Рис. 1.3. Склад МТП за групами машин.

1.3. Розрахунок трудомісткості технічного обслуговування і ремонту

Річна трудомісткість робіт машинно-ремонтної майстерні залежить від кількості машин, їхнього річного напрацювання, складності конструкції, умов експлуатації, рівня кваліфікації персоналу та частки робіт, що передаються зовнішньому сервісу. У дипломному проєкті трудомісткість прийнято за укрупненими нормативами на одну машину за рік. Такий метод зручний для проєктування майстерні, оскільки дає змогу врахувати комплекс робіт: технічне обслуговування, сезонну підготовку, регулювання, усунення поточних відмов, дефектацію, зварювально-наплавні та допоміжні операції.

Розрахунок виконано за формулою:

$$T_р = \Sigma(n_i \cdot t_i) + T_{дод}, \quad (1.1)$$

де $T_р$ – загальна річна трудомісткість робіт майстерні, люд.-год; n_i – кількість машин і-ї групи, од.; t_i – укрупнена річна трудомісткість ТО і ремонту однієї машини, люд.-год/рік; Тдод – додаткова трудомісткість організаційних, діагностичних, сезонних і непередбачених робіт.

Укрупнені нормативи прийнято з урахуванням складності машин. Найбільші значення характерні для зернозбиральних комбайнів, енергонасичених тракторів і транспортних засобів, оскільки вони мають складні гідравлічні, електронні, паливні й трансмісійні системи. Для причіпних ґрунтообробних машин норма менша, але через значні абразивні навантаження у них зростає обсяг зварювальних, наплавних і слюсарних робіт.

Таблиця 1.3 – Розрахунок річної трудомісткості ТО і ремонту МТП

Група машин	Марка/модель	Кількість, од.	Норма, люд.-год/маш.-рік	Річна трудомісткість, люд.-год
Енергонасичений трактор	John Deere 8R 410	2	530	1060
Енергонасичений трактор	Fendt 942 Vario	1	520	520
Трактор середнього класу	Case IH Puma 240 CVX / аналог	3	430	1290
Універсально-просапний трактор	John Deere 6155M / аналог	4	300	1200
Допоміжний трактор	New Holland T5.120 / аналог	2	220	440
Зернозбиральний комбайн	CLAAS LEXION 7700 / аналог	3	760	2280
Самохідний обприскувач	HORSCH Leeb PT 6.300	1	450	450
Зернова сівалка	HORSCH Pronto 9 DC	1	400	400
Просапна сівалка	Väderstad Tempo L 16	1	280	280
Дискова борона	LEMKEN Rubin 12/700 KUA	2	180	360

Продовження таблиці 1.3.

Глибокорозпушувач	HORSCH Tiger 8 MT / аналог	1	220	220
Лущильник/дискатор	Väderstad Carrier XL 625 / аналог	1	160	160
Плуг оборотний	LEMKEN Diamant 16 / аналог	2	170	340
Розкидач добрив	AMAZONE ZG-TS 10001	1	180	180
Автомобіль-зерновоз	MAN TGX / аналог із напівпричепом	5	310	1550
Перевантажувальний бункер	Kinze 1051 / аналог	2	150	300
Телескопічний навантажувач	Manitou MLT 737 / аналог	1	260	260
Сервісний автомобіль	Toyota Hilux / Ford Ranger Service	2	90	180

Таблиця 1.4 – Підсумок річної трудомісткості

Показник	Значення, люд.-год
Основна трудомісткість за групами машин	11470
Додаткові організаційно-діагностичні роботи (8 %)	918
Загальна річна трудомісткість	12388

За результатами розрахунку основна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту становить 11470 люд.-год. Додатково прийнято 918 люд.-год на позапланове діагностування, сезонне консервування, контроль якості, переміщення машин у майстерні та організаційні роботи. Загальна річна трудомісткість становить 12388 люд.-год. Це значення є

базовим для визначення чисельності персоналу, площі майстерні та її помісячного завантаження.



Рис.1.4. Розподіл річної трудомісткості за групами машин

Таблиця 1.5 – Розподіл трудомісткості за видами ремонтно-обслуговуючих робіт

Вид робіт	Частка, %	Трудомісткість, люд.-год
Регламентні ТО тракторів і самохідних машин	24	2973
Діагностування, дефектація, контроль параметрів	10	1239
Поточний ремонт вузлів, агрегатів і ходових систем	35	4336
Зварювання, наплавка, відновлення деталей	12	1487
Електрообладнання, гідравліка, паливні системи	8	991
Підготовка до зберігання і сезонне обслуговування	6	743
Виїзне сервісне обслуговування у полі	5	619

Найбільша частка припадає на поточний ремонт вузлів, агрегатів і ходових систем. Це закономірно для господарства з великим обсягом грунтообробних і збиральних робіт. Друге місце займає регламентне технічне обслуговування, яке повинно виконуватися не після появи відмови, а за календарно-напрацювальним графіком. Зварювально-наплавні роботи

становлять орієнтовно 12 % загальної трудомісткості, що обґрунтовує потребу у спеціалізованій дільниці відновлення деталей.

З метою зменшення простоїв доцільно вести електронні картки технічного стану машин. У картку заносять дату ТО, напрацювання, перелік замінених матеріалів і деталей, результати діагностування, виявлені дефекти та рекомендації на наступне обслуговування. Для тракторів і комбайнів доцільно контролювати напрацювання за мотогодинами, для причіпних машин – за площею обробітку та сезонами використання, для автомобілів – за пробігом і кількістю рейсів.

1.4. Проєктування машинно-ремонтної майстерні та визначення чисельності персоналу

Машинно-ремонтна майстерня проєктованого підприємства повинна забезпечувати поточне технічне обслуговування, діагностування, дрібний і середній ремонт, зварювання, наплавку, слюсарно-механічну обробку, ремонт електрообладнання, гідравліки та підготовку техніки до зберігання. Капітальний ремонт двигунів, гідронасосів, паливної апаратури і складних електронних модулів доцільно передавати на спеціалізовані сервісні підприємства, оскільки для їх якісного відновлення потрібні дорогі стенди, контрольні прилади та заводські технологічні карти.

Річний фонд часу одного виробничого працівника визначаємо за формулою:

$$F_д = D_р \cdot t_{зм} \cdot \eta = 250 \cdot 8 \cdot 0{,}88 = 1760 \text{ люд.-год/рік}, \qquad (1.2)$$

де Dp – кількість робочих днів за рік; tзм – тривалість зміни, год; η – коефіцієнт використання робочого часу, що враховує відпустки, підготовчо-заключні операції, перерви та простої.

Необхідну кількість виробничих працівників визначаємо за формулою:

$$P = T_р / (F_д \cdot K_в) = 12388 / (1760 \cdot 1{,}05) = 6.7 \approx 7 \text{ осіб}, \qquad (1.3)$$

де $K_в$ – коефіцієнт виконання норм, прийнятий 1,05. Розрахунок показує, що мінімальна середньорічна чисельність виробничих працівників

становить 7 осіб. Однак через сезонні піки завантаження, необхідність одночасного виконання механічних, діагностичних і зварювальних робіт доцільно передбачити 8 основних працівників майстерні та можливість залучення механізаторів у зимовий ремонтний період.

Організаційну структуру ремонтної служби доцільно побудувати за принципом відповідальності за групи робіт: головний інженер або завідувач майстерні; майстер-діагност; слюсарі з ремонту тракторів і комбайнів; електрик-гідравлік; зварник-оператор дільниці відновлення; токар-фрезерувальник; комірник запасних частин; водій сервісного автомобіля. Такий розподіл дає змогу не змішувати планові ТО, аварійні ремонти та роботи з відновлення деталей.

Таблиця 1.6 – Рекомендована структура персоналу ремонтної служби

Посада/спеціалізація	Кількість, осіб	Основні функції
Майстер або завідувач майстерні	1	планування, контроль якості, облік робіт
Слюсарі з ремонту тракторів і комбайнів	3	ТО, розбирання, складання, регулювання
Діагност-електрик-гідравлік	1	комп’ютерна діагностика, електрика, гідравліка
Зварник-оператор дільниці відновлення	1	зварювання, наплавка, підготовка деталей
Токар-фрезерувальник	1	механічна обробка, виготовлення втулок і пальців
Комірник запасних частин	1	склад, мастила, запасні частини
Водій сервісного автомобіля	1	виїзне обслуговування та евакуація вузлів

Площа майстерні визначається складом робочих постів і розмірами техніки. Для підприємства площею 4000 га доцільно передбачити центральний ремонтний корпус із зоною приймання і миття, постами ТО тракторів і самохідних машин, слюсарно-механічною дільницею, зварювально-наплавною дільницею, зоною ремонту електрообладнання та гідравліки, складом запасних частин, інструментальною коморою і

побутовими приміщеннями. Орієнтовна загальна площа майстерні становить 650-750 м² без урахування відкритого майданчика для зберігання техніки.

Таблиця 1.7 – Орієнтовний склад і площі дільниць машинно-ремонтної майстерні

Дільниця майстерні	Орієнтовна площа, м²	Основне обладнання
Пост приймання, очищення і зовнішнього огляду	90	мийка високого тиску, оглядовий майданчик
Пости ТО і поточного ремонту тракторів та комбайнів	260	канави або підйомники, домкрати, прес, стенди
Слюсарно-механічна дільниця	85	токарний і свердлильний верстати, прес, верстаки
Зварювально-наплавна дільниця	75	зварювальний пост, витяжка, позиціонер, роботизована комірка
Дільниця електрообладнання і гідравліки	45	тестер, стенд гідравліки, зарядні пристрої
Склад запасних частин, мастил та інструменту	120	стелажі, шафи, тара для мастил
Побутові й адміністративні приміщення	70	робочі місця, документація, засоби зв’язку

1.5. Графік завантаження машинно-ремонтної майстерні

Графік завантаження майстерні складається з урахуванням сезонності польових робіт. У зимовий період основну увагу приділяють дефектації, ремонту ґрунтообробних машин, сівалок, причіпного обладнання, тракторів і зернозбиральних комбайнів. У березні зростає обсяг підготовчих робіт до весняної посівної кампанії. У квітні-червні майстерня переходить у режим оперативного сервісу, коли частина робіт виконується безпосередньо в полі сервісними автомобілями. У липні-серпні головним завданням є підтримання працездатності комбайнів і транспортних засобів. Восени майстерня забезпечує обслуговування техніки після збирання, підготовку до основного обробітку ґрунту та постановку машин на зберігання.

Середньомісячний фонд часу одного працівника становить 146.7 люд.-год. За наявності 8 основних виробничих працівників місячний фонд

становить близько 1174 люд.-год, а за залучення 9 працівників у пікові місяці – близько 1320 люд.-год. Це дає змогу порівняти потребу у трудових ресурсах із фактичним завантаженням майстерні.

Таблиця 1.8 – Помісячний розподіл річної трудомісткості робіт майстерні

Місяць	Частка річної програми	Трудомісткість, люд.-год	Потреба працівників, осіб
Січень	12 %	1487	11
Лютий	12 %	1487	11
Березень	11 %	1363	10
Квітень	7 %	867	6
Травень	6 %	743	6
Червень	6 %	743	6
Липень	8 %	991	7
Серпень	7 %	867	6
Вересень	6 %	743	6
Жовтень	8 %	991	7
Листопад	8 %	991	7
Грудень	9 %	1115	8

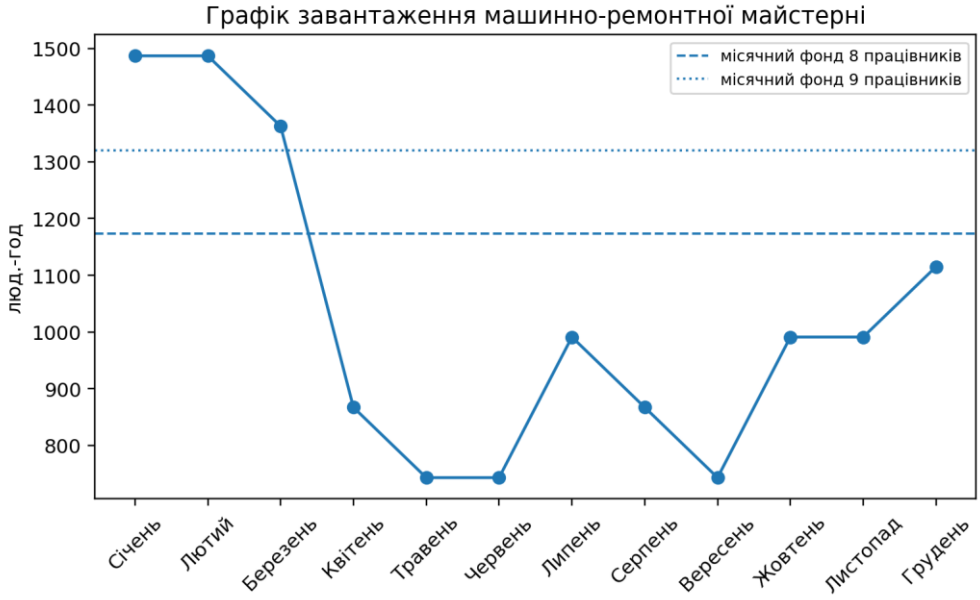


Рис. 1.5. Графік завантаження машинно-ремонтної майстерні протягом року

З графіка видно, що максимальне завантаження припадає на січень-березень, коли необхідно завершити ремонт тракторів, посівної техніки, обприскувача, розкидача добрив та ґрунтообробних агрегатів до початку

польових робіт. У цей час доцільно організувати дві ремонтні бригади: перша виконує планові ТО і ремонт самохідної техніки, друга – відновлення причіпних машин, робочих органів, підшипникових вузлів і металоконструкцій. Влітку та восени зростає значення мобільного сервісу, оскільки переміщення комбайна або обприскувача до центральної майстерні в період польових робіт є небажаним.

Для зменшення пікових навантажень частину підготовчих робіт необхідно виконувати відразу після завершення сезону. Наприклад, дефектацію сівалок доцільно проводити одразу після весняної посівної, а комбайнів – у серпні-вересні після завершення збирання ранніх культур. Такий підхід дає змогу перенести частину трудомісткості з зимових місяців на періоди меншого завантаження і зменшити ризик неготовності техніки до наступного сезону.

1.6. Роботизація процесу зварювання та наплавки деталей МТП

У машинно-тракторному парку значна кількість відмов пов’язана зі зношуванням робочих органів ґрунтообробних машин, тріщинами у рамах, спрацюванням отворів у кронштейнах, пошкодженням пальців, втулок, валів, кожухів, опор і елементів транспортних засобів. Традиційно такі роботи виконують ручним дуговим або напівавтоматичним зварюванням. Проте якість ручного процесу значною мірою залежить від кваліфікації зварника, стабільності режимів, положення деталі та умов роботи. За великої кількості однотипних деталей доцільно переходити до роботизованого зварювання і наплавки.

Роботизація не означає повну заміну ремонтного персоналу. Вона передбачає створення окремої технологічної комірки, у якій оператор готує деталі, встановлює їх у позиціонер, вибирає програму, контролює процес і виконує заключний контроль. Робот забезпечує повторювану траєкторію пальника, стабільну швидкість переміщення, сталу довжину дуги та меншу кількість дефектів наплавленого шару. Найбільший ефект очікується при

відновленні серійних деталей: лап культиваторів, ножів, кронштейнів, елементів рам, валів, пальців, деталей транспортних візків, а також при підготовці поверхонь до подальшої електромеханічної обробки.

Для зварювально-наплавної дільниці аграрного підприємства запропоновано робот FANUC ARC Mate 100iD/10L. Це шестивісний робот для дугового зварювання з корисним навантаженням 10 кг і радіусом досяжності 1636 мм. Такий робочий простір достатній для більшості ремонтних деталей МТП, а довга рука робота дає змогу обробляти габаритні деталі на позиціонері або зварювальному столі. Робота доцільно комплектувати джерелом живлення MIG/MAG з імпульсними режимами, пальником із системою очищення сопла, позиціонером, витяжною вентиляцією, захисним огородженням і пультом оператора.

Таблиця 1.9 – Основні характеристики запропонованої роботизованої зварювально-наплавної дільниці

Параметр	Значення
Рекомендована модель	FANUC ARC Mate 100iD/10L або аналог
Тип процесу	MIG/MAG-зварювання, дугове наплавлення
Кількість осей	6
Корисне навантаження	10 кг
Досяжність	1636 мм
Додаткове оснащення	позиціонер, джерело 350-500 А, витяжка, огорожа, датчики безпеки
Очікувана сфера використання	відновлення робочих органів, кронштейнів, рам, валів, корпусних деталей

Схема роботизованої дільниці зварювання та наплавки



Рис. 1.6. Схема роботизованої комірки для зварювання та наплавки деталей

Запровадження роботизованої комірки доцільне не для одиничних випадкових ремонтів, а для повторюваних робіт, які можна стандартизувати. Для цього необхідно сформувати номенклатуру деталей, що часто відновлюються, розробити пристрої для їх базування, підібрати матеріали наплавлення, встановити режими і створити бібліотеку програм. У перспективі роботизована дільниця може працювати у зв’язці з пристосуванням для електромеханічної обробки деталей: наплавлення або зварювальне відновлення забезпечує відновлення геометрії, а електромеханічна обробка формує зміцнений поверхневий шар.

Переваги роботизації для ремонтної майстерні полягають у підвищенні стабільності якості швів і наплавлених шарів, зменшенні частки браку, скороченні часу підготовки серійних деталей, зниженні впливу людського фактора та поліпшенні умов праці. Особливо важливо, що оператор менше перебуває у зоні диму, випромінювання і бризок металу. Разом з тим роботизація потребує правильної організації безпеки: огородження робочої зони, блокування дверей, аварійних кнопок зупинки, місцевої витяжки, навчання оператора та регулярного технічного обслуговування обладнання.

Економічний ефект від роботизації зварювання і наплавки проявляється через зменшення простоїв техніки, подовження строку служби

відновлених деталей, зменшення витрат на придбання нових робочих органів і стабільнішу якість ремонту. Для господарства на 4000 га така дільниця може бути завантажена не лише власними деталями, а й замовленнями сусідніх підприємств, що підвищує окупність обладнання. На першому етапі доцільно автоматизувати наплавлення робочих органів ґрунтообробних машин та зварювання типових кронштейнів, а після накопичення програм і досвіду – розширити номенклатуру деталей.

Висновки по розділу

У розділі обґрунтовано організацію технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства площею 4000 га. Запропоновано структуру посівних площ, що враховує сезонність виконання технологічних операцій, та підібрано сучасний комплекс тракторів, комбайнів, посівної, ґрунтообробної, обприскувальної, транспортної і допоміжної техніки. Склад парку забезпечує виконання основних польових робіт у встановлені строки та створює базу для планування ремонтно-обслуговуючих процесів.

Розраховано річну трудомісткість технічного обслуговування і ремонту МТП. Основна трудомісткість за групами машин становить 11470 люд.-год, додаткова трудомісткість організаційно-діагностичних і сезонних робіт – 918 люд.-год, а загальна річна трудомісткість – 12388 люд.-год. На основі річного фонду часу визначено, що мінімальна чисельність виробничих працівників становить 7 осіб, однак з урахуванням сезонних піків доцільно передбачити 8 основних працівників і можливість тимчасового підсилення ремонтної служби.

Складено графік завантаження машинно-ремонтної майстерні. Найбільші обсяги робіт припадають на зимово-весняний період, коли проводиться підготовка техніки до посівної кампанії. Для зниження пікових навантажень запропоновано переносити частину дефектації і ремонту на період одразу після завершення відповідних польових операцій.

Обґрунтовано склад основних дільниць майстерні та орієнтовну площу ремонтного корпусу.

Окремо розглянуто можливість роботизації зварювання і наплавки. Для ремонтної дільниці запропоновано робот FANUC ARC Mate 100iD/10L або аналог із джерелом MIG/MAG, позиціонером, витяжною вентиляцією та системами безпеки. Роботизована комірка є перспективною для відновлення робочих органів, кронштейнів, валів, рамних деталей і може бути технологічно поєднана з подальшою електромеханічною обробкою поверхонь.

РОЗДІЛ 2
СУТНІСТЬ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

2.1. Загальна характеристика електромеханічної обробки

Електромеханічна обробка (ЕМО) належить до комбінованих способів зміцнювально-оздоблювальної обробки деталей машин. Її сутність полягає в одночасній дії на поверхневий шар двох факторів: локального електроконтактного нагріву та механічного тиску інструмента. Через зону контакту ролика або згладжувального інструмента з деталлю пропускають струм великої сили при малій напрузі, унаслідок чого в тонкому поверхневому шарі виникає короткочасний інтенсивний нагрів. Одночасно інструмент деформує мікронерівності, ущільнює метал і формує сприятливий напружений стан.

Для умов технічного сервісу машинно-тракторного парку цей метод має практичну цінність, оскільки значна частина деталей списується через невеликий знос посадочних, ущільнювальних або опорних поверхонь. До таких деталей належать вали, втулки, осі, пальці, шийки під підшипники, поверхні під манжети, елементи гідроциліндрів та інші циліндричні деталі. ЕМО дає змогу не лише підвищити зносостійкість, а й покращити якість поверхні після механічної обробки.

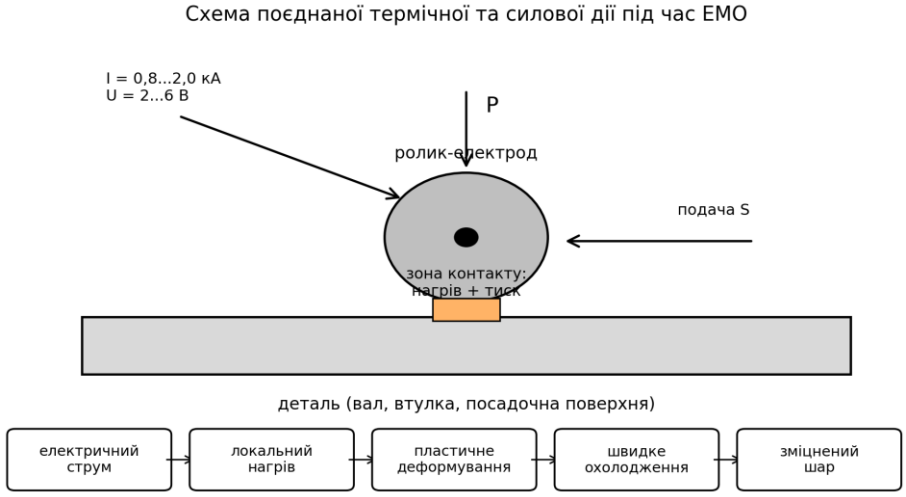


Рис. 2.1. Принципова схема процесу електромеханічної обробки

Під час проходження струму через малу фактичну площу контакту виділяється теплота Джоуля, а контактний тиск спричиняє мікропластичне деформування виступів шорсткості. За короткий проміжок часу нагрітий шар досягає температур фазових перетворень, після чого швидко охолоджується за рахунок відведення теплоти в масив деталі. У результаті може утворюватися загартований білий або перехідний шар з підвищеною твердістю, а поверхня набуває більш згладженого профілю.

2.2. Фізико-механічні процеси в контактній зоні

Контактна зона при ЕМО є локальною ділянкою з дуже високою концентрацією енергії. Основними керованими параметрами процесу є сила струму I, напруга U, швидкість обробки v, зусилля притискання P, радіус ролика, кількість проходів і початкова шорсткість поверхні. Питомий тиск визначає площу реального контакту, а сила струму і час дії визначають кількість теплоти, що виділяється у поверхневому шарі.

У спрощеному вигляді кількість теплоти, що виділяється у зоні контакту, можна подати залежністю:

$$Q = I^2 \cdot R_к \cdot t, \qquad (2.1)$$

де Q – теплота, Дж; I – сила струму, А; $R_к$ – контактний електричний опір, Ом; t – час проходження струму через елементарну ділянку поверхні, с. Чим менша площа контакту і більший опір, тим інтенсивніше нагрівається тонкий шар металу. Разом з цим надмірне підвищення струму може спричинити припали, мікротріщини або нестабільну структуру, тому режими потрібно добирати з урахуванням матеріалу деталі.

Механічна складова процесу описується питомим тиском:

$$p = P / F, \qquad (2.2)$$

де P – сила притискання ролика, Н; F – фактична площа контакту, мм². За недостатнього тиску відбувається неповне згладжування мікронерівностей. За надмірного тиску можливі задири, повторне утворення шорсткості та перевантаження підшипникових вузлів пристосування. Тому

раціональний режим ЕМО повинен забезпечувати рівновагу між тепловою дією, пластичним деформуванням і допустимою якістю поверхні.

Таблиця 2.1 – Основні фізико-механічні явища, що відбуваються під час ЕМО

Явище	Механізм прояву	Вплив на поверхневий шар
Електроконтактний нагрів	Виділення теплоти в зоні проходження струму через мікроконтакти	Швидкий нагрів до температур фазових перетворень
Пластичне деформування	Зминання та розтікання мікровиступів під дією ролика	Зменшення Ra, збільшення опорної площі
Швидке охолодження	Відведення теплоти в холодну масу деталі	Формування загартованої структури
Диспергування структури	Подрібнення зерна, зростання густини дислокацій	Підвищення мікротвердості та опору зношуванню
Залишкові напруження	Нерівномірний нагрів і деформація поверхні	Формування стискуючих напружень, корисних для втомної міцності

2.3. Стан поверхні після електромеханічної обробки

Після ЕМО поверхня має характерні ознаки термомеханічного впливу: вершини мікронерівностей згладжуються, западини частково заповнюються перерозподіленим металом, а у верхній зоні формується зміцнений шар з підвищеною твердістю. На металографічному зображенні такий шар часто виявляється у вигляді світлої зони, що має меншу протравлюваність і відрізняється від основного металу більш дисперсною структурою. Нижче розташовується перехідна зона, де твердість поступово зменшується до рівня серцевини.

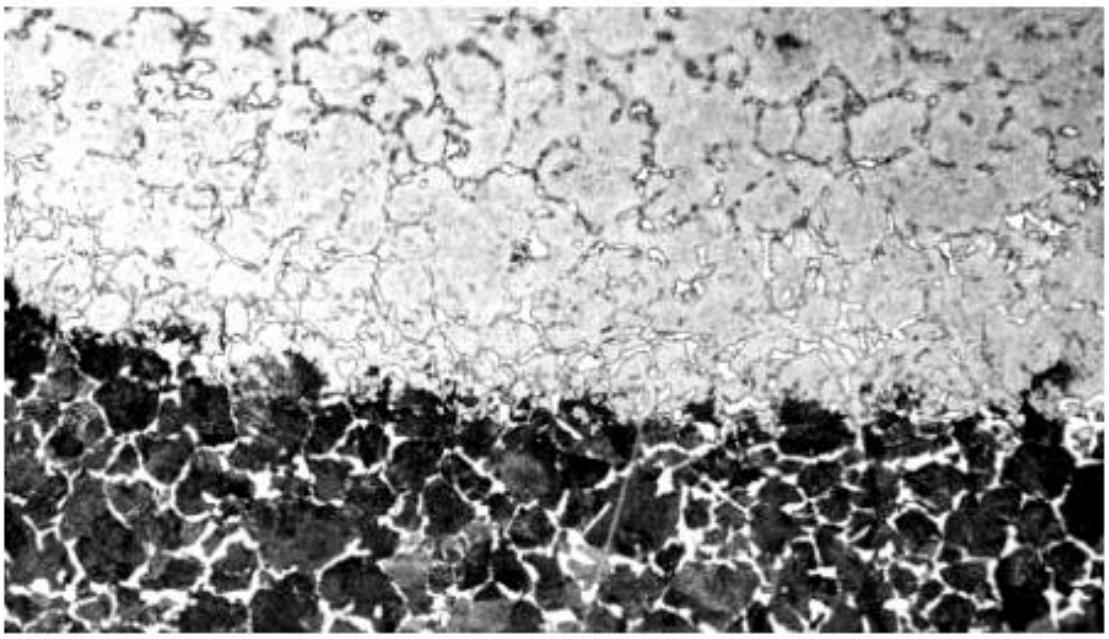


Рис. 2.2. Мікрофотографія перехідної зони сталі 40Г після електромеханічного поверхневого зміцнення.

Наведена мікрофотографія демонструє неоднорідність зміцненого шару: світла верхня зона відповідає ділянці інтенсивного теплового впливу, а темніша нижня частина – основному металу та перехідній структурі. Для деталей МТП така будова є корисною, оскільки тверда поверхня працює проти абразивного та адгезійного зношування, а більш в’язка серцевина зберігає здатність сприймати ударні та змінні навантаження.

2.4. Вплив режимів ЕМО на глибину та твердість зміцненого шару

Глибина зміцнення та твердість поверхні залежать від поєднання електричних і механічних параметрів. Для ремонтного виробництва найбільш важливо отримати достатню глибину шару без перегріву та без значного викривлення деталі. У практичних умовах доцільно орієнтуватися на такі фактори: збільшення сили струму підвищує температуру і глибину прогріву; зниження швидкості подачі збільшує час теплової дії; збільшення зусилля притискання покращує контакт і згладжування, але надмірний тиск може погіршити якість поверхні.

Таблиця 2.2 – Орієнтовні параметри електромеханічної обробки деталей МТП

Група деталей	Матеріал	I, A	U, B	Швидкість, м/хв	Очікуваний результат
Вали та осі	Сталь 45, 40Х	800–1600	2–6	0,8–2,5	Зміцнення шийок, зниження зносу
Втулки та пальці	Сталь 20, 45	700–1400	2–5	0,6–2,0	Підвищення твердості та опорної площі
Посадки під манжети	Сталь 45	600–1200	2–4	1,0–3,0	Згладжування рисок, стабілізація ущільнення

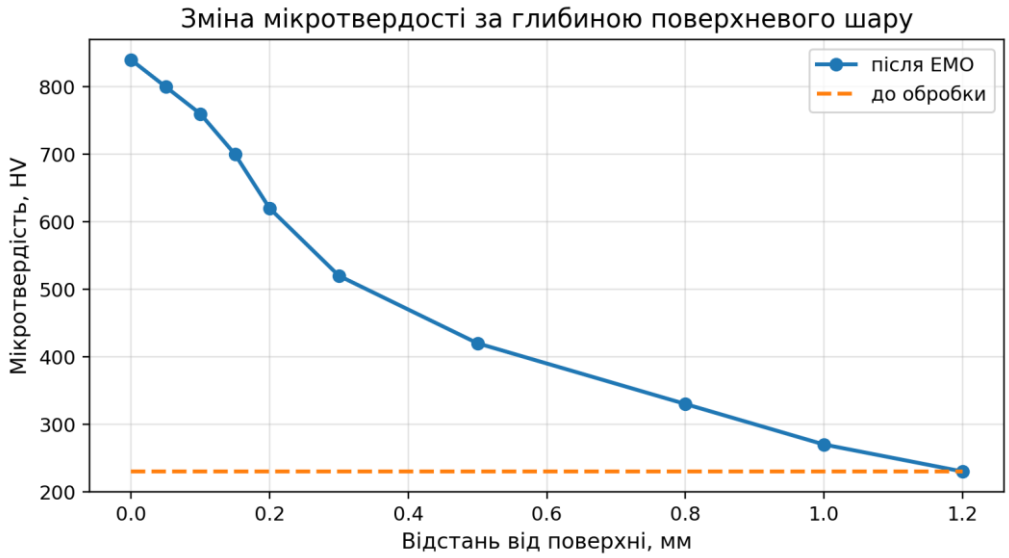


Рис. 2.3. Узагальнена залежність мікротвердості від глибини після ЕМО

Графік показує типовий характер розподілу твердості: максимальні значення припадають на тонку поверхневу зону, а з віддаленням від поверхні твердість поступово зменшується. Такий градієнт є важливим для деталей, які працюють у спряженнях ковзання або в умовах абразивного середовища, оскільки він поєднує тверду робочу поверхню і менш крихку основу.

2.5. Вплив ЕМО на триботехнічні характеристики поверхні

Триботехнічні характеристики поверхні визначаються не лише твердістю матеріалу, а й мікрогеометрією, фактичною площею контакту,

здатністю утримувати мастильну плівку, залишковими напруженнями та структурною стабільністю верхнього шару. Після ЕМО поверхня стає більш рівномірною, а гострі вершини шорсткості зминаються. Це зменшує початкове припрацювання, знижує локальні контактні напруження і сприяє кращому розподілу мастила.

Підвищення мікротвердості зменшує глибину проникнення абразивних частинок і знижує інтенсивність мікрорізання. Збільшення опорної площі контакту зменшує питомі тиски у вузлі тертя. Формування стискуючих залишкових напружень гальмує розвиток втомних мікротріщин. У сукупності це проявляється у зменшенні коефіцієнта тертя, зниженні масового зносу та збільшенні ресурсу спряження.

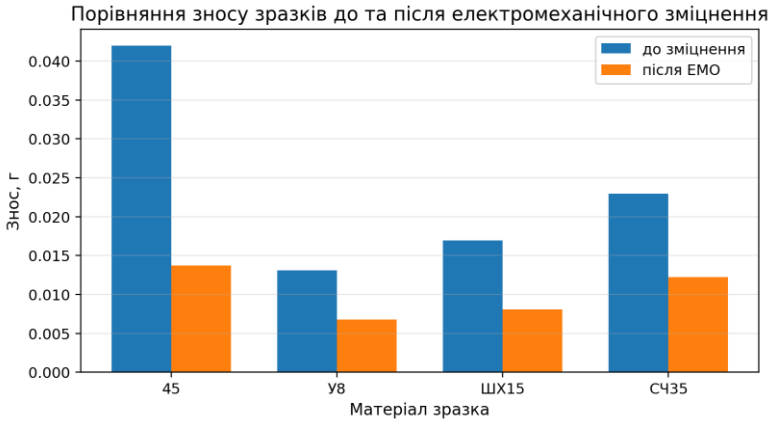


Рис. 2.4. Зменшення масового зносу зразків після електромеханічного зміцнення за даними випробувань

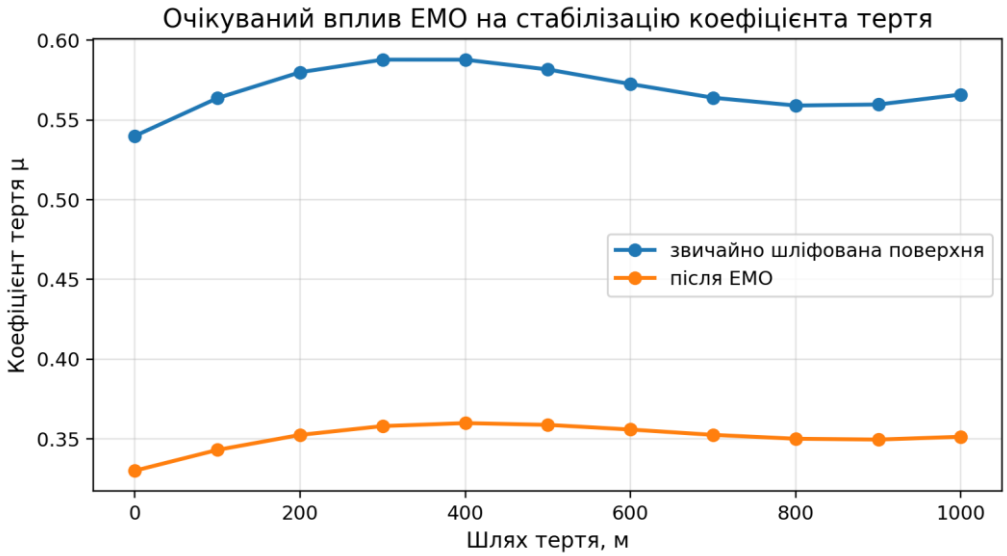


Рис. 2.5. Орієнтовна зміна коефіцієнта тертя у процесі припрацювання

З практичної точки зору найбільший ефект очікується для поверхонь, які працюють в умовах граничного або змішаного тертя: шийки валів під манжети, напрямні втулки, пальці шарнірів, поверхні гідроциліндрів, посадочні місця під підшипники. У таких вузлах навіть невелике зменшення шорсткості та зростання твердості істотно знижують імовірність задирів, корозійно-механічного зношування та руйнування ущільнень.

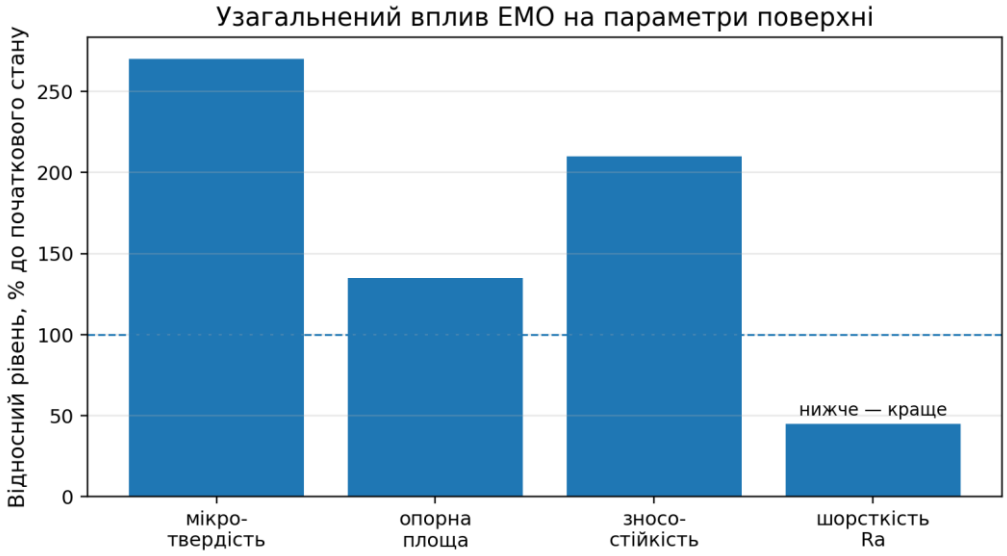


Рис. 2.6. Узагальнена діаграма впливу ЕМО на якість робочої поверхні.

2.6. Технологічні рекомендації для застосування ЕМО в ремонтній майстерні

У ремонтній майстерні аграрного підприємства ЕМО доцільно застосовувати як завершальну або проміжну операцію після відновлення розміру деталі. Якщо поверхня має значний знос, спочатку виконують наплавлення, металізацію, встановлення ремонтної втулки або механічну обробку до ремонтного розміру. Після цього ЕМО використовується для формування якісного зміцненого шару і стабілізації геометричних параметрів.

Запровадження ЕМО потребує наявності джерела струму великої сили і малої напруги, електроізольованої державки з роликом, надійного підведення струму, системи регулювання зусилля притискання і засобів контролю режимів. Особливу увагу слід приділяти чистоті поверхні, стабільності

контакту та охороні праці, оскільки процес пов’язаний з великими струмами, нагрівом і рухомими частинами верстата.

Висновки по розділу

Електромеханічна обробка є ефективним способом зміцнення та фінішного формування поверхневого шару деталей машинно-тракторного парку. Її особливість полягає в одночасній дії електроконтактного нагріву і пластичного деформування, що забезпечує утворення твердого градієнтного шару, зменшення шорсткості та збільшення фактичної площі контакту. Основними факторами керування процесом є сила струму, напруга, швидкість обробки, зусилля притискання інструмента, геометрія ролика і кількість проходів.

З позиції триботехніки ЕМО покращує умови роботи спряжених поверхонь: зменшує інтенсивність зношування, стабілізує коефіцієнт тертя, підвищує стійкість до абразивного та втомного руйнування, а також сприяє кращому утриманню мастильної плівки. Тому цей метод доцільно використовувати в системі технічного сервісу МТП для відновлення валів, втулок, пальців, посадочних місць під підшипники та ущільнення, а також поверхонь після наплавлення або механічної обробки.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Технологічні передумови застосування електромеханічної обробки під час ремонту деталей

Ресурс машинно-тракторного парку значною мірою визначається станом деталей, які працюють у вузлах тертя, передають крутний момент, сприймають ударні навантаження або забезпечують точність взаємного розміщення спряжених поверхонь. У процесі експлуатації саме поверхневий шар першим зазнає дії абразивного середовища, змінних контактних напружень, корозійних процесів і місцевого нагрівання. Тому під час організації технічного сервісу важливо не тільки замінювати непридатні елементи, а й раціонально відновлювати деталі, у яких зберігся основний об’єм металу та достатня залишкова міцність.

Практика ремонтного виробництва показує, що значна частина деталей вибраковується через порівняно невеликі відхилення розмірів. Для багатьох валів, осей, втулок, пальців, посадкових шийок і напрямних характерний знос у межах десятих часток міліметра, тоді як маса і несуча здатність заготовки майже не змінюються. У таких умовах виготовлення нової деталі часто є менш доцільним, ніж відновлення робочої поверхні з одночасним її зміцненням.

Відновлення зношених деталей має кілька важливих переваг для ремонтної бази господарства. По-перше, зменшується потреба у запасних частинах, які нерідко мають високу ціну або тривалий строк постачання. По-друге, скорочується витрата металу, енергії та допоміжних матеріалів. По-третє, ремонтна майстерня одержує можливість швидше повертати агрегати в роботу, що особливо важливо у періоди напружених польових робіт.

Серед деталей, які найчастіше потребують відновлення, значну групу становлять тіла обертання: гладкі та ступінчасті вали, осі, цапфи, шліцьові та

різьбові кінці валів. Вони виготовляються переважно з конструкційних вуглецевих і легованих сталей. Для машин сільськогосподарського призначення типовими є деталі зі сталей 45, 35, 50, 40Х, 25ХГТ, 50Г та близьких за властивостями марок. Саме ці матеріали добре піддаються поверхневому зміцненню, якщо режим обробки підібрано з урахуванням хімічного складу та розмірів деталі.

Найбільш відповідальними у таких деталях є посадкові поверхні під підшипники, манжети, шківи, зірочки, зубчасті колеса і муфти. Допустимий знос посадкових місць під підшипники зазвичай невеликий, оскільки навіть незначне зменшення діаметра спричиняє погіршення натягу, биття, вібрацію і прискорене руйнування вузла. Поверхні під ущільнення допускають більший знос, однак для них критичними стають шорсткість, риски, корозійні раковини і нерівномірність профілю.

Традиційний маршрут ремонту валів включає дефектацію, очищення, перевірку геометрії, виправлення центрових отворів, правку, відновлення зношених поверхонь, механічну обробку до заданого розміру, термічне або поверхневе зміцнення, шліфування і заключний контроль. Для нарощування металу застосовують наплавлення у захисних газах, плазмове або газополуменеве напилення, електролітичне осадження металу, приварювання стрічки та інші способи. Однак кожний з них має обмеження, пов’язані з тепловими деформаціями, потребою у витратних матеріалах, складністю подальшої механічної обробки або підвищеними енергетичними витратами.

Для підвищення ресурсу деталей після відновлення доцільно застосовувати зміцнювально-оздоблювальні методи: алмазне вигладжування, обкатування роликами або кульками, віброобкатування, лазерне зміцнення, поверхневе гартування струмами високої частоти та електромеханічну обробку. Кожен із цих методів формує поверхневий шар із підвищеною твердістю, сприятливими залишковими напруженнями і меншою шорсткістю. Вибір способу залежить від форми деталі, матеріалу, величини зносу, потрібної глибини зміцнення та оснащеності ремонтної майстерні.

Електромеханічна обробка є перспективним варіантом для ремонтних підприємств, оскільки поєднує локальний електроконтактний нагрів і пластичне деформування поверхні твердосплавним інструментом. У зоні контакту інструмента з деталлю проходить струм великої сили за малої напруги. Через контактний опір поверхневий шар швидко нагрівається, а одночасний тиск ролика або пластини ущільнює мікронерівності та сприяє формуванню нового стану металу. Після відведення теплоти в масу деталі тонкий шар металу охолоджується з високою швидкістю, унаслідок чого може виникати поверхневе гартування.

На відміну від об’ємної термічної обробки, електромеханічне зміцнення діє локально. Деталь не прогрівається повністю, тому зменшується ризик короблення, зміни основних розмірів і виникнення значних внутрішніх напружень у всьому перерізі. Це особливо важливо для валів, тонкостінних втулок, робочих органів ґрунтообробних машин та інших деталей, для яких після ремонту потрібно зберегти точність геометрії.

Ефект ЕМО проявляється у зниженні шорсткості, підвищенні мікротвердості, збільшенні фактичної опорної площі та підвищенні опору зношуванню. Під час припрацювання спряження поверхня з більшою опорною довжиною працює стабільніше, менше нагрівається і повільніше втрачає форму. За правильно підібраних режимів опорна поверхня після обробки може збільшуватися на 30–40 %, що позитивно впливає на довговічність посадок і пар тертя.

Для одержання якісного результату необхідно узгодити електричні, механічні та кінематичні параметри процесу. До головних параметрів належать сила струму, напруга вторинного кола, швидкість переміщення інструмента, подача, сила притискання, форма і радіус робочої частини інструмента, початкова шорсткість та теплофізичні властивості металу. Недостатній тиск не забезпечує повного згладжування нерівностей, а надмірний може спричинити повторне утворення хвилястості або місцеві пошкодження поверхні.

З погляду механіки контакту доцільно виділяти три рівні зусиль. Перший відповідає мікропластичному деформуванню тільки вершин шорсткості. Другий забезпечує пружно-пластичне вирівнювання поверхні без небезпечного порушення геометрії. Третій пов’язаний із надмірним деформуванням поверхневого шару, коли можливе утворення нових нерівностей. Для конструкційних сталей орієнтовний питомий тиск у зоні контакту доцільно приймати в межах 320–420 МПа.

Зусилля згладжування можна попередньо визначити через питомий тиск і площу фактичного контакту інструмента з деталлю:

$$P_з = p \cdot F, \tag{3.1}$$

де $P_з$ – зусилля притискання інструмента, Н; p – прийнятий питомий тиск у контакті, МПа; F – площа контакту інструмента з поверхнею деталі, мм^2.

Для конструкційних сталей, поверхня яких попередньо підготовлена до електромеханічного зміцнення, площу контакту можна оцінити наближеною залежністю:

$$F = 5{,}3 \cdot Rz \cdot \sqrt{(r \cdot \rho \cdot R / (r + \rho))}, \tag{3.2}$$

де R_z – висота нерівностей профілю поверхні; r – радіус інструмента у перерізі, перпендикулярному до осі деталі; R – радіус інструмента у плані; ρ – радіус оброблюваної деталі.

Потрібна глибина зміцненого шару залежить від допустимого зношування у конкретному спряженні. Для валів, які працюють із вкладишами, втулками або підшипниковими опорами, її можна оцінювати за виразом:

$$\delta = (S_{max} – S_{поч}) / [2 \cdot (\Sigma – 1)], \tag{3.3}$$

де Smax – найбільший допустимий зазор у спряженні; Sпоч – початковий зазор; Σ – співвідношення інтенсивності зношування вкладиша та шийки вала. Така оцінка дає змогу пов’язати технологічний режим обробки з реальною умовою роботи відремонтованого вузла.

Таблиця 3.1 – Узагальнена характеристика методів підвищення зносостійкості деталей

Метод	Сутність процесу	Переваги	Обмеження
Наплавлення	Нарощування шару металу на зношеній поверхні	Можна компенсувати значний знос; метод добре відомий у ремонті	Потребує витратних матеріалів; можливі деформації та значна подальша обробка
Гальванічні покриття	Осадження металу з електроліту	Висока точність шару, мала теплова дія	Потрібне спеціальне хімічне господарство, складна підготовка поверхні
Обкатування та вигладжування	Пластичне ущільнення поверхні без інтенсивного нагріву	Покращує шорсткість і залишкові напруження	Обмежена глибина зміцнення; не усуває більший знос
Електромеханічна обробка	Поєднання контактного нагріву струмом і силового деформування	Підвищує твердість, зменшує шорсткість, не потребує електродів	Потрібне низьковольтне джерело великого струму та спеціальний інструмент

Порівняно з наплавленням, електромеханічна обробка є менш матеріаломісткою і технологічно простішою для невеликих ремонтних партій. Вона не потребує електродного дроту, флюсів або захисних газів, а теплова дія зосереджується тільки в зоні контакту. Тому ЕМО доцільно розглядати як спосіб завершальної обробки після відновлення або як самостійний метод зміцнення деталей, знос яких не потребує значного нарощування металу.

3.2 Аналіз обладнання та інструментальних схем для електромеханічної обробки

Застосування електромеханічної обробки у ремонтній майстерні потребує не обов’язково окремого спеціального верстата, а передусім правильно підібраного джерела струму, надійного контактного вузла та інструментальної державки. У багатьох випадках базою можуть бути токарні, фрезерні, свердлильні або інші металорізальні верстати, якщо їх технічний стан забезпечує потрібну точність рухів, жорсткість системи та безпечне підведення струму.

Для деталей типу валів найзручнішою базою є токарний верстат. Деталь закріплюється в центрах або патроні, обертається з заданою частотою, а роликовий інструмент переміщується вздовж поверхні супортом. Для плоских деталей, робочих органів ґрунтообробних машин, ножів різальних апаратів і напрямних доцільно використовувати фрезерний верстат. У такому разі головний рух шпинделя може бути вимкнений, а ролик обертається від тертя під час переміщення стола.

Енергетичною основою процесу є низьковольтне джерело великого струму. У практиці ЕМО застосовують знижувальні трансформатори, трансформатори контактного зварювання, потужні випрямлячі або електромашинні перетворювачі постійного струму. Для ремонтного виробництва найбільш прийнятними є трансформаторні джерела, оскільки вони простіші, надійніші та легше обслуговуються в умовах майстерні.

Типова установка для обробки деталей обертання складається із силового трансформатора, апаратури керування, приладів контролю, електроконтактного пристрою для підведення струму до деталі та пружної державки з інструментом. Вторинна напруга звичайно становить кілька вольт, а сила струму може змінюватися від сотень ампер до 1,5–1,8 кА. Для великогабаритних деталей або одночасної роботи кількох роликів потрібна ще більша сила струму – до 2–3 кА і більше.

Установки типу УЕМО-1 та УЕМО-2 є прикладами обладнання, пристосованого для ремонтних умов. Перша установка передбачає використання знижувального трансформатора і пружинної державки, ізольовано закріпленої в різцетримачі токарного верстата. Друга має ширші можливості регулювання, оскільки містить регулятор напруги, перемикачі ступенів, амперметр, вольтметр і захисно-керувальну апаратуру. Така схема дає можливість плавно або ступінчасто змінювати силу струму відповідно до матеріалу й розмірів деталі.

Під час зміцнення плоских поверхонь важливим стає рівномірне притискання ролика та стабільне ковзання або кочення інструмента. Низька швидкість переміщення сприяє збільшенню часу теплової дії, а отже, і глибини зміцненого шару. Завдяки регулюванню сили струму, тиску і швидкості можна формувати шар різної товщини. Це особливо корисно для робочих органів, які мають працювати в абразивному ґрунтовому середовищі та зберігати ріжучу кромку.

Для ножів, лап культиваторів, лемешів, напрямних та подібних деталей перспективним є створення не суцільного масивного загартованого об’єму, а тонкого, але твердого поверхневого шару. Такий шар повинен бути достатньо глибоким, щоб не зникнути після короткочасної роботи, але не надмірним, щоб не погіршити в’язкість основного металу. За певних умов різниця у зношуванні зміцненого і незміцненого шарів сприяє ефекту самозагострювання робочої кромки.

Одним із напрямів удосконалення інструменту є використання двоконтактної схеми. У ній два ролики розміщуються близько один до одного, а через кожний контакт проходить струм. У результаті в поверхневому шарі виникають два теплові потоки, які можуть частково накладатися. Це дозволяє підвищити інтенсивність нагріву, збільшити рівномірність зміцнення і розширити технологічні можливості пристосування.

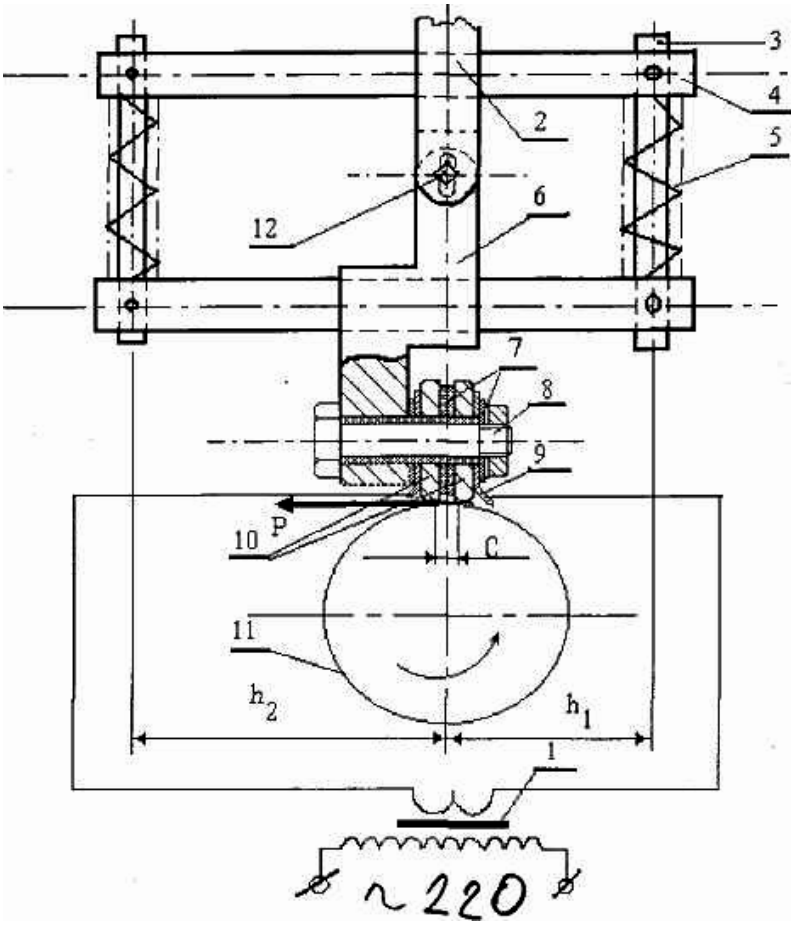


Рис. 3.1. Схема двоконтактного інструмента з близьким розташуванням роликів: 1 – джерело струму; 2 – державка; 3 – напрямні стійки; 5 – пружина; 6 – рухома частина державки; 7 – ізолятори; 8 – болт; 9 – контакт; 10 – ролики; 11 – деталь; 12 – болт

Схема, наведена на рисунку 3.1, демонструє принцип роботи інструмента з двома роликами. Пружинні елементи забезпечують еластичне притискання роликів до поверхні деталі, а напрямні дають можливість переміщувати рухому частину державки без перекосів. Зміною взаємного положення елементів можна компенсувати вертикальну складову зусилля або, у разі повороту інструмента на 90°, осьову силу подачі.

Надійність двоконтактної схеми залежить від сталості електричного контакту. Переривання контакту призводить до нестабільного нагрівання, іскріння, місцевих опіків і нерівномірної твердості. Тому конструкція державки повинна забезпечувати пружне, але достатньо жорстке

притискання роликів, електричну ізоляцію струмопровідних деталей від корпусу верстата та можливість швидкого регулювання режиму.

Джерело живлення для такого інструмента повинно мати малу вторинну напругу і значний запас по струму. Доцільним є застосування трансформатора з основною первинною, додатковою регулювальною первинною та вторинною обмотками. Зміна кількості ввімкнених витків дає можливість розширити діапазон регулювання електричного режиму, а збільшення індуктивності розсіювання сприяє стабілізації струму під час роботи.

Отже, аналіз наявних конструкцій показує, що для умов ремонтної майстерні потрібне компактне пристосування, яке можна встановити на серійний верстат, яке має простий механізм регулювання притискного зусилля, електрично ізольовані робочі ролики, зносостійкі опори та можливість формувати достатньо глибокий зміцнений шар без істотного ускладнення технологічного процесу.

3.3 Конструктивне обґрунтування запропонованого пристосування

Метою конструктивної розробки є створення пристосування для електромеханічної обробки деталей машинно-тракторного парку, яке може використовуватися у складі ремонтної майстерні без суттєвої перебудови наявного металообробного обладнання. Пристосування призначене для зміцнення локальних робочих поверхонь після відновлення або механічної підготовки, а також для поліпшення параметрів поверхневого шару деталей, що мають невеликий знос.

При проектуванні враховано чотири основні вимоги. По-перше, робочий інструмент повинен зберігати твердість і форму під дією контактного нагріву. По-друге, конструкція має давати змогу змінювати тиск роликів на поверхню деталі відповідно до матеріалу й режиму обробки. По-третє, необхідно забезпечити стабільний електричний контакт без пробою ізоляції та без небезпечного проходження струму через вузли верстата. По-

четверте, рухомі елементи пристосування мають бути достатньо зносостійкими, оскільки робота відбувається за підвищених контактних навантажень.

Запропоноване пристосування має корпус, у якому на підшипниках кочення встановлена вісь. На осі розміщується ізолююча втулка, через ізолюючі прокладки закріплюються два робочі ролики. Ролики виконують одночасно функції силового інструмента і контактних електродів. Підведення струму здійснюється через контактний елемент, а ізоляційні прокладки перешкоджають проходженню струму через корпус і опорні вузли.

Для закріплення пристосування на вертикально-фрезерному верстаті передбачено конусний хвостовик. Таке рішення підвищує універсальність конструкції, оскільки верстат забезпечує потрібний поступальний рух стола, а інструмент притискається до плоскої або близької до плоскої поверхні деталі. У разі потреби конструкцію можна адаптувати до іншого верстатного обладнання, зберігаючи принцип роботи роликового вузла.

Робочі ролики доцільно виготовляти з твердого металокерамічного сплаву типу Т15К6. Такий матеріал має високу твердість, опір зношуванню і здатність працювати за підвищеної температури контакту. Для осі та елементів, які сприймають теплову дію, доцільно застосовувати теплостійкі сталі. Ізолюючі втулки та прокладки повинні мати достатню електричну міцність, теплостійкість і стійкість до стискання.

Регулювання сили притискання виконується пружиною та регулювальною цапфою. Під час налаштування оператор змінює попереднє стискання пружини, а отже, і силу, з якою ролики діють на поверхню деталі. Пружний вузол також компенсує невеликі відхилення форми оброблюваної поверхні, зменшує ударні навантаження і сприяє стабільності контакту. Для ремонтного виробництва це важливо, оскільки деталі після експлуатації часто мають неідеальну геометрію.

Опорний вузол роликів виконано на підшипниках кочення. Це знижує втрати на тертя, забезпечує плавне обертання роликів і зменшує спрацювання осі. Наявність підшипників також покращує сталість режиму: ролик не ковзає по поверхні, а перекочується з меншим опором, що сприяє рівномірнішому нагріву і деформуванню поверхневого шару.

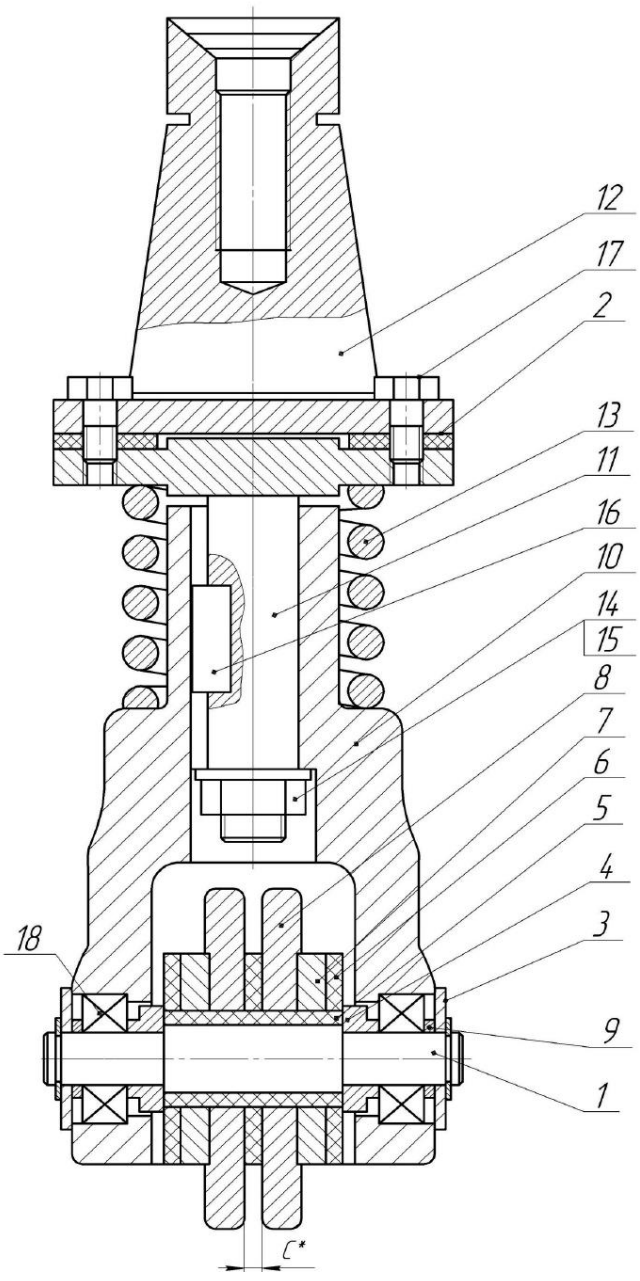


Рис. 3.2. Загальний вигляд пристосування для електромеханічної обробки.

Конструктивна особливість пристосування полягає у можливості зближення роликів до відстані С, за якої теплові зони від двох контактів

частково накладаються. Завдяки цьому у поверхневому шарі формується ширша і глибша зона нагріву, ніж при дії одного ролика. При цьому основна маса деталі не перегрівається, а зміцнення залишається локальним.

Під час роботи деталь встановлюють на столі верстата або в спеціальній оправці. Робочі ролики підводять до поверхні, задають попередній тиск пружиною, вмикають джерело струму і забезпечують відносне переміщення інструмента вздовж зони обробки. Послідовність налаштування повинна передбачати перевірку ізоляції, надійності контактів, відповідності сили струму вибраному режиму, а також відсутність надмірного нагрівання елементів державки.

Перевагою розробленого рішення є його відносна простота. Пристосування складається з типових механічних елементів, які можуть бути виготовлені або підібрані в умовах ремонтної майстерні: корпус, вісь, втулки, ролики, пружина, гайка, шайба, болти та підшипники. Спеціальними є передусім ролики, контактний вузол та ізоляційні елементи. Це знижує вартість виготовлення і спрощує технічне обслуговування пристосування.

Запропонована конструкція забезпечує технологічну гнучкість. Змінюючи силу притискання, силу струму, швидкість переміщення та відстань між роликами, можна підбирати режими для різних матеріалів і деталей. У перспективі пристосування може використовуватися для зміцнення посадкових поверхонь після шліфування, робочих кромок плоских деталей, напрямних, а також локальних ділянок, що працюють в умовах інтенсивного зношування.

До можливих напрямів подальшого удосконалення належать введення шкали для контролю попереднього стискання пружини, застосування змінних роликів різного діаметра і профілю, встановлення датчика температури в зоні обробки та використання швидкознімних ізоляторів. Такі зміни підвищать точність налаштування і розширять область застосування пристосування в ремонтному виробництві.

3.4 Розрахунок пружного вузла пристосування

Пружина є одним із ключових елементів пристосування, оскільки через неї забезпечується потрібне притискне зусилля роликів до оброблюваної поверхні. Вона повинна створювати достатній тиск для пластичного згладжування мікронерівностей і водночас мати запас ходу для компенсації нерівностей деталі та коливань навантаження. Тому розрахунок пружини виконуємо за умовою забезпечення заданого діапазону сил.

Вихідні дані для розрахунку приймаємо такими: матеріал пружини – сталь 65С2ВА; сила при попередній деформації P1 = 300 Н; сила при робочій деформації P2 = 600 Н; робочий хід штока h = 55 мм; зовнішній діаметр пружини D = 48 мм; відносний інерційний зазор пружини стиску δ = 0,1. Пружина працює на стискання і повинна забезпечувати стабільне притискання роликів протягом усього робочого ходу.

Сила пружини за максимальної деформації визначається за залежністю:

$$P_3 = P_2 / (1 - \delta). \quad (3.4)$$

$$P_3 = 600 / (1 - 0{,}1) = 667 \text{ Н}.$$

Для подальшого розрахунку приймаємо P3 = 667 Н. Діаметр дроту пружини приймаємо d = 4 мм. Жорсткість одного витка становить z1 = 29,719 Н/мм, а максимально допустима деформація одного витка – 20,96 мм.

Критичну швидкість для пружини стиску визначаємо за формулою:

$$V_{кр} = \tau \cdot (1 - P2/P3) / \sqrt{(2 \cdot G \cdot \rho)}, \quad (3.5)$$

де G – модуль зсуву матеріалу, $G = 8 \cdot 10^3$ кгс/мм²; ρ – густина матеріалу, $\rho = 8 \cdot 10^{-10}$ кгс·с²/мм⁴; τ – найбільше дотичне напруження, τ = 135 кгс/мм².

$$V_{кр} = 135 \cdot (1 - 61{,}2/68{,}0) / 3{,}58 = 3{,}77 \text{ м/с}.$$

Жорсткість пружини, потрібна для переходу від попереднього навантаження до робочого, становить:

$$z = (P_2 - P_1) / h. \quad (3.6)$$

$$z = (600 - 300) / 55 = 5{,}45 \text{ Н/мм}.$$

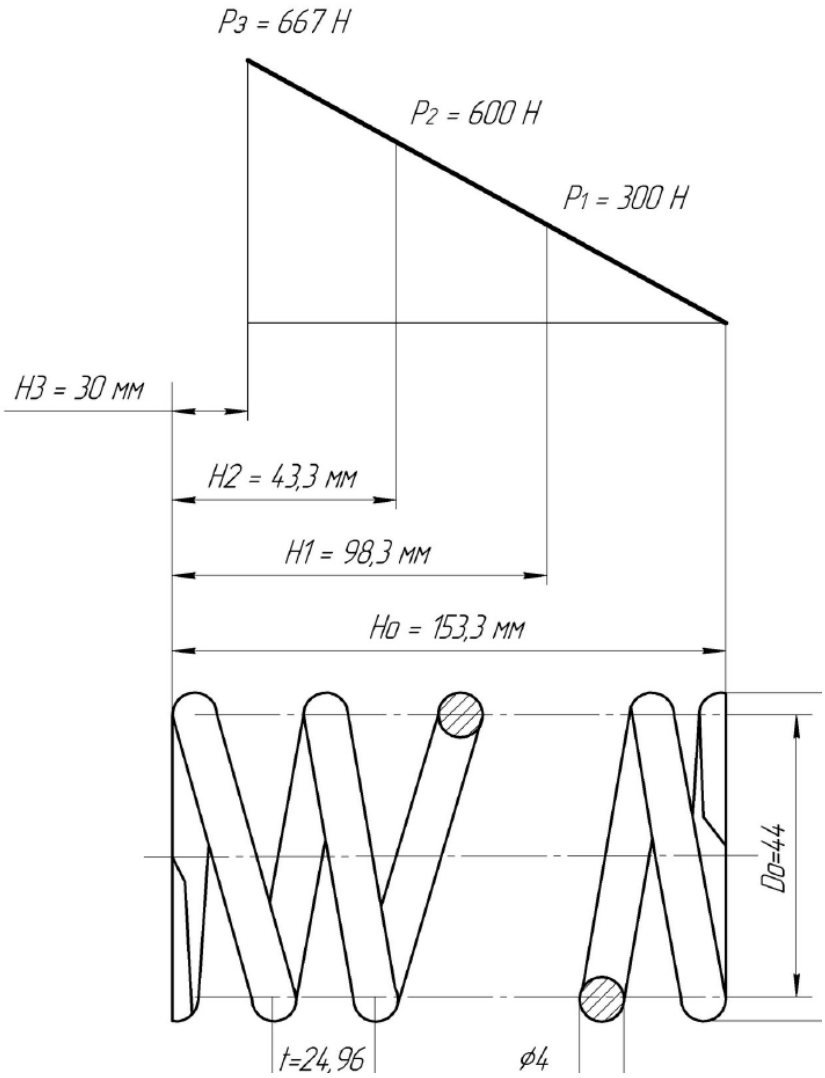


Рис. 3.3. Розрахункова схема пружини стиску пристосування.

Кількість робочих витків визначаємо через відношення жорсткості одного витка до загальної жорсткості пружини:

$$n = z_1 / z. \quad (3.7)$$

$$n = 29{,}719 / 5{,}45 = 5{,}5.$$

Одержане значення округлюємо до більшого цілого і приймаємо n = 6 робочих витків. Повна кількість витків з урахуванням опорних становить:

$$n_1 = n + n_2, \quad (3.8)$$

$$n_1 = 6 + 2 = 8 \text{ витків.}$$

Середній діаметр пружини визначаємо як різницю між зовнішнім діаметром і діаметром дроту:

$$D_0 = D – d. \quad (3.9)$$

$$D0 = 48 – 4 = 44 \text{ мм}.$$

Індекс пружини дорівнює:

$$c = D_0 / d. \quad (3.10)$$

$$c = 44 / 4 = 11.$$

Попередня, робоча і максимальна деформації пружини визначаються через відповідні значення сили та жорсткості:

$$F_1 = P_1 / z; \quad F_2 = P_2 / z; \quad F_3 = P_3 / z. \quad (3.11–3.13)$$

$F_1 = 300 / 5{,}45 = 55{,}0$ мм; $F_2 = 600 / 5{,}45 = 110{,}0$ мм; $F_3 = 667 / 5{,}45 = 122{,}3$ мм.

Висоту пружини за максимальної деформації приймаємо за виразом:

$$H_3 = (n1 + 1 – n3) \cdot d, \quad (3.14)$$

де n3 – кількість зашліфованих витків; приймаємо n3 = 1,5.

$$H3 = (8 + 1 – 1{,}5) \cdot 4 = 30 \text{ мм}.$$

Висота пружини у вільному стані дорівнює сумі висоти за максимальної деформації і максимальної деформації:

$$H0 = H3 + F3. \quad (3.15)$$

$$H0 = 30 + 122{,}3 = 153{,}3 \text{ мм}.$$

Висоти пружини за попереднього та робочого навантаження становлять:

$$H1 = H0 – F1; \quad H2 = H0 – F2. \quad (3.16–3.17)$$

$H1 = 153{,}3 – 55{,}0 = 98{,}3$ мм; $H2 = 153{,}3 – 110{,}0 = 43{,}3$ мм.

Отримані значення підтверджують можливість застосування пружини із заданими геометричними параметрами у конструкції пристосування. Вона забезпечує необхідний діапазон притискних сил, має достатню кількість робочих витків і дозволяє реалізувати регулювання тиску роликів на поверхню деталі. При складанні вузла необхідно передбачити надійне центрування пружини, обмеження перекосу штока та зручний доступ до регулювальної цапфи.

Таблиця 3.2 – Основні розрахункові параметри пружини пристосування

Параметр	Позначення	Значення
Сила при попередній деформації	P1	300 Н
Сила при робочій деформації	P2	600 Н
Сила при максимальній деформації	P3	667 Н
Робочий хід штока	h	55 мм
Зовнішній діаметр пружини	D	48 мм
Діаметр дроту	d	4 мм
Середній діаметр	D0	44 мм
Індекс пружини	c	11
Кількість робочих витків	n	6
Повна кількість витків	n1	8
Висота у вільному стані	H0	153,3 мм
Висота при робочій деформації	H2	43,3 мм

Для підвищення довговічності пружного вузла доцільно виконати захист пружини від забруднення абразивними частинками, які можуть потрапляти в зону роботи під час обробки деталей сільськогосподарських машин. Також варто періодично перевіряти фактичну силу стискання, оскільки тривала робота за підвищеної температури може спричиняти втрату пружних властивостей.

Висновки по розділу

У розділі обґрунтовано доцільність застосування електромеханічної обробки для відновлення і зміцнення деталей машинно-тракторного парку. Показано, що значна частина деталей після експлуатації має невеликий знос робочих поверхонь, тому їх повторне використання після раціонального відновлення є технічно та економічно виправданим.

Розглянуто сутність електромеханічної обробки як процесу, що поєднує локальний контактний нагрів струмом великої сили і пластичне деформування поверхні твердосплавним інструментом. Така технологія дає можливість підвищити твердість і зносостійкість поверхневого шару,

поліпшити шорсткість і збільшити опорну площу без значного нагрівання всього об’єму деталі.

Проаналізовано типові схеми обладнання для ЕМО та встановлено, що для ремонтних умов доцільно використовувати серійні металорізальні верстати у поєднанні з низьковольтним трансформаторним джерелом великого струму і спеціальною інструментальною державкою. Особливу увагу приділено двоконтактній схемі, яка забезпечує накладання теплових потоків від двох роликів і сприяє формуванню глибшого зміцненого шару.

Запропоновано конструкцію пристосування для електромеханічної обробки, що включає корпус, вісь, ізолюючі втулки та прокладки, два твердосплавні ролики, контактний вузол, підшипникові опори, пружину і регулювальну цапфу. Конструкція забезпечує теплостійкість робочих елементів, регулювання притискного зусилля, надійний електричний контакт і зменшення зношування рухомих вузлів.

Виконано розрахунок пружини стиску, яка формує притискне зусилля роликів. За прийнятими вихідними даними визначено максимальну силу P3 = 667 Н, жорсткість z = 5,45 Н/мм, кількість робочих витків n = 6, повну кількість витків n1 = 8, середній діаметр D0 = 44 мм, висоту у вільному стані H0 = 153,3 мм та висоту за робочої деформації H2 = 43,3 мм. Отримані параметри підтверджують працездатність пружного вузла пристосування.

Розроблене пристосування може бути використане у ремонтній майстерні як елемент технологічного процесу відновлення деталей, що працюють в умовах тертя та абразивного зношування. Його впровадження сприятиме підвищенню довговічності відремонтованих деталей, зменшенню витрат на запасні частини та розширенню технологічних можливостей технічного сервісу машинно-тракторного парку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності організації технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства з розробкою пристосування для електромеханічної обробки деталей. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення високої технічної готовності сільськогосподарської техніки, зменшення простоїв у періоди виконання основних польових робіт, скорочення витрат на ремонт і впровадження ресурсозберігаючих технологій відновлення деталей машин.

У першому розділі було обґрунтовано організацію та проектування процесу технічного сервісу машинно-тракторного парку для аграрного підприємства площею 4000 га. Підібрано сучасний склад техніки, який включає енергонасичені трактори, зернозбиральні комбайни, посівні комплекси, ґрунтообробні агрегати, обприскувачі, розкидачі добрив, транспортні засоби та допоміжне обладнання. Виконано розрахунок трудомісткості технічного обслуговування і ремонту машин, що дало змогу визначити річний обсяг ремонтно-обслуговувальних робіт та оцінити завантаження машинно-ремонтної майстерні. Складений графік завантаження майстерні показав необхідність раціонального розподілу ремонтних робіт протягом року, особливо у міжсезонний період, коли виконується основна частина підготовки техніки до польових робіт.

У роботі також розглянуто можливість роботизації процесів зварювання та наплавлення у ремонтній майстерні. Запропоновано використання зварювального робота для виконання однотипних операцій відновлення деталей, що дає змогу підвищити продуктивність праці, стабільність якості зварних і наплавлених шарів, зменшити вплив людського фактора та покращити умови праці ремонтного персоналу. Впровадження роботизованих технологій є перспективним напрямом модернізації ремонтної бази аграрних підприємств.

У другому розділі досліджено сутність та фізико-механічні основи електромеханічної обробки деталей. Встановлено, що цей процес ґрунтується на одночасній дії контактного електричного нагрівання та пластичного деформування поверхневого шару інструментом. У результаті такої обробки в поверхневому шарі деталі відбуваються структурні перетворення, підвищується мікротвердість, зменшується шорсткість, формується сприятливий напружений стан і покращуються експлуатаційні властивості робочої поверхні. Особливу увагу приділено впливу електромеханічної обробки на триботехнічні характеристики: зниження коефіцієнта тертя, зменшення інтенсивності зношування, покращення припрацьовуваності та підвищення довговічності спряжених деталей.

У конструктивній частині роботи запропоновано пристосування для електромеханічної обробки деталей, яке може використовуватися в умовах машинно-ремонтної майстерні. Конструкція пристосування передбачає застосування робочих роликів, через які до поверхні деталі підводиться електричний струм і створюється необхідне контактне зусилля. Особливістю запропонованого рішення є можливість інтенсивного формування зміцненого поверхневого шару за рахунок поєднання теплової та механічної дії на оброблювану поверхню. Проведені розрахунки основних елементів конструкції підтверджують працездатність запропонованого пристосування та можливість його практичного застосування для відновлення зношених деталей.

Отже, у роботі вирішено поставлені завдання щодо організації технічного сервісу машинно-тракторного парку, обґрунтування ремонтно-обслуговувальної бази та розробки пристосування для електромеханічної обробки деталей. Запропоновані рішення сприяють підвищенню коефіцієнта технічної готовності машин, зменшенню витрат на придбання нових запасних частин, скороченню простоїв техніки та підвищенню ефективності роботи аграрного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коновалюк О. В., Кіяшко В. М., Колісник М. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2013. 404 с.

2. Ремонт машин та обладнання : підручник / за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. Київ : Агроосвіта, 2014. 665 с.

3. Надійність машин та обладнання : навч. посіб. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей / З. В. Ружило та ін. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 310 с.

4. Швець Л. В., Паладійчук Ю. Б., Труханська О. О. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2019. 648 с.

5. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / М. А. Ружицький, В. І. Рябець, В. М. Кіяшко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2010. 617 с.

6. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. / А. С. Лімонт, І. І. Мельник, А. С. Малиновський та ін. ; за ред. І. І. Мельника. Київ : Кондор, 2004. 284 с.

7. Борак К. В., Ткачук Б. М., Торгонський В. С. Перспективи розвитку технічного сервісу МТП в АПК. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України. С. 61-62.

8. Ільченко В. Ю. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. Київ : Урожай, 1993. 172 с.

9. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / К. В. Бечке, О. В. Кулик, С. В. Манжеліївський, М. М. Убизький, А. Г. Фесенко, В. В. Хуторний. Дніпро : РВВ ДНУ, 2015. 104 с.

10. Дерефінка І. С. Стан і аналіз сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2007. С. 18–24.

11. Ідан А. Ф. І. Технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин із застосуванням комбінованих методів локального зміцнення поверхонь : дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2019.

12. Marchenko D. D., Matvyeyeva K. S. Study of Wear Resistance of Cylindrical Parts by Electromechanical Surface Hardening. Problems of Tribology. 2024. Vol. 111, No. 1. P. 25–31. DOI: 10.31891/2079-1372-2024-111-1-25-31.

13. Bhushan B. Introduction to Tribology. 2nd ed. Chichester : John Wiley & Sons, 2013. 711 p.

14. Holmberg K., Matthews A. Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2009. 560 p.

15. Davis J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Materials Park : ASM International, 2001. 279 p.

16. Totten G. E. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2006. 848 p.

17. Kou S. Welding Metallurgy. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2003. 466 p.

18. Cary H. B., Helzer S. C. Modern Welding Technology. 6th ed. Upper Saddle River : Pearson Education, 2005. 720 p.

19. John Deere 8R 410 Tractor. John Deere : офіційний сайт. URL: https://www.deere.com/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/8r-410-tractor/ (дата звернення: 24.06.2026).

20. CLAAS LEXION 8000 / 7000 Combine Harvesters. CLAAS : офіційний сайт. URL: https://www.claas.com/en-gr/agricultural-machinery/combine-harvesters/lexion-8000 (дата звернення: 24.06.2026).

21. HORSCH Pronto 9 DC. HORSCH : офіційний сайт. URL: https://www.horsch.com/en/products/seeding-technology/disc-seed-drills/pronto-9-dc (дата звернення: 24.06.2026).

22. ZG-TS trailed spreader. AMAZONE : офіційний сайт. URL: https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/fertilising-technology/trailed-spreader/zg-ts-trailed-spreader-51316 (дата звернення: 24.06.2026).

23. ARC Mate 100iD/10L. FANUC America : офіційний сайт. URL: https://www.fanucamerica.com/products/robot/arc-mate-100id-10l (дата звернення: 24.06.2026).

24. FANUC ARC Mate 100iD Arc Welding Robot. FANUC Europe : офіційний сайт. URL: https://www.fanuc.eu/eu-en/product/robot/arc-mate-100id (дата звернення: 24.06.2026).

25. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.