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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Мельник Руслан Петрович

УДК 631.3.004.67:631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Організація технічного сервісу машинно-тракторного парку з розробкою обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин

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 _____ Мельник Р.П.

Керівник роботи
Міненко С.В.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Мельник Руслан Петрович. Організація технічного сервісу машинно-тракторного парку з розробкою обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин. *– 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 обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин. Обґрунтовано актуальність теми, яка пов'язана з необхідністю підвищення надійності сільськогосподарської техніки, зменшення простоїв у напружені періоди польових робіт та скорочення витрат на ремонт і технічне обслуговування. Для проектного аграрного підприємства зони Полісся площею 4500 га підібрано сучасний склад машинно-тракторного парку, який забезпечує виконання основних технологічних операцій у встановлені агротехнічні строки. Виконано розрахунок параметрів машинно-ремонтної майстерні, визначено трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів машин, а також складено графік завантаження майстерні протягом року. Проаналізовано існуючі технології та обладнання для відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема механічну обробку, зварювання, наплавлення, твердосплавне зміцнення, лазерне відновлення та роботизовані ремонтні комплекси. Особливу увагу приділено технічному обслуговуванню ґрунтообробних машин, дефектації їх робочих органів, контролю геометричних параметрів, очищенню, мащенню та підготовці машин до зберігання. У конструктивній частині запропоновано обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин, яке забезпечує точне базування деталей, надійне затискання та підвищення продуктивності ремонтних операцій. Запропоновані технічні й організаційні рішення спрямовані на підвищення ресурсу робочих органів, поліпшення умов праці ремонтного персоналу, автоматизацію сервісних процесів та підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку підприємства.

Ключові слова: машинно-тракторний парк; технічний сервіс; машинно-ремонтна майстерня; ґрунтообробні машини; робочі органи; відновлення деталей.

ANNOTATION

Ruslan Petrovich Melnyk. Organisation of technical maintenance for the machinery and tractor fleet, including the development of equipment for repairing the working parts of soil-tilling machines. *– 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 thesis examines the organisation of technical servicing for the machinery and tractor fleet of an agricultural enterprise, including the development of equipment for repairing the working parts of soil-tilling machines. The relevance of the topic is justified by the need to improve the reliability of agricultural machinery, minimise downtime during peak periods of field work, and reduce repair and maintenance costs. For the model agricultural enterprise in the Polissya region, covering an area of 4,500 hectares, a modern fleet of machinery and tractors has been selected, which ensures that key agricultural operations are carried out within the established agronomic timeframes. The parameters of the machinery repair workshop have been calculated, the labour intensity of machine maintenance and repairs has been determined, and a workload schedule for the workshop throughout the year has been drawn up. Existing technologies and equipment for the restoration of working parts of soil-tilling machinery have been analysed, including mechanical machining, welding, surfacing, carbide hardening, laser restoration and robotic repair systems. Particular attention has been paid to the maintenance of soil-tilling machinery, the detection of defects in their working parts, the control of geometric parameters, cleaning, lubrication and the preparation of machinery for storage. The design section proposes equipment for the repair of working parts of soil-tilling machines, which ensures precise positioning of components, secure clamping and increased productivity of repair operations. The proposed technical and organisational solutions are aimed at extending the service life of working parts, improving working conditions for repair staff, automating service processes and increasing the efficiency of the enterprise’s machinery and tractor fleet.

Keywords: machinery and tractor fleet; technical service; machine repair workshop; soil-tilling machines; working parts; component refurbishment.

ЗМІСТ

ВСТУП…….…….5
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН……...9
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ І РЕМОНТУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ……..……..23
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН……33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……...…43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..……...45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ефективне функціонування сучасного аграрного підприємства значною мірою залежить від технічного стану машинно-тракторного парку, своєчасності проведення технічного обслуговування, якісного ремонту та раціональної організації роботи ремонтної служби. У сільськогосподарському виробництві особливе місце займають ґрунтообробні машини, оскільки саме вони забезпечують підготовку ґрунту до сівби, збереження вологи, знищення бур'янів, формування оптимальної структури орного шару та створення сприятливих умов для росту і розвитку сільськогосподарських культур. Робочі органи плугів, культиваторів, дискових борін, глибокорозпушувачів та інших ґрунтообробних агрегатів працюють у складних умовах інтенсивного абразивного зношування, ударних навантажень, контакту з твердими включеннями ґрунту та змінної вологості. Унаслідок цього відбувається зменшення їх геометричних розмірів, погіршення якості обробітку ґрунту, збільшення тягового опору, витрат палива та собівартості виконання механізованих робіт.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення надійності машинно-тракторного парку аграрних підприємств, скорочення простоїв техніки в напружені періоди польових робіт та зниження витрат на придбання нових запасних частин. Для підприємств зони Полісся, де ґрунтово-кліматичні умови характеризуються підвищеною вологістю, різною гранулометричною будовою ґрунтів і значним навантаженням на ґрунтообробні агрегати, питання своєчасного ремонту та відновлення робочих органів має важливе виробниче значення. Раціонально організована машинно-ремонтна майстерня дає змогу виконувати технічне обслуговування, діагностування, дефектацію, відновлення та зберігання машин безпосередньо в господарстві, що підвищує оперативність ремонтного забезпечення і зменшує залежність від сторонніх сервісних організацій.

Важливим напрямом удосконалення технічного сервісу є впровадження сучасних технологій відновлення деталей, зокрема зварювання, наплавлення, механічної обробки, зміцнення робочих поверхонь, використання твердосплавних матеріалів, автоматизованих засобів контролю та роботизованих ремонтних комплексів. Застосування спеціального обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин дозволяє забезпечити точне базування деталей, надійне закріплення під час виконання ремонтних операцій, підвищити якість відновлення та зменшити трудомісткість робіт. Це особливо важливо для аграрних підприємств із великими площами обробітку, де обсяг технічного обслуговування і ремонту машин є значним та потребує чіткої організації.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування організації технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства та розробка обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин, що забезпечує підвищення ефективності ремонтно-обслуговувальних робіт.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання: підібрати склад сучасного машинно-тракторного парку для проектного аграрного підприємства зони Полісся площею 4500 га; виконати розрахунок параметрів машинно-ремонтної майстерні; визначити трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів машин; скласти графік завантаження майстерні протягом року; проаналізувати існуючі технології та обладнання для відновлення робочих органів ґрунтообробних машин; розглянути порядок технічного обслуговування та підготовки ґрунтообробних машин до зберігання; запропонувати заходи з автоматизації та роботизації ремонтних процесів; розробити конструкцію обладнання для ремонту робочих органів і виконати необхідні розрахунки його основних елементів.

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

Предметом дослідження є організаційно-технологічні рішення з обслуговування, ремонту та відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, а також конструктивні параметри обладнання для їх ремонту.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використано методи аналізу виробничих умов експлуатації техніки, розрахунку трудомісткості ремонтно-обслуговувальних робіт, порівняння технологій відновлення деталей, конструктивного обґрунтування елементів обладнання та узагальнення практичного досвіду організації технічного сервісу в аграрних підприємствах. Розрахункова частина роботи спрямована на визначення потреби в ремонтних роботах, раціонального завантаження майстерні та обґрунтування технічних параметрів запропонованого пристосування.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Герасимчук Д.В., Грудовий Р.С., Олійник А.В., Мельник Р.П. Підвищення надійності робочих органів ґрунтообробних машин методами зміцнення та наплавлення. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 107-110.

2. Грабар І. Г., Міненко С. В., Бистрицький Б. П., Мельник Р. П., Кузнєцов А. А. Особливості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 119-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 19-20 лют. 2026 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2026.Особливості зношування шин сільськогосподарської техніки. С. 90-91.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані організаційні й технічні рішення можуть бути використані для підвищення ефективності роботи машинно-ремонтної майстерні аграрного підприємства,

поліпшення якості ремонту ґрунтообробних машин, скорочення витрат на запасні частини та продовження ресурсу робочих органів. Упровадження розробленого обладнання сприятиме підвищенню продуктивності ремонтних операцій, покращенню умов праці ремонтного персоналу та забезпеченню своєчасної підготовки техніки до виконання польових робіт.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 32 найменування. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп’ютерного тексту, містить 6 рисунків, 17 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАШИННО-РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

1.1. Вихідні умови проєктування та особливості роботи МТП у зоні Полісся

Проєктне аграрне підприємство розміщене в зоні Полісся і має 4500 га сільськогосподарських угідь. Для цієї зони характерні підвищена зволоженість, строката гранулометрична будова ґрунтів, наявність дерново-підзолистих і супіщаних ґрунтів, а також порівняно короткі агротехнічні строки виконання польових робіт. Тому машинно-тракторний парк повинен забезпечувати швидке виконання основного та передпосівного обробітку, мінімізацію ущільнення ґрунту, високу ремонтопридатність і можливість оперативного сервісу без тривалого простою техніки.

Під час проєктування приймаємо, що підприємство вирощує зернові, олійні та зернобобові культури, а система обробітку ґрунту є комбінованою. На частині площ застосовується оранка для загортання післяжнивних решток і зниження забур’яненості, на інших площах - глибоке розпушування, дискування, стерньовий обробіток та передпосівне вирівнювання. Такий підхід відповідає умовам Полісся, де необхідно поєднувати збереження вологи, руйнування ущільнених шарів, підтримання структури ґрунту та зменшення експлуатаційних витрат.

Орієнтовну структуру посівних площ прийнято такою: озима пшениця - 1200 га, кукурудза на зерно – 1000 га, соя – 850 га, озимий ріпак – 450 га, ярий ячмінь та овес – 350 га, гречка – 250 га, кормові й покривні культури – 400 га. Така структура забезпечує рівномірніше завантаження техніки протягом року, але створює підвищені вимоги до надійності ґрунтообробних агрегатів, оскільки саме вони працюють у найважчих умовах і мають значну кількість швидкозношуваних робочих органів.

Мета розрахунку цього розділу полягає у визначенні раціонального складу техніки, обсягу робіт з технічного обслуговування та ремонту, чисельності ремонтного персоналу, площі машинно-ремонтної майстерні, а також у формуванні графіка її завантаження. Окрему увагу приділено технічному обслуговуванню ґрунтообробних машин і підготовці їх до зберігання, оскільки від стану лап, лемешів, доліт, дисків, стійок, підшипникових вузлів та гідросистем залежить якість обробітку ґрунту і своєчасність польових робіт.

Таблиця 1.1 – Орієнтовна структура посівних площ проєктного підприємства

Культура або група культур	Площа, га	Основні вимоги до обробітку ґрунту
Озима пшениця	1200	Післяжнивне лущення, основний або мінімальний обробіток, передпосівна підготовка
Кукурудза на зерно	1000	Глибоке розпушування, дискування стерні, локальний передпосівний обробіток
Соя	850	Мілкий та середній обробіток, вирівнювання посівного ложа
Озимий ріпак	450	Швидке закриття вологи, якісне подрібнення решток, передпосівний обробіток
Ярий ячмінь, овес	350	Ранньовесняне закриття вологи, культивація, коткування
Гречка	250	Боротьба з бур’янами, повторні культивації, передпосівне вирівнювання
Кормові та покривні культури	400	Комбінований поверхневий обробіток, підготовка площ після збирання
Разом	4500	Комплексна система основного, поверхневого і передпосівного обробітку

1.2. Підбір сучасної техніки для проєктного аграрного підприємства

Для господарства площею 4500 га доцільно формувати парк за модульним принципом: високопродуктивні енергозасоби виконують основні тягові операції, трактори середнього класу агрегатуються з сівалками, обприскувачами, розкидачами та транспортними агрегатами, а універсальні трактори забезпечують допоміжні роботи, внутрішньогосподарське перевезення, обслуговування тваринницьких або складських об’єктів, а також маневрові операції в майстерні. Підбір техніки виконано з урахуванням потреб зони Полісся, де важливими є прохідність, ширина шин або наявність

гусеничних рушіїв, якісне копіювання рельєфу, точність налаштувань і доступність сервісу.

Сучасні енергозасоби мають бути обладнані автопілотами, GPS/RTK-навігацією, телематикою, системами контролю витрати пального і електронним обліком напрацювання. Для ґрунтообробних машин перевагу слід надавати конструкціям із швидкозмінними робочими органами, захистом стійок від перевантаження, якісними підшипниковими вузлами та можливістю зміни глибини обробітку без складного ручного переналаштування. Підібраний парк наведено в таблиці 1.2.

Запропонований склад техніки дозволяє розподілити польові роботи між кількома технологічними ланками. Дві високопотужні одиниці використовуються для енергоємних операцій, три трактори середнього класу забезпечують широкозахватні агрегати та посівні комплекси, а універсальні трактори підтримують поточні роботи. Наявність кількох типів ґрунтообробних машин зменшує залежність господарства від одного способу обробітку й дає змогу адаптувати технологію до вологості ґрунту, попередника та стану поля.

Для машинно-ремонтної майстерні особливо важливо враховувати кількість робочих органів, що зношуються. На плугах це лемеші, польові дошки, долота, груди полиць; на культиваторах - лапи, долота, стійки, пружинні елементи; на дискових боронах - диски, ступиці, підшипники, ущільнення; на комбінованих агрегатах - лапи, диски, котки, чистики, пальці та втулки. Саме для цієї групи машин необхідно передбачити окремий пост ремонту і відновлення робочих органів, що пов’язує перший розділ з конструктивною частиною роботи.

Таблиця 1.2 – Рекомендований склад машинно-тракторного парку для 4500 га

Група техніки	Приклад сучасної моделі	Кількість, од.	Призначення в господарстві
Трактор тягового класу 370-410 к.с.	John Deere 8R 410 або аналог	2	Оранка, глибоке розпушування, агрегати 5-7 м, важкі дискові борони
Трактор 280-320 к.с.	CLAAS AXION 870/930, Fendt 930 або аналог	3	Передпосівні комплекси, культиватори 6-8 м, транспорт із перевантажувачами
Трактор 150-220 к.с.	Case IH Puma, New Holland T7 або аналог	4	Сівба, внесення добрив, дискування, допоміжний обробіток
Універсальний трактор 80-130 к.с.	МТЗ/Deutz-Fahr/New Holland середнього класу	4	Обслуговування складів, причепи, легкі агрегати, роботи в майстерні
Зернозбиральний комбайн	CLAAS LEXION 7700, John Deere S770 або аналог	3	Збирання зернових, ріпаку, сої та кукурудзи з відповідними жатками
Самохідний обприскувач	AMAZONE Pantera 4504 або аналог	1	Захист рослин на великих площах, диференційоване внесення препаратів
Мінеральний розкидач	AMAZONE ZA-TS/ZG-TS або аналог	2	Основне та підживлювальне внесення добрив
Сівалка зернова	Horsch Pronto, Väderstad Rapid або аналог	2	Високопродуктивна сівба зернових, ріпаку, сої
Сівалка точного висіву	Väderstad Tempo, Horsch Maestro або аналог	2	Сівба кукурудзи, соняшнику, сої
Плуг оборотний	LEMKEN Juwel 8, 5-7 корпусів	3	Основний обробіток на площах, де потрібне загортання решток
Культиватор важкий	HORSCH Terrano 5-7 FM або аналог	3	Стерньовий обробіток, глибоке розпушування, перемішування решток
Комбінований культиватор	Väderstad TopDown 500/600 або аналог	2	Один прохід: диски, лапи, вирівнювання та ущільнення
Дискова борона	LEMKEN Rubin, Väderstad Carrier або аналог	4	Лущення стерні, заробка решток, передпосівний обробіток
Глибокорозпушувач	BEDNAR Terraland або аналог	2	Руйнування плужної підошви, відновлення водопроникності
Причепи, перевантажувачі, навантажувачі	зерновози, телескопічний навантажувач	10	Транспорт, логістика, завантаження, обслуговування майстерні

1.3. Розрахунок річної трудомісткості технічного обслуговування і ремонтів

Річна програма робіт машинно-ремонтної майстерні формується на основі кількості машин, їхнього планового напрацювання, нормативної трудомісткості технічного обслуговування, поточних ремонтів, діагностування, регулювальних робіт і непередбачених відмов. Для проєктного розрахунку прийнято укрупнений метод, який широко застосовують на стадії обґрунтування

параметрів ремонтної бази. Він дає змогу визначити не тільки загальну трудомісткість, а й розподіл робіт за групами машин.

Загальну трудомісткість робіт визначаємо за формулою:

$$T_{заг} = \Sigma(n_i \cdot ti) + Тдод, \text{ люд.-год}, \quad (1.1)$$

де n_i – кількість машин і-ї групи, од.; t_i – річна трудомісткість технічного обслуговування, поточних ремонтів і діагностування однієї машини, люд.-год; $T_{дод}$ – додаткові роботи, пов’язані з усуненням випадкових відмов, ремонтом оснащення, виготовленням нескладних деталей і організаційними витратами часу.

Для ґрунтообробних машин прийнято підвищену питому трудомісткість, оскільки їхні робочі органи контактують із абразивним ґрунтовим середовищем, зазнають ударних навантажень, працюють у вологих умовах і потребують частішої дефектації. У таблиці 1.3 наведено розрахунок річної трудомісткості для прийнятого складу МТП.

За результатами розрахунку річна трудомісткість робіт машинно-ремонтної майстерні становить 7100 люд.-год. Найбільша частка робіт припадає на ґрунтообробні машини, трактори і зернозбиральні комбайни. Це пояснюється тим, що ґрунтообробні агрегати мають значну кількість елементів, які працюють у зоні інтенсивного абразивного зношування, а трактори і комбайни є складними машинами з гідравлічними, електронними та механічними системами, що потребують регулярної діагностики.

Частка робіт із ґрунтообробними машинами становить 1500 люд.-год, або близько 21 % від усієї програми майстерні. Тому в структурі майстерні необхідно передбачити не тільки універсальні ремонтні пости, а й спеціалізоване місце для дефектації, правлення, наплавлення, заміни та складання робочих органів. Це зменшить витрати на закупівлю нових деталей і підвищить готовність агрегатів до роботи в короткі агротехнічні строки.

Таблиця 1.3 – Розрахунок річної трудомісткості ТО і ремонтів МТП

Група машин	К-ть, од.	ТО	Поточний ремонт	Діагностика	Разом на 1 од.	Разом, люд.-год
Трактори 370-410 к.с.	2	95	145	20	260	520
Трактори 280-320 к.с.	3	85	125	18	228	684
Трактори 150-220 к.с.	4	65	85	15	165	660
Універсальні трактори 80-130 к.с.	4	45	70	10	125	500
Зернозбиральні комбайни	3	105	175	25	305	915
Самохідний обприскувач	1	70	100	20	190	190
Сівалки зернові та точного висіву	4	65	85	10	160	640
Ґрунтообробні машини	15	40	55	5	100	1500
Причепи, перевантажувачі	8	20	25	5	50	400
Навантажувачі та допоміжна техніка	2	55	70	15	140	280
Разом основна трудомісткість	-	-	-	-	-	6289
Додаткові та непередбачені роботи (≈13 %)	-	-	-	-	-	811
Усього по майстерні	-	-	-	-	-	7100

1.4. Визначення чисельності персоналу та площі машинно-ремонтної майстерні

Необхідну чисельність виробничих працівників визначаємо за річним фондом робочого часу одного слюсаря-ремонтника. Для проєктного розрахунку приймаємо 248 робочих днів на рік, тривалість зміни 8 год, коефіцієнт використання робочого часу 0,86. Тоді ефективний річний фонд часу одного працівника становить:

$$F_р = 248 \cdot 8 \cdot 0{,}86 = 1706 \text{ люд.-год.} \quad (1.1)$$

Кількість основних ремонтних працівників:

$$P = T_{заг} / F_р = 7100 / 1706 = 4{,}16 \text{ особи.} \quad (1.2)$$

Отже, для стабільної роботи майстерні приймаємо 5 основних працівників: слюсаря з ремонту тракторів і самохідних машин, слюсаря з ремонту ґрунтообробних машин, електрика-діагноста, зварника-наплавлювальника та майстра-налагоджувальника. У пікові періоди доцільно залучати механізаторів, які працюють на конкретних агрегатах, оскільки вони добре знають характер відмов і можуть виконувати частину підготовчих робіт: миття, розбирання, очищення, заміну простих деталей, мастильні роботи.

Площу майстерні визначаємо з урахуванням кількості постів, габаритів техніки, проходів, зон безпеки, складів, побутових і допоміжних приміщень. Для підприємства площею 4500 га майстерня повинна мати щонайменше два універсальні ремонтні пости, окремий пост діагностування, пост ремонту робочих органів, зварювально-наплавлювальну дільницю, механічну дільницю, інструментальну, склад запасних частин і майданчик для миття.

Таблиця 1.4 – Орієнтовний склад і площа приміщень машинно-ремонтної майстерні

Дільниця або зона	Кількість / характеристика	Площа, м²
Універсальні ремонтні пости для тракторів і агрегатів	2 пости	200
Діагностично-регулювальний пост	1 пост	60
Дільниця ремонту робочих органів ґрунтообробних машин	1 дільниця	70
Зварювально-наплавлювальна дільниця	1 дільниця	36
Механічна дільниця з верстатами	1 дільниця	48
Інструментальна та комора оснастки	1 приміщення	24
Склад запасних частин і витратних матеріалів	1 приміщення	60
Мийний майданчик та зона очищення	1 зона	72
Побутові, адміністративні та санітарні приміщення	комплекс	40
Разом орієнтовна площа	-	610

Орієнтовна виробничо-допоміжна площа майстерні становить 610 м². Така площа забезпечує розміщення габаритних агрегатів, безпечні проходи, можливість роботи мостового крана або консольного підіймача, зберігання змінних робочих органів та виконання ремонтних операцій без перетинання брудних і чистих потоків. Мийний майданчик доцільно розташовувати перед в’їздом у ремонтну зону, щоб зменшити занесення ґрунту, рослинних решток і абразиву до майстерні.

1.5. Графік завантаження майстерні

Роботи в майстерні розподіляються нерівномірно. У зимовий період виконують основні поточні ремонти тракторів, ґрунтообробних машин,

комбайнів і посівної техніки. Навесні переважають передсезонні регулювання, діагностика та контроль готовності агрегатів. У літній період майстерня працює переважно в режимі оперативного сервісу: усунення відмов, заміна швидкозношуваних деталей, контроль гідросистем, підшипників і кріплень. Восени зростає обсяг робіт із підготовки машин до зберігання та відновлення робочих органів після завершення обробітку ґрунту.

Розподіл річної трудомісткості за місяцями виконано з урахуванням сезонності польових робіт і наведено в таблиці 1.5. У графіку прийнято, що основні ремонти концентруються в січні, лютому та листопаді, а в березні виконується передпосівна підготовка техніки. У травні-вересні трудомісткість менша, але роботи мають аварійний характер і повинні виконуватися максимально швидко.

Таблиця 1.5 – Помісячний графік завантаження машинно-ремонтної майстерні

Місяць	Трудомісткість, люд.-год	Потреба у працівниках	Основні види робіт
Січень	900	6.2	Ремонт тракторів, дефектація агрегатів
Лютий	950	6.6	Ремонт ґрунтообробних машин і сівалок
Березень	720	5.0	Передсезонне ТО, регулювання, контроль готовності
Квітень	360	2.5	Оперативне ТО, усунення дрібних відмов
Травень	370	2.6	Сервіс посівної техніки, обприскувача
Червень	420	2.9	Поточне ТО, підготовка до збирання
Липень	470	3.3	ТО комбайнів і транспортної групи
Серпень	520	3.6	Оперативні ремонти під час збирання
Вересень	510	3.5	Післязбиральне ТО, підготовка ґрунтообробних агрегатів
Жовтень	620	4.3	Ремонт робочих органів, підготовка до зберігання
Листопад	820	5.7	Масові ремонтно-відновні роботи
Грудень	520	3.6	Підсумкове ТО, консервація, планування ЗІП

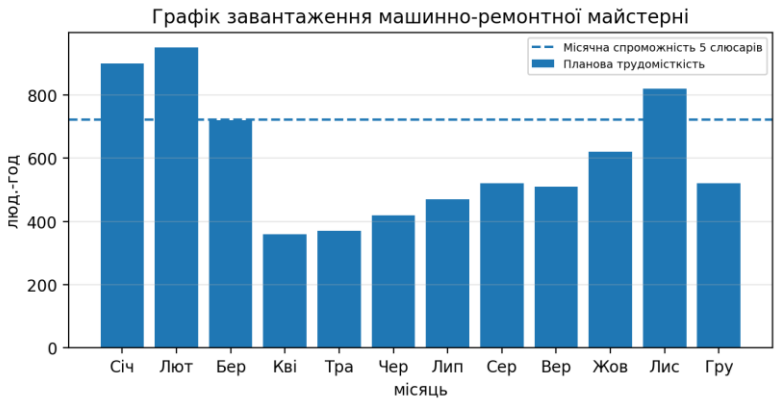


Рис. 1.1. Графік завантаження майстерні протягом року.

З графіка видно, що в січні, лютому та листопаді навантаження перевищує місячну спроможність п’яти постійних ремонтників. Тому на ці періоди доцільно планувати залучення 1-2 механізаторів, укладати договори на окремі сервісні операції зі спеціалізованими дилерськими центрами або переносити частину робіт на грудень. У польовий сезон майстерня має резерв потужності, але він повинен використовуватися для оперативного реагування на відмови, оскільки простій трактора або ґрунтообробного агрегату в короткі агротехнічні строки призводить до значних втрат.

1.6. Організація технічного обслуговування ґрунтообробних машин

Ґрунтообробні машини працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, змінного навантаження і постійного контакту з вологою, ґрунтом та рослинними рештками. Основною особливістю їх технічного обслуговування є необхідність регулярного контролю геометрії робочих органів. Зношення лемешів, лап або дисків змінює глибину обробітку, збільшує тяговий опір, погіршує якість підрізання бур’янів і може спричинити перевитрату пального.

Щозмінне обслуговування виконується після завершення роботи агрегату або перед початком наступної зміни. До нього належать очищення машини від ґрунту і решток, огляд рами, зварних швів і кронштейнів, підтягування різьбових з’єднань, перевірка стану робочих органів, контроль наявності шплінтів і стопорних елементів, огляд гідрошлангів, швидкорознімних муфт, котків, дискових батарей, підшипникових вузлів і коліс. Особливо уважно

перевіряють місця кріплення лап, доліт і дисків, оскільки послаблення кріплення швидко призводить до розбиття отворів і деформації стійок.

Періодичне обслуговування виконують після певного напрацювання або після завершення окремої технологічної операції. Воно включає вимірювання фактичної ширини лемешів, довжини доліт, діаметра дисків, зазорів у шарнірних з'єднаннях, люфтів підшипників, стану ущільнень і ступиць. Якщо зношення робочих органів перевищує допустиме значення, деталі замінюють або відновлюють наплавленням. Для лап культиваторів і доліт глибокорозпушувачів доцільно застосовувати відновлення зносостійким матеріалом на ділянках найбільшого контакту з ґрунтом.

Під час підготовки плугів перевіряють взаємне положення корпусів, кут установлення лемешів, стан польових дощок, передплужників, дискових ножів, механізму перевертання, опорного колеса та гідравліки. Для культиваторів контролюють рівномірність глибини ходу лап, паралельність секцій, стан пружинного або гідрозахисту стійок, затягування болтів і зношення наконечників. Для дискових борін важливими є діаметр дисків, відсутність тріщин, легкість обертання, герметичність підшипникових вузлів, справність чистиків і котків. Для комбінованих агрегатів додатково перевіряють послідовність роботи дисків, лап, вирівнювачів і котків.

Таблиця 1.6 – Основні види технічного обслуговування ґрунтообробних машин

Вид обслуговування	Основні операції	Періодичність
Щозмінне ТО	Очищення, зовнішній огляд, підтягування кріплень, контроль робочих органів, огляд гідросистеми	Після кожної зміни або перед виїздом у поле
Періодичне ТО	Вимірювання зношення лап, лемешів, дисків, перевірка підшипників, втулок, пальців, котків	Після 60-80 год роботи або після завершення операції
Сезонне ТО	Повна дефектація, заміна або відновлення робочих органів, регулювання геометрії, фарбування пошкоджених поверхонь	Після завершення сезону або перед постановкою на зберігання
Передсезонна підготовка	Пробне агрегатування, контроль глибини, перевірка гідравліки, комплектування запасними лапами і болтами	За 10-15 днів до початку польових робіт

1.7. Операції перед постановкою ґрунтообробних машин на зберігання

Підготовка ґрунтообробних машин до зберігання має важливе значення для збереження ресурсу робочих органів і зменшення обсягу передсезонного ремонту. Якщо агрегат залишити забрудненим, волога та залишки ґрунту прискорюють корозію, а приховані тріщини або послаблені з’єднання залишаються невиявленими до початку сезону. У результаті майстерня отримує пікове навантаження саме тоді, коли техніка вже повинна працювати в полі.

Перед постановкою на зберігання агрегат очищають від ґрунту і рослинних решток, миють, просушують, після чого виконують повну дефектацію. Робочі органи з критичним зношенням знімають і передають на дільницю ремонту. Деталі, які можна відновити, наплавляють або правлять; непридатні деталі списують і замінюють новими. Підшипникові вузли перевіряють на люфт, шум, нагрівання і герметичність. Гідроциліндри очищають, штоки змащують консерваційним мастилом, шланги оглядають на тріщини та старіння.

Після ремонту відкриті металеві поверхні покривають консерваційним мастилом або антикорозійним покриттям. Машини встановлюють на тверду основу або спеціальні підставки так, щоб зняти навантаження з шин, котків і робочих органів. Пружини, гідрозахист і натяжні механізми по можливості розвантажують. Для кожного агрегату складають карту дефектації та зберігання, у якій зазначають виконані роботи, залишковий ресурс основних деталей, потребу в запасних частинах і дату наступного огляду.

Таблиця 1.7 – Операції перед постановкою ґрунтообробних машин на зберігання

№	Операція	Зміст виконання
1	Очищення агрегату	Видалити ґрунт, рослинні рештки, налипання на рамі, котках, дисках і лапах
2	Миття та сушіння	Промити агрегат, просушити, не залишати воду в порожнинах і під кожухами
3	Дефектація	Оцінити зношення робочих органів, перевірити тріщини, люфти, кріплення, гідравліку

Продовження таблиці 1.7.

4	Ремонт і відновлення	Замінити непридатні деталі, виконати наплавлення лап, лемешів, доліт, правлення деформованих елементів
5	Консервація	Нанести мастило на відкриті металеві поверхні, захистити штоки гідроциліндрів, різьби і шарніри
6	Постановка на зберігання	Встановити на підставки, розвантажити пружини, закрити електричні роз’єми, оформити карту зберігання

1.8. Автоматизація та роботизація процесів технічного сервісу

Підвищення ефективності машинно-ремонтної майстерні досягається не лише збільшенням кількості працівників, а й упровадженням цифрових, автоматизованих і роботизованих рішень. Для підприємства площею 4500 га доцільно створити електронну систему управління технічним сервісом, у якій кожна машина має цифровий паспорт, історію ремонтів, перелік регламентних операцій, дані про напрацювання, витрату пального, встановлені запасні частини та залишковий ресурс робочих органів.

Першим рівнем автоматизації є впровадження CMMS-системи або електронного журналу технічного сервісу. У такій системі формуються наряди на ремонт, графіки ТО, заявки на запасні частини, акти дефектації та звіти про фактичні витрати часу. Дані з телематики тракторів, комбайнів і обприскувачів дають змогу планувати ТО не за календарем, а за реальним напрацюванням. Це особливо важливо для тракторів, які в різні періоди року виконують роботи різної інтенсивності.

Другим рівнем є автоматизація складу запасних частин. Для лап, лемешів, доліт, дисків, підшипників, болтів, втулок і ущільнень доцільно застосовувати штрихкоди або RFID-мітки. Після видачі деталі система автоматично зменшує залишок і формує попередження про необхідність закупівлі. Такий підхід зменшує ризик простою через відсутність недорогої, але критично важливої деталі.

Для дільниці ремонту робочих органів перспективним є використання напівавтоматичних постів наплавлення з позиціонером, регульованою швидкістю подавання електрода або дроту, локальною витяжкою і шаблонами

для фіксації деталей. Роботизований або координатний маніпулятор може забезпечувати стабільну траєкторію наплавлення лап культиваторів, доліт і лемешів, що підвищує повторюваність якості та знижує втому працівника. Контроль якості можна доповнити машинним зором або шаблоном з цифровим індикатором для вимірювання втрати металу.

Доцільним є також застосування автоматизованої мийної установки високого тиску з оборотним водопостачанням, стаціонарної системи подавання мастил, електронних динамометричних ключів з фіксацією моменту затягування, тепловізора для пошуку перегріву підшипників, ультразвукового або вібраційного контролю вузлів, а також мобільних планшетів для майстрів. У результаті ремонтна служба переходить від реагування на відмову до планово-попереджувального і прогнозного сервісу.

Таблиця 1.8 – Заходи з автоматизації та роботизації процесів технічного сервісу

Захід	Суть упровадження	Очікуваний ефект
Електронний паспорт машини	Історія ТО, ремонти, напрацювання, використані запасні частини	Прозоре планування сервісу і зменшення повторних відмов
CMMS / електронні наряди	Формування заявок, графіків ТО, контроль виконання робіт	Скорочення організаційних втрат часу
Телематика МТП	Передача даних про мотогодини, помилки, витрату пального, місце роботи	ТО за фактичним станом і напрацюванням
RFID/штрихкоди складу ЗІП	Облік лап, лемешів, дисків, підшипників, болтів, мастил	Запобігання простою через нестачу деталей
Напівавтоматичне наплавлення	Позиціонер, шаблони фіксації, стабільна траєкторія наплавлення	Підвищення ресурсу робочих органів
Машинний зір / цифрові шаблони	Оцінка зношення робочих органів за геометричними параметрами	Об’єктивна дефектація і прогноз потреби в ЗІП

Висновки по розділу

У першому розділі обґрунтовано параметри машинно-ремонтної майстерні для аграрного підприємства зони Полісся площею 4500 га. Для забезпечення своєчасного виконання польових робіт запропоновано сучасний машинно-тракторний парк, який включає високопотужні та універсальні

трактори, зернозбиральні комбайни, самохідний обприскувач, сівалки, плуги, культиватори, дискові борони, комбіновані агрегати та допоміжну техніку.

Розрахована річна трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів становить 7100 люд.-год, із яких близько 1500 люд.-год припадає на ґрунтообробні машини. Це підтверджує необхідність створення в майстерні спеціалізованої дільниці для дефектації, ремонту та відновлення робочих органів. За ефективного річного фонду часу 1706 люд.-год на одного працівника прийнято 5 основних ремонтників із можливістю сезонного залучення механізаторів у пікові періоди.

Орієнтовна площа машинно-ремонтної майстерні становить 610 м². У її складі передбачено універсальні ремонтні пости, діагностичну зону, дільницю ремонту робочих органів, зварювально-наплавлювальну та механічну дільниці, склад запасних частин і мийний майданчик. Складений графік завантаження показує, що максимальна потреба в ремонтних роботах припадає на зимово-весняний та осінній періоди, тому планування робіт має виконуватися завчасно.

Для підвищення ефективності технічного сервісу запропоновано впровадити електронні паспорти машин, CMMS-систему, телематику, RFID-облік запасних частин, автоматизовану мийну зону, напівавтоматичне наплавлення робочих органів і цифровий контроль зношення. Реалізація цих заходів дасть змогу зменшити простої техніки, підвищити якість ремонтів і забезпечити готовність ґрунтообробних машин до роботи в оптимальні агротехнічні строки.

РОЗДІЛ 2
ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ І РЕМОНТУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Робочі органи ґрунтообробних машин працюють у найбільш несприятливих умовах машинно-тракторного парку, оскільки безпосередньо взаємодіють із ґрунтовим середовищем, рослинними рештками, камінням і вологою. Для умов зони Полісся характерні легкі та середні за гранулометричним складом ґрунти з підвищеною часткою піщаних фракцій. Саме тому для лемешів, доліт, лап культиваторів, дисків борін, ножів глибокорозпушувачів і передплужників переважає абразивне спрацювання різальних кромок, яке супроводжується втратою геометрії, зменшенням ширини захвату та погіршенням якості обробітку.

Організація ремонту таких деталей у майстерні аграрного підприємства має базуватися не лише на заміні зношених елементів, а й на раціональному поєднанні дефектації, правки, наплавлення, напаювання твердосплавних вставок, механічної обробки та контролю якості. Сучасні виробники зварювальних матеріалів і сервісного обладнання пропонують широкий набір технологій твердого наплавлення, плазмового та лазерного нанесення покриттів, а також роботизованих комплексів. Проте для господарства середнього масштабу вирішальне значення має економічна доцільність, ремонтопридатність, доступність витратних матеріалів і можливість виконання робіт силами власної майстерні.

2.1. Характеристика зношування робочих органів ґрунтообробних машин

Основними факторами, що визначають інтенсивність зношування, є механічний склад ґрунту, його вологість, глибина та швидкість обробітку, форма робочого органу, твердість поверхневого шару, наявність каміння, агресивність добрив і якість попереднього ремонту. За даними сучасних

оглядів, робочі органи дискових і лемішно-культиваторних машин повинні одночасно мати високу стійкість до абразивного зношування та достатню ударну в’язкість, оскільки в ґрунті діють не лише пісок і пил, а й тверді домішки, які здатні викликати відколи або тріщини [1].

Абразивне зношування має вигляд мікрорізання та мікропластичного деформування металу твердими частинками. У зоні різальної кромки виникає поступове заокруглення леза, а на робочій поверхні з’являються борозни, риски та локальні вм’ятини. Якщо кромка втрачає початковий кут загострення, агрегат починає працювати з більшим тяговим опором, погіршується підрізання бур’янів, збільшується витрата пального і навантаження на трактор. Для дисків борін характерним є зменшення діаметра, затуплення крайки та нерівномірне спрацювання по колу.

Таблиця 2.1 – Типові дефекти робочих органів та способи їх усунення

Вид дефекту	Вплив на роботу агрегату	Рекомендований спосіб ремонту
Затуплення різальної кромки	Зростання тягового опору, погіршення підрізання бур’янів	Заточування, наплавлення тонкого шару, контроль кута
Зменшення ширини лапи або лемеша	Нерівномірна глибина обробітку, пропуски між проходами	Наплавлення з відновленням контуру, заміна при критичному спрацюванні
Тріщини та відколи	Ризик руйнування під навантаженням	Вибракування або зварювання з подальшим посиленням лише для малонавантажених зон
Деформація стійки або носка	Порушення кута входження в ґрунт	Правка у пристрої, перевірка шаблоном
Корозія при зберіганні	Ослаблення поверхневого шару та прискорення стартового зношування	Очищення, ґрунтування, консерваційне мастило

2.2. Технології відновлення робочих органів

Відновлення деталей ґрунтообробних машин можна поділити на три групи: механічні операції, зварювально-наплавлювальні процеси та нанесення спеціальних зносостійких покриттів. Механічні операції включають очищення, правку, заточування, свердління, зенкування, шліфування та контроль геометрії. Вони є обов’язковими для будь-якого способу ремонту, але не завжди відновлюють ресурс деталі, якщо метал втрачено у значному обсязі.

Найпоширенішим способом для господарських майстерень є електродугове наплавлення. Воно полягає у нанесенні на спрацьовану ділянку шару металу з підвищеною твердістю та зносостійкістю. Виробники зварювальних матеріалів пропонують електроди, порошкові дроти та матеріали для процесів SMAW, GMAW/MAG, FCAW, SAW і TIG, призначені для роботи в умовах абразивного та ударно-абразивного зношування [2, 3]. Для лап культиваторів і лемешів доцільним є нанесення валиків на носову частину, бічні крила та нижню площину так, щоб покриття формувало самозагострювальний профіль.

Ручне дугове наплавлення покритими електродами має мінімальні вимоги до обладнання і може виконуватися в умовах невеликої майстерні. Його недоліками є залежність якості від кваліфікації зварника, нерівномірність шару та нижча продуктивність. Напівавтоматичне наплавлення порошковим дротом у середовищі захисного газу або самозахисним дротом забезпечує вищу продуктивність, стабільніший профіль валика та кращу повторюваність. Тому саме механізоване наплавлення слід вважати базовою технологією для проектної ремонтної дільниці.

Твердосплавне зміцнення передбачає встановлення пластин або вставок із карбідів вольфраму на найбільш навантажені ділянки. Сучасні заводські зразки лап і наконечників із карбідними елементами використовуються для збереження робочої ширини та глибини протягом усього строку служби; наприклад, виробники ґрунтообробної техніки застосовують карбідні наконечники для підвищення довговічності у важких умовах [8, 9]. Для майстерні це рішення доцільне для дорогих або часто зношуваних деталей, але потребує точного позиціонування вставок, правильного припою чи зварювального матеріалу та контролю відсутності перегріву.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика технологій відновлення.

Технологія	Раціональна область застосування	Вартість впровадження	Переваги	Обмеження
Заточування і правка	Невелике затуплення без втрати маси	Низька	Відновлює геометрію, швидке виконання	Не підвищує ресурс поверхні
Ручне дугове наплавлення ММА	Лемеші, лапи, долота, ножі	Низька-середня	Доступне обладнання, універсальність	Залежність від оператора, невисока продуктивність
Напівавтоматичне FCAW/MAG	Серійне відновлення лап і лемешів	Середня	Стабільний валик, вища продуктивність	Потребує дроту, газу або якісного самозахисного матеріалу
Наплавлення під флюсом SAW	Масивні деталі та прямолінійні ділянки	Середня-висока	Висока продуктивність і рівномірність шару	Обмежена гнучкість для малих деталей складної форми
PTA-плазмове наплавлення	Деталі з високими вимогами до шару	Висока	Дозування порошку, автоматизація, стабільність	Висока ціна обладнання, потреба в підготовці персоналу
Лазерне наплавлення	Точне відновлення дорогих деталей	Дуже висока	Мала зона термічного впливу, низьке перемішування	Економічне лише при високій вартості деталей або великих партіях
Твердосплавні пластини	Носки лап, долота, чизельні робочі органи	Середня-висока	Великий ресурс у піщаних ґрунтах	Потребує якісного кріплення і точного розміщення

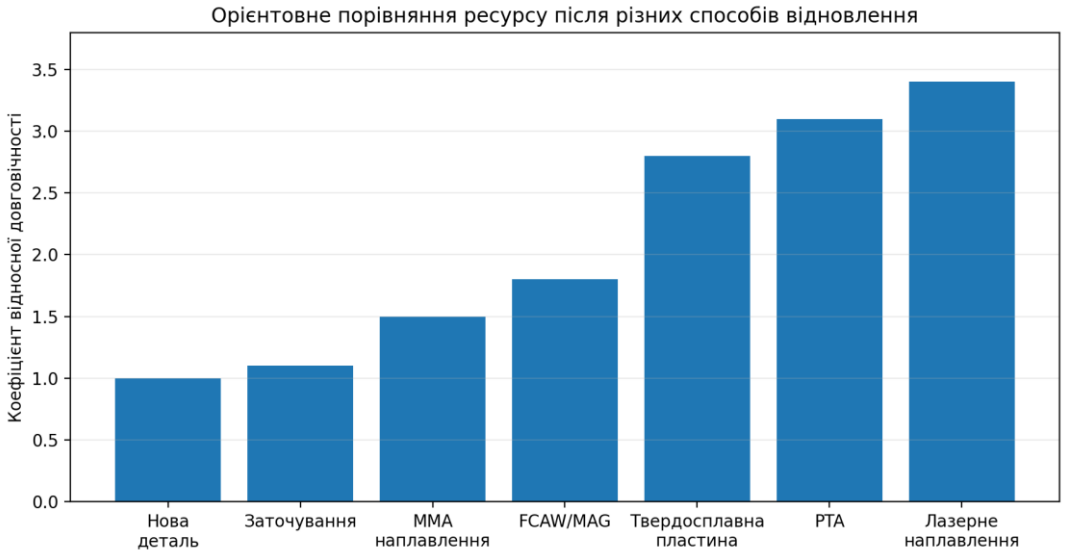


Рис. 2.1. Орієнтовне порівняння ресурсу робочих органів після різних способів відновлення.

2.3. Обладнання для ремонтної дільниці

Комплект обладнання для відновлення робочих органів має забезпечувати повний цикл: приймання деталей, очищення, дефектацію, підготовку кромок, фіксацію в пристрої, наплавлення або встановлення твердосплавних елементів, остаточне зачищення та контроль. Для аграрного підприємства доцільно формувати дільницю як універсальну, але з можливістю серійного ремонту однотипних деталей у міжсезонний період.

Базовим обладнанням є зварювальний інвертор для ручного наплавлення, напівавтомат MIG/MAG або FCAW, витяжний пост, стіл із пазами для кріплення пристосувань, кутова шліфувальна машина, точильно-шліфувальний верстат, прес для правки, свердлильний верстат, шаблони для контролю профілю, твердомір або портативний прилад контролю твердості. Для підвищення якості ремонту необхідне спеціальне пристосування, яке забезпечує однакове положення лап, лемешів чи доліт відносно пальника. Це знижує розкид товщини шару та скорочує час підготовчо-завершальних операцій.



Рис. 2.2. Технологічна схема відновлення робочих органів.

Таблиця 2.3 – Рекомендований склад обладнання дільниці відновлення

Дільниця/пост	Обладнання	Основне призначення
Пост очищення	Мийка, щіткова машина, піскоструминна або дробоструминна камера	Видалення ґрунту, іржі, старих покриттів
Дефектація	Шаблони, штангенінструмент, лінійки, товщиномір	Сортування деталей: придатні, ремонтні, брак
Підготовка кромок	Шліфувальний верстат, УШМ, прес	Правка, зняття фасок, підготовка під наплавлення
Наплавлення	Інвертор ММА, напівавтомат MAG/FCAW, джерело 350-500 А	Відновлення профілю та нанесення зносостійкого шару
Фіксація деталей	Спеціальне пристосування, затискачі, пневмопривід	Позиціонування робочих органів і підвищення повторюваності
Контроль якості	Шаблон, твердомір, візуальний контроль, контроль маси	Перевірка геометрії, твердості та відсутності дефектів
Безпека	Витяжна вентиляція, екрани, ЗІЗ, заземлення	Захист персоналу від диму, випромінювання і бризок металу

2.4. Сучасні високотехнологічні способи зміцнення

Плазмове наплавлення порошковими матеріалами PTA формує металургійно з’єднаний шар на поверхні деталі. Його перевагою є точне дозування порошку, контроль подачі газу, сили струму, напруги і тепловкладення. У промислових системах такий процес легко автоматизується, що забезпечує повторюваність покриття і стабільні властивості від партії до партії [5]. У ремонтній майстерні аграрного підприємства PTA може бути перспективним для централізованого сервісу великої кількості однотипних лап, але для одиничних деталей його економічна ефективність обмежена.

Лазерне наплавлення належить до найбільш точних методів відновлення. Порошок або дріт подаються у зону дії лазерного променя, де утворюється тонкий розплав із низьким перемішуванням основного металу. У технічних матеріалах виробників зазначається, що лазерне наплавлення забезпечує металургійне з’єднання, мінімальні деформації, стабільність процесу, однорідну мікроструктуру та можливість відновлення розмірів деталей майже до кінцевої форми [4]. Для робочих органів ґрунтообробних машин цей метод технічно ефективний, але потребує високої вартості обладнання, системи

безпеки та спеціалістів, тому доцільнішим є для сервісних центрів або кооперації кількох господарств.

Зварювальне наплавлення додатковими сплавами, або cladding, використовується для захисту металевих компонентів від хімічного, абразивного та корозійного впливу. Сучасні системи для наплавлення можуть мати синхронізовані осі переміщення, автоматичне визначення положення деталі та HMI-керування, що зменшує час налаштування і підвищує якість [6]. Ці рішення є орієнтиром для перспективної модернізації ремонтної майстерні.

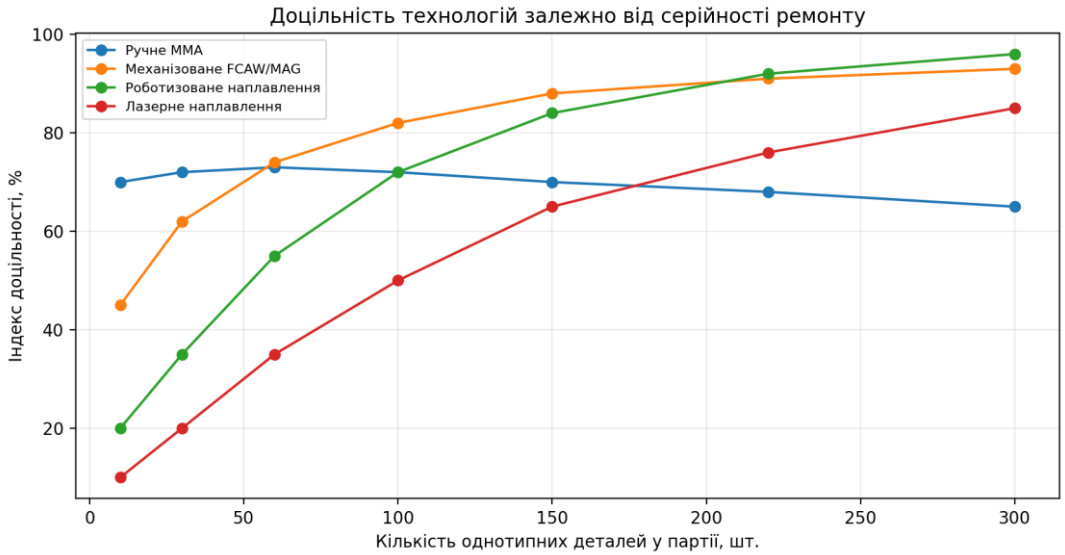


Рис. 2.2. Оцінка доцільності способів відновлення залежно від серійності ремонту.

2.5. Автоматизація і роботизація процесів ремонту

Автоматизація ремонту робочих органів ґрунтообробних машин не обов’язково повинна починатися з придбання повноцінного промислового робота. На першому етапі доцільно впроваджувати механізовані пристрої фіксації, шаблони, обмежувачі переміщення пальника, напівавтоматичну подачу дроту, витяжку з датчиком роботи поста, електронний журнал дефектації та маркування деталей QR-кодами. Такі рішення дають швидкий ефект за невеликих витрат і підвищують дисципліну технічного сервісу.

Роботизоване дугове зварювання та наплавлення має переваги за умов повторюваних деталей і стабільного завантаження. Виробники промислових

роботів зазначають, що зварювальні роботи та коботи забезпечують високу точність і повторюваність, підвищують продуктивність, якість зварних швів та безпеку робочого місця [7]. Для проектної майстерні такий варіант можна розглядати як перспективний розвиток після накопичення статистики ремонту: кількості лап, доліт і лемешів за сезон, середнього часу відновлення, витрат електродів або дроту та відсотка браку.

У практичному плані для агропідприємства доцільною є поетапна схема: спочатку створення спеціалізованого поста механізованого наплавлення, потім оснащення його позиціонером і пневматичним затискачем, далі впровадження електронних карт ремонту, і лише після цього - встановлення кобота або промислового маніпулятора з програмами для типових деталей. Такий підхід дозволяє уникнути надмірних інвестицій і водночас підготувати персонал до цифрового сервісу.

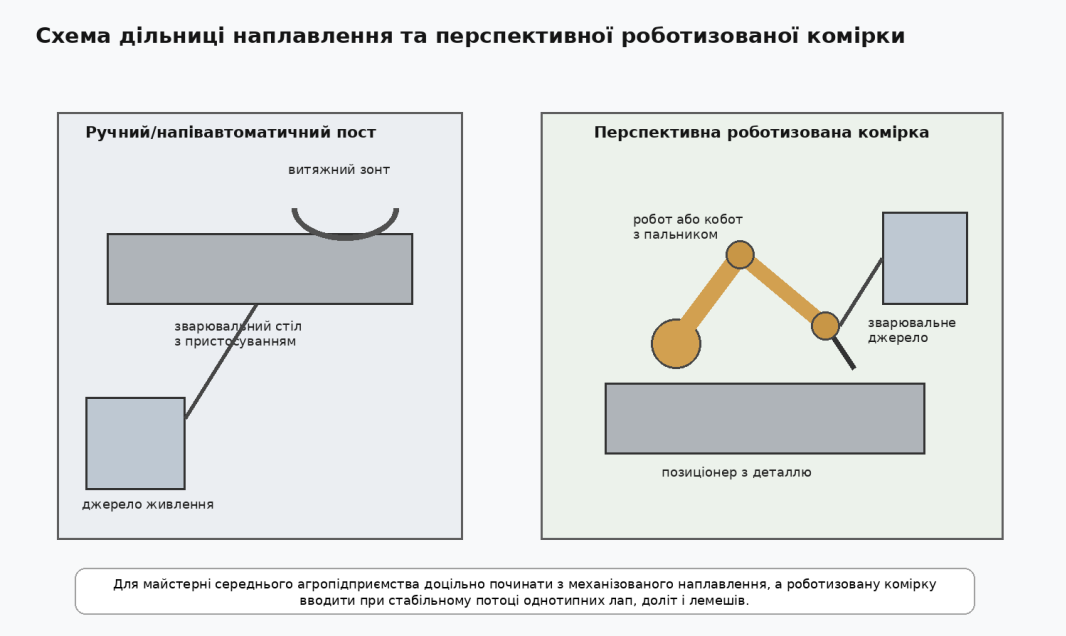


Рис. 2.3. Схема ручного поста та перспективної роботизованої комірки наплавлення.

2.6. Вибір раціональної технології для проектної майстерні

Для аграрного підприємства з власним машинно-тракторним парком найбільш раціональною є комбінована технологія ремонту, яка включає механічне очищення, дефектацію, правку, напівавтоматичне наплавлення

зносостійким дротом, зачищення, контроль профілю і нанесення антикорозійного покриття на неробочі поверхні. Для лап культиваторів, доліт глибокорозпушувачів і лемешів, що працюють на піщаних ґрунтах Полісся, доцільно застосовувати додаткове твердосплавне зміцнення носової частини або зони максимального контакту з ґрунтом.

Вибір на користь механізованого наплавлення пояснюється поєднанням технологічної доступності та достатнього приросту ресурсу. На відміну від лазерних і плазмових систем, напівавтоматичний пост може бути обслуговуваний штатним персоналом майстерні, швидко переналагоджується на різні типи деталей і не вимагає складної інфраструктури. Одночасно застосування спеціального пристосування для закріплення робочих органів дозволяє наблизити якість до напівавтоматичного серійного процесу: деталі встановлюються за шаблоном, кромка займає однакове положення, а оператор виконує наплавлення за стабільною траєкторією.

Таблиця 2.4 – Матриця вибору технології для проектної майстерні, бали 1-5

Критерій	MMA	FCAW/MAG	PTA	Лазер	FCAW/MAG + пристосування
Технологічна доступність	5	4	3	2	5
Приріст ресурсу	3	4	5	5	4
Вартість обладнання	5	4	2	1	4
Придатність для різних деталей	4	5	3	3	4
Можливість автоматизації	2	4	5	5	4
Підсумкова доцільність для майстерні	19	21	18	16	21

За результатами порівняння для проекту приймається технологічна схема «FCAW/MAG + спеціальне пристосування для фіксації робочих органів». Вона відповідає умовам ремонтної майстерні, забезпечує придатність до відновлення серійних деталей та створює основу для подальшої роботизації. Пристосування повинно забезпечувати швидке встановлення деталі, надійний затиск, доступ пальника до різальної кромки, можливість ремонту двох однотипних лап за один цикл і безпечне відведення тепла та диму із зони роботи.

Висновки по розділу

Проведений огляд показав, що робочі органи ґрунтообробних машин у зоні Полісся найбільше зазнають абразивного та ударно-абразивного зношування, що призводить до втрати форми, збільшення енерговитрат і погіршення агротехнічної якості обробітку. Для їх ремонту застосовують механічне відновлення, ручне й механізоване наплавлення, твердосплавне зміцнення, плазмові та лазерні технології. Найдоступнішим рішенням для майстерні аграрного підприємства є механізоване наплавлення зносостійким дротом у поєднанні зі спеціальним пристосуванням для фіксації деталей. Високотехнологічні РТА та лазерне наплавлення мають значні переваги за якістю шару, але потребують великих інвестицій і доцільні переважно при централізованому ремонті або великій партії однотипних деталей. Перспективним напрямом розвитку є поетапна автоматизація: електронна дефектація, шаблони, позиціонери, пневмозатиски, а в подальшому - роботизована комірка наплавлення.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Система технічного сервісу машинно-тракторного парку має забезпечувати не лише планове обслуговування тракторів і агрегатів, а й оперативне відновлення деталей, які найшвидше втрачають працездатність у польових умовах. До таких деталей належать робочі органи ґрунтообробних машин, зокрема стрілчасті лапи культиваторів, лемеші, долота, ножі та інші елементи, що безпосередньо контактують із ґрунтом. Вони працюють у середовищі інтенсивного абразивного спрацювання, тому якість їх ремонту істотно впливає на стабільність глибини обробітку, тяговий опір агрегату та витрати пального.

У ремонтному відділенні господарства такі операції доцільно виконувати із застосуванням спеціального оснащення. Звичайні верстаки, лещата або випадкові підставки не забезпечують однакового положення деталі відносно інструмента чи наплавлювального обладнання. Через це збільшується тривалість установлення, зростає ймовірність перекосу робочої кромки, а працівник змушений витрачати додаткові зусилля на утримання та коригування положення деталі.

Для підвищення продуктивності ремонту запропоновано пристосування механо-пневматичної дії, призначене для фіксації стрілчастих лап культиваторів під час відновлення їх різальних кромок наплавленням. Конструктивна ідея полягає в тому, щоб об’єднати жорстку опорну основу, систему напрямних і призм, важільний механізм та пневматичний затискач. Таке рішення дає можливість закріплювати дві лапи одночасно, скорочувати допоміжний час і забезпечувати повторюваність положення кромок у процесі ремонту.

Розроблене пристосування може бути використане у відділенні технічного обслуговування машинно-тракторного парку під час поточного

ремонту ґрунтообробних машин. Його застосування спрямоване на підвищення якості відновлення деталей, поліпшення умов праці ремонтного персоналу та зменшення простоїв техніки в період підготовки до польових робіт.

3.1 Обґрунтування призначення та сфери застосування пристосування

Робочі органи ґрунтообробних машин зазнають переважно абразивного спрацювання. Найбільш інтенсивно зношуються різальні кромки, носова частина та ділянки, які сприймають максимальний тиск ґрунтового шару. За недостатньої товщини або неправильної форми кромки лапа гірше підрізає бур’яни, нерівномірно заглиблюється і спричиняє збільшення опору руху агрегату. Тому своєчасне відновлення геометрії таких деталей є важливою складовою технічного сервісу.

Раціональним способом ремонту стрілчастих лап є нанесення зносостійкого шару на зону різальної кромки. Якість наплавлення значною мірою залежить від точності базування деталі, сталості відстані до робочого інструмента та відсутності зміщення під дією теплових деформацій або випадкових дотиків. Через це пристосування повинно виконувати не тільки затискну, а й установчу функцію.

Універсальність запропонованої конструкції полягає в можливості встановлення лап близьких типорозмірів без значного переналагодження. Основні регулювання виконуються за рахунок переставлення опор, планок і призм. Пневматичний привод використовується для швидкого притискання деталі, а механічний важіль підсилює створене зусилля та передає його на притискну планку.

Таблиця 3.1 – Функціональні вимоги до пристосування для ремонту робочих органів

Вимога	Зміст вимоги	Реалізація у запропонованій конструкції
Точність установлення	Різальні кромки повинні займати стабільне положення під час наплавлення.	Застосовано опорну основу, призми та притискну планку.
Швидкість закріплення	Допоміжний час на встановлення деталі має бути мінімальним.	Затискання виконується пневматичним приводом через важільний механізм.
Безпечність роботи	Оператор не повинен утримувати деталь руками в зоні ремонту.	Деталі фіксуються жорстко, а керування винесене за межі небезпечної зони.
Продуктивність	Бажано одночасно обробляти кілька однотипних деталей.	Конструкція дозволяє встановлювати дві стрілчасті лапи.
Надійність	Вузли пристрою повинні витримувати багаторазові цикли затискання.	Передбачено перевірку пневмосистеми, пружини, важеля і кріпильних з’єднань.

Порівняно з ручним установленням деталі пристосування забезпечує кращу організацію робочого місця. Лапи розміщуються на основі в однаковому положенні, а їх кромки орієнтуються по одній лінії. Завдяки цьому наплавлювальник працює з більш прогнозованим положенням деталей, що зменшує кількість підготовчих переходів і спрощує контроль якості.

Важливою перевагою пневмомеханічного затискання є зниження фізичного навантаження на працівника. Для фіксації не потрібно багаторазово затягувати гвинтові притиски, оскільки зусилля створюється стисненим повітрям. Механічна частина лише передає і перерозподіляє це зусилля на притискну планку.

3.2 Конструкція і принцип дії пристосування

Запропоноване пристосування належить до механо-пневматичних затискних пристроїв. Воно встановлюється на робочій плиті або столі технологічного модуля і закріплюється притискними пластинами з болтами.

Такий спосіб монтажу забезпечує стійкість під час роботи та дозволяє за потреби переставляти пристосування в межах ремонтної дільниці.

Основними складовими вузла є опорна основа, пневмокамера або пневмоциліндр, важіль, вісь обертання, тяга, вилка, шток, притискна планка, призми для базування та стандартні кріпильні деталі. Пневматична частина створює робоче переміщення, а важільний механізм перетворює його у притискне зусилля, необхідне для утримання лап під час наплавлення.

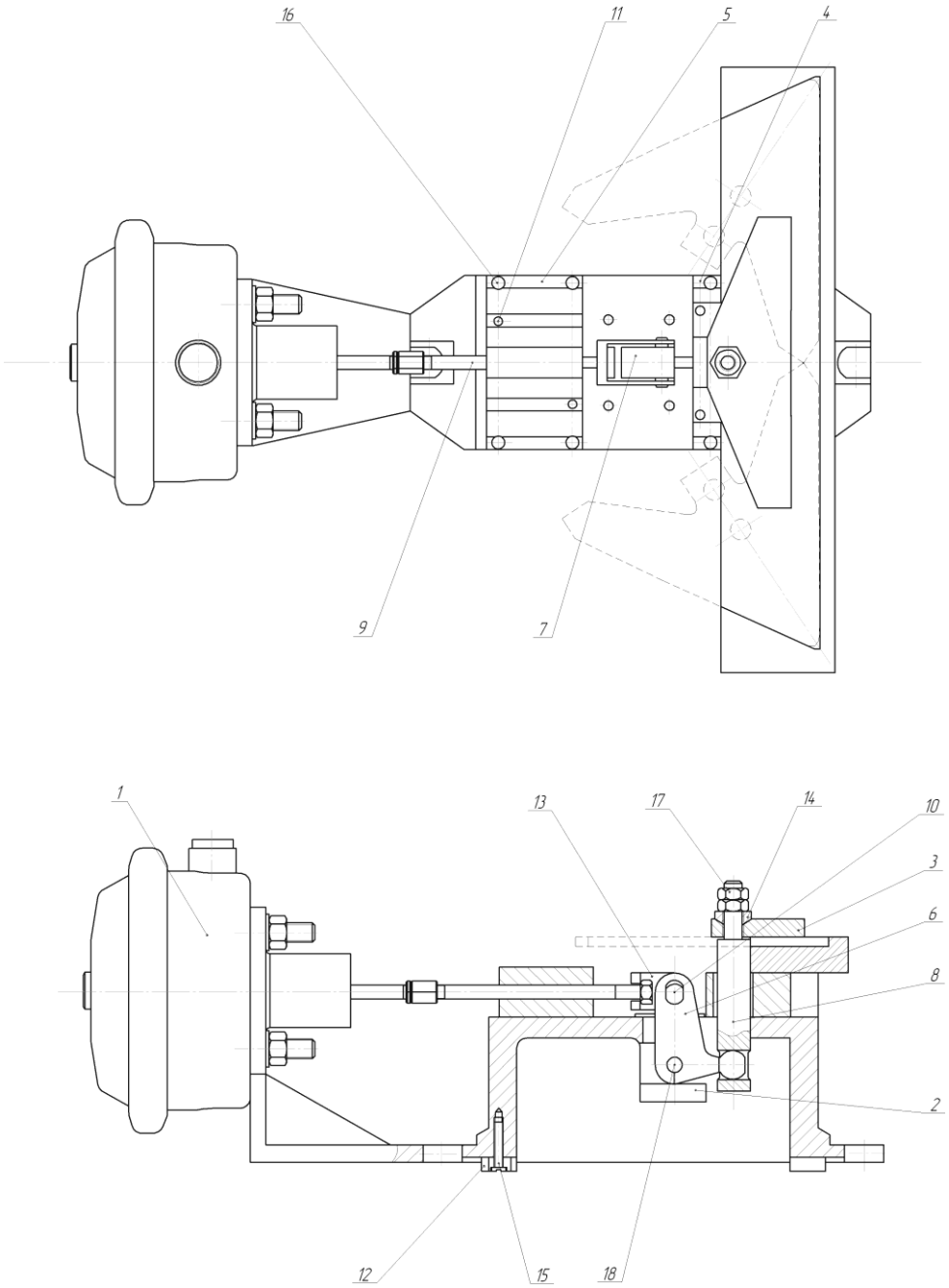


Рис. 3.1. Загальний вигляд пристосування для відновлення стрілчастих лап культиваторів

Таблиця 3.2 – Основні елементи пристосування та їх функції

Елемент	Призначення у конструкції
Опорна основа	Сприймає навантаження від деталей і затискного механізму, забезпечує базування пристрою на робочому столі.
Пневмокамера / пневмоциліндр	Створює переміщення штока під дією стисненого повітря.
Важіль	Передає рух від штока і збільшує притискне зусилля.
Тяга з вилкою	З’єднує силові елементи механізму та забезпечує передачу зусилля до притискної частини.
Притискна планка	Фіксує лапи на опорній поверхні та перешкоджає їх переміщенню під час наплавлення.
Призми й упори	Забезпечують правильне положення деталей відносно робочої зони.
Пружина повернення	Повертає рухомі частини у вихідне положення після скидання тиску.
Кріпильні деталі	Забезпечують складання, регулювання та закріплення вузлів пристосування.

Робочий цикл пристосування виконується у такій послідовності. Спочатку дві стрілчасті лапи укладають на опорну основу так, щоб їх різальні кромки знаходилися на одній лінії. Після цього оператор перевіряє положення деталей відносно упорів і вмикає подачу стисненого повітря до робочої порожнини пневмокамери.

Під дією повітря діафрагма переміщує шток. Шток через шарнірну ланку діє на важіль, який повертається навколо своєї осі. Інший кінець важеля передає зусилля на тягу і притискну планку. Планка опускається, притискає лапи до основи і створює достатнє зусилля для їх нерухомого утримання. Після завершення наплавлення повітря випускають із камери, а пружина повертає діафрагму та шток у початкове положення.

Після розтискання лапи знімають або переставляють для обробки інших кромок. Повторюваність базування дає можливість виконувати операцію серійно, не витрачаючи значного часу на індивідуальне налаштування кожної деталі.

3.3 Розрахунок затискного механізму

Для перевірки працездатності пристосування необхідно визначити зусилля, яке повинне створюватися затискним механізмом. Воно має бути достатнім для надійного утримання лап у процесі наплавлення, але не повинно спричиняти деформацію деталі або перевантаження елементів приводу. Розрахунок виконуємо за схемою важільної системи, наведеною на рисунку 3.2.

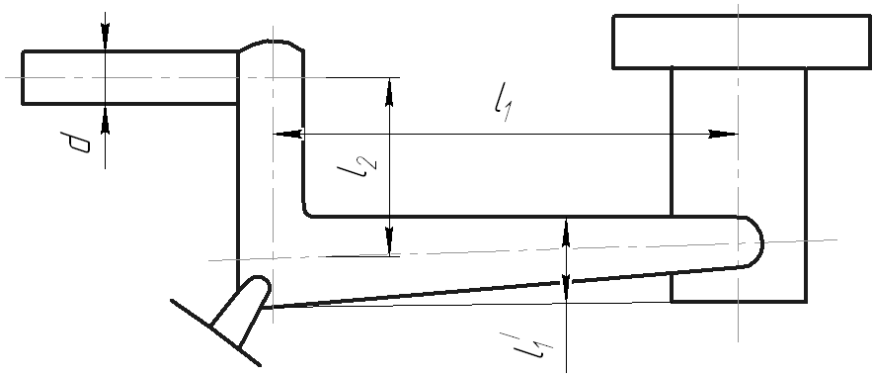


Рис. 3.2. Розрахункова схема важільного затискного механізму

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку зусилля затискання

Позначення	Параметр	Прийняте значення
l_1'	хід або переміщення важеля	0,06 м
l_1	відстань від осі важеля до осі штока	0,15 м
l_2	відстань від осі обертання важеля до упору	0,08 м
d	діаметр штока	0,02 м
r	радіус штока	0,01 м
f	коефіцієнт тертя	0,12
p	радіус тертя	0,017

Початково визначаємо момент затискання, який створюється силовою дією штока. У розрахунку використовується залежність, що враховує діаметр штока та навантаження на нього:

$$M = 0{,}22 \cdot d \cdot N \quad (3.1)$$

Звідси визначаємо силу, що відповідає прийнятому моменту:

$$N = M / (0{,}22 \cdot d) = 1{,}5 / (0{,}22 \cdot 0{,}02) = 34{,}1 \quad (3.2)$$

Для врахування тертя у вузлах механізму приймаємо f = 0,12. Радіус тертя визначаємо за добутком геометричного коефіцієнта і коефіцієнта моменту опору:

$$p = z \cdot f_i = 0,17 \cdot 0,1 = 0,017 \quad (3.3)$$

Розрахункова залежність між силою на штоку і силою притискання лап має вигляд:

$$N = Q \cdot (l_1' + l_1 \cdot f + 0,968) / (l_2 - 0,4 \cdot p) \quad (3.4)$$

Після перетворення одержуємо вираз для визначення потрібного зусилля затиску:

$$Q = N \cdot (l_2 - 0,4 \cdot p) / (l_1' + l_1 \cdot f + 0,968) \quad (3.5)$$

За прийнятими параметрами і з урахуванням коефіцієнтів методики розрахункове зусилля затискання становить:

$Q \approx 35$ кН

Отримане значення забезпечує жорстку фіксацію двох стрілчастих лап під час відновлення. Запас зусилля є необхідним, оскільки у процесі наплавлення можливі вібрації, нерівномірний нагрів і локальні навантаження від контакту робочого інструмента з деталлю.

3.4 Розрахунок повертальної пружини пневмокамери

Після завершення наплавлення рухомі елементи затискного механізму повинні швидко й надійно повертатися у вихідне положення. Цю функцію виконує пружина, розміщена у притискній пневмокамері. Вона повинна мати достатню жорсткість для повернення діафрагми та штока, а також витримувати значну кількість циклів без втрати працездатності.

Матеріалом пружини приймаємо сталь 65Г. Вона характеризується високою пружністю, достатньою в’язкістю та придатністю до термічної обробки. Для даного вузла це важливо, оскільки пружина працює в умовах багаторазового навантаження і періодичного контакту з елементами пневмопривода.

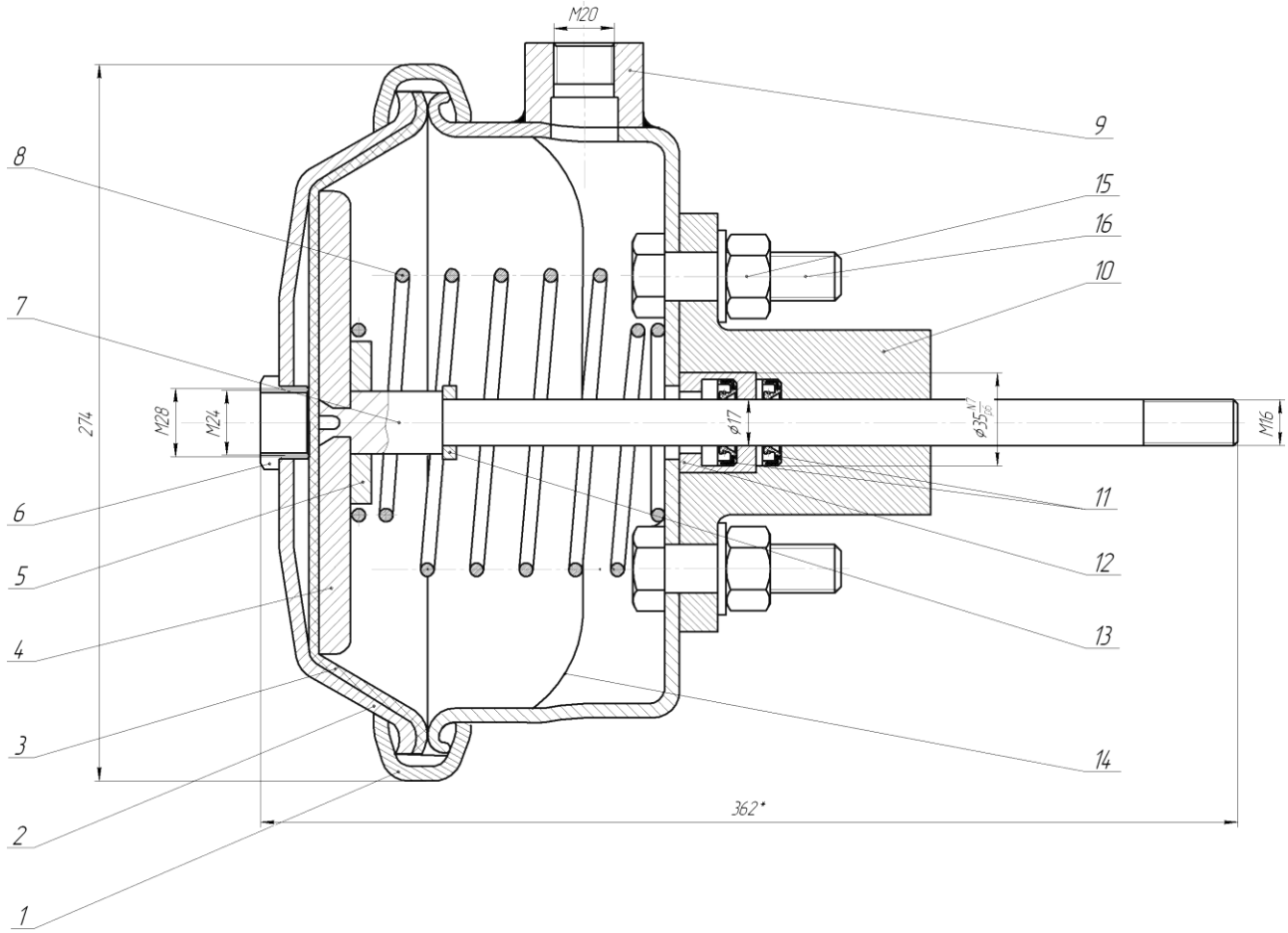


Рис. 3.3. Конструкція притискної пневмокамери з повертальною пружиною.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для підбору пружини

Параметр	Зміст	Значення
P_1	сила пружини за попереднього деформування	170 кгс
P_2	сила пружини за робочого деформування	270 кгс
h	робочий хід пружини	116 мм
V_0	найбільша швидкість переміщення рухомого кінця	2,5 м/с
N	розрахункова витривалість	10^6 циклів
D	зовнішній діаметр пружини	114 мм
δ	коефіцієнт для пружин, що працюють на розтяг	0,1

Силу пружини за максимальної деформації визначаємо з урахуванням коефіцієнта δ:

$$P_3 = P_2 / (1 - \delta) = 270 / (1 - 0{,}1) = 300 \text{ кгс} \qquad (3.6)$$

За довідковими даними приймаємо пружину №141, для якої $P_3 = 300$ кгс, діаметр дроту $d = 5$ мм, зовнішній діаметр $D = 114$ мм, довідкова жорсткість $z_1 = 5{,}798$ кгс/мм, повна деформація $f_3 = 62{,}530$ мм.

Допустиме напруження для прийнятої пружини визначаємо через межу міцності матеріалу:

$$\tau_3 = 0{,}6 \cdot \sigma_\beta = 0{,}6 \cdot 200 = 120 \text{ кгс/мм}^2 \quad (3.7)$$

Критичну швидкість переміщення рухомого кінця пружини визначаємо за залежністю:

$$V_{кр} = [\tau_3 \cdot (1 - P_2/P_3)] / 3{,}58 = [120 \cdot (1 - 270/300)] / 3{,}58 = 3{,}352 \text{ м/с} \quad (3.8)$$

Оскільки відношення робочої швидкості до критичної менше одиниці, зіткнення витків під час роботи не відбуватиметься:

$$V_0 / V_{кр} = 2{,}5 / 3{,}352 = 0{,}74 < 1 \quad (3.9)$$

Жорсткість пружини для прийнятого робочого ходу становить:

$$z = (P_2 - P_1) / h = (270 - 170) / 116 = 0{,}862 \text{ кгс/мм} \quad (3.10)$$

Кількість робочих витків визначаємо за співвідношенням довідкової та розрахункової жорсткості:

$$n = z_1 / z = 5{,}798 / 0{,}862 = 6{,}726 \quad (3.11)$$

За результатами розрахунку приймаємо пружину №141 за ДСТУ з кількістю витків 8. Такий вибір забезпечує потрібну силу повернення, достатній запас за швидкістю роботи і нормальну працездатність пневмокамери в умовах багаторазового використання.

Таблиця 3.5 – Підсумкові параметри прийнятої пружини

Показник	Значення
Номер пружини	№141
Нормативний документ	ДСТУ
Діаметр дроту	5 мм
Зовнішній діаметр	114 мм
Розрахункова жорсткість	0,862 кгс/мм
Кількість робочих витків за розрахунком	6,726
Прийнята кількість витків	8

Висновки по розділу

У конструктивному розділі обґрунтовано застосування спеціального механо-пневматичного пристосування для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема для відновлення стрілчастих лап культиваторів методом наплавлення. Запропонована конструкція забезпечує точне встановлення двох деталей, швидке затискання і надійне утримання робочих кромок у процесі ремонту.

Виконано опис будови пристосування, наведено послідовність його роботи та визначено основні параметри затискного механізму. Розрахункове зусилля затискання прийнято на рівні 35 кН, що забезпечує нерухоме положення лап під час технологічної операції. Для пневмокамери підібрано повертальну пружину №141 за ДСТУ з прийнятою кількістю витків 8.

Застосування розробленого пристосування у відділенні технічного сервісу машинно-тракторного парку скорочує допоміжний час, зменшує фізичне навантаження на персонал і підвищує безпеку наплавлювальних робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання організації технічного сервісу машинно-тракторного парку аграрного підприємства з розробкою обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин. Актуальність теми зумовлена тим, що від технічного стану машин і своєчасності їх обслуговування залежать якість виконання польових робіт, продуктивність агрегатів, витрати палива та загальна ефективність аграрного виробництва. Особливу увагу приділено ґрунтообробним машинам, робочі органи яких працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, що призводить до втрати геометричних параметрів, збільшення тягового опору та погіршення якості обробітку ґрунту.

У першому розділі виконано розрахунок параметрів машинно-ремонтної майстерні для проектного аграрного підприємства зони Полісся площею 4500 га. Підібрано сучасний склад машинно-тракторного парку, визначено трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів тракторів, комбайнів, ґрунтообробних, посівних, транспортних та інших машин. На основі розрахунків складено графік завантаження майстерні, що дає змогу раціонально розподілити ремонтно-обслуговувальні роботи протягом року та забезпечити своєчасну підготовку техніки до сезону. Також запропоновано заходи з автоматизації та роботизації сервісних процесів, зокрема цифрове планування ТО, електронний облік технічного стану машин, автоматизовані пости мащення, діагностичні системи та роботизоване зварювання.

У другому розділі проаналізовано існуючі технології та обладнання для відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. Розглянуто основні способи ремонту: механічну обробку, правку, зварювання, наплавлення, плазмове й лазерне зміцнення, використання твердосплавних пластин і змінних зносостійких елементів. Встановлено, що вибір технології відновлення залежить від ступеня зношування, матеріалу деталі, умов експлуатації, вартості нового робочого органу та технічних можливостей майстерні. Для умов

аграрного підприємства найбільш доцільним є поєднання дефектації, підготовки поверхні, наплавлення зносостійкого шару та контролю геометричних параметрів деталі.

У конструктивному розділі запропоновано обладнання для ремонту робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема пристосування для закріплення і відновлення стрілчастих лап культиваторів. Його конструкція забезпечує точне базування деталей, надійне затискання, зменшення допоміжного часу та підвищення продуктивності ремонтних операцій. Використання пневматичного затискного механізму полегшує працю ремонтного персоналу, підвищує безпеку виконання робіт і забезпечує стабільне положення деталі під час наплавлення.

Окремо розглянуто технічне обслуговування ґрунтообробних машин і порядок їх підготовки до зберігання. Перед постановкою на зберігання необхідно виконати очищення, миття, дефектацію, підтягування кріплень, мащення вузлів, ремонт або заміну зношених робочих органів, нанесення антикорозійного покриття та встановлення машин на підставки. Дотримання цих вимог дає змогу зменшити корозійне пошкодження деталей, продовжити строк служби машин і скоротити час підготовки техніки до наступного сезону.

Отже, запропоновані організаційні, технологічні та конструктивні рішення спрямовані на підвищення ефективності технічного сервісу машинно-тракторного парку, зниження витрат на ремонт, продовження ресурсу робочих органів і забезпечення своєчасного виконання механізованих робіт. Практичне впровадження розробленого обладнання дозволить підвищити якість ремонту, поліпшити умови праці ремонтного персоналу та зменшити простої техніки в аграрному підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Borak K. V., Kulykivskyi V. L., Borovskyi V. M., Pylypovych M. M. Improving the reliability of tillage machines operational units. Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2024. Вип. 1 (55). С. 3–18.

2. Технологія ремонту машин : навч. посіб. / О. І. Сідашенко, А. Я. Поліський, В. В. Власовець та ін. Харків : ХНТУСГ, 2017. 361 с.

3. Надійність сільськогосподарської техніки : навч. посіб. / В. І. Кравчук, М. І. Грицишин, В. Ф. Петриченко та ін. Київ : Урожай, 2012. 248 с.

4. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. / В. Я. Анілович, О. І. Сідашенко, В. М. Пащенко та ін. Харків : ХНТУСГ, 2016. 282 с.

5. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Каравела, 2004. 552 с.

6. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Машини та обладнання агропромислового виробництва : підручник. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

7. Погорілий Л. В., Коваль С. М. Сільськогосподарська техніка та технології механізованих робіт : навч. посіб. Київ : Урожай, 2010. 312 с.

8. Булгаков В. М., Адамчук В. В., Калетнік Г. М. Теоретична механіка машин сільськогосподарського призначення. Київ : Аграрна наука, 2018. 476 с.

9. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Проектування технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. Київ : Вища освіта, 2011. 294 с.

10. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник. Київ : Знання-Прес, 2003. 511 с.

11. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту машин. Київ : Вища школа, 1994. 342 с.

12. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / за ред. В. І. Большакова. Київ : Либідь, 2002. 384 с.

13. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : навч. посіб. Львів : Світ, 2006. 624 с.

14. Чертовських В. І., Мельник В. І. Зносостійкість деталей машин і методи її підвищення. Харків : ХНТУСГ, 2013. 220 с.

15. Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О. Матеріалознавство : підручник. Харків : ХНАДУ, 2007. 440 с.

16. Заєць М. Л. Обгрунтування параметрів дискового розкидного апарата мінеральних добрив Біоенергетичні системи: Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 27-31.

17. Заєць М. Технологія вертикального обробітоку грунту як спосіб отримання стабільних врожаїв /М. Л. Заєць, О. М. Сергійчук // Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 21-22. https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2960.

18. John Deere. 8 Series Row-Crop Tractors. John Deere : вебсайт. URL: https://www.deere.com/en/tractors/row-crop-tractors/row-crop-8-family/ (дата звернення: 21.06.2026).

19. CLAAS. LEXION combine harvesters. CLAAS : вебсайт. URL: https://www.claas.com/ (дата звернення: 21.06.2026).

20. HORSCH. Joker RT — Disc harrows. HORSCH : вебсайт. URL: https://www.horsch.com/en/products/soil-cultivation/disc-harrows/joker-rt (дата звернення: 21.06.2026).

21. Väderstad. Carrier mounted and trailed disc cultivators. Väderstad : вебсайт. URL: https://www.vaderstad.com/ (дата звернення: 21.06.2026).

22. LEMKEN. Soil cultivation machinery. LEMKEN : вебсайт. URL: https://lemken.com/ (дата звернення: 21.06.2026).

23. ESAB. Hardfacing filler metals. ESAB : вебсайт. URL: https://esab.com/us/nam_en/products-solutions/search/filler-metals/hardfacing/ (дата звернення: 21.06.2026).

24. Castolin Eutectic. Wear protection and hardfacing solutions. Castolin Eutectic : вебсайт. URL: https://www.castolin.com/ (дата звернення: 21.06.2026).

25. Fronius. Welding automation and robotic welding systems. Fronius International : вебсайт. URL: https://www.fronius.com/ (дата звернення: 21.06.2026).

26. FANUC. Arc welding robots and automation solutions. FANUC : вебсайт. URL: https://www.fanuc.eu/ (дата звернення: 21.06.2026).

27. ISO 4254-1:2013. Agricultural machinery — Safety — Part 1: General requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2013. 45 p.

28. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

29. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

30. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.

31. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

32. 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.