

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

Допущено до захисту
“ ” 2025 р.
Зав. кафедри професор
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ В.В. Дідур _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
_____ магістр _____
(освітній рівень)

тема роботи: **«Підвищення надійності автотракторних двигунів шляхом
забезпечення оптимальних параметрів функціонування їх трибологічних
систем»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми _____ магістр _____
спеціальності _____ Н7 _____
«Агроінженерія»
_____ Місан Владислав Сергійович _____
(прізвище та ініціали)

_____ Керівник: д.т.н., професор Дідур В.В. _____
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

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

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ Н7 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **В.В. Дідур**
“ ____ ” _____ **2025 р.**

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Місану Владиславові Сергійовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення надійності автотракторних двигунів шляхом забезпечення оптимальних параметрів функціонування їх трибологічних систем»

керівник роботи _____ д.т.н., професор Дідур В.В. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“14” листопада 2025 р. № 01-06/261 _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 25.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно-тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово-зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- підвищити надійність автотракторних двигунів шляхом оптимізації параметрів роботи їхніх трибологічних систем;
- зменшити інтенсивність зношування та втрат на тертя у вузлах двигуна за рахунок удосконалення мастильних матеріалів і впровадження сучасних антифрикційних присадок;
- провести аналіз існуючих антифрикційних присадок, що представлені на сучасному ринку автохімії та мають відповідні сертифікати й ліцензії;
- розглянути вплив додавання до моторних оливо присадки РВС ІІІ на зменшення коефіцієнта тертя в підшипникових вузлах колінчастого вала, що сприяє підвищенню ресурсу роботи двигуна та його експлуатаційної надійності;
- розробити методику і алгоритм проведення експериментальних досліджень,

спрямованих на оцінку ефективності застосування антифрикційних добавок;
- сформулювати рекомендації щодо забезпечення оптимальних параметрів функціонування трибологічних систем автотракторних двигунів;
- підвищити довговічність та знизити ризик відмов.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ-242К; показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Дідур В.В., професор		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2025 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2025 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2025 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2025 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2025 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2025 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2025 р.	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Місан В.С.

(прізвище та ініціали)

Дідур В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі розглянуто питання підвищення надійності автотракторних двигунів шляхом оптимізації параметрів роботи їхніх трибологічних систем. Особлива увага приділяється зменшенню інтенсивності зношування та втрат на тертя у вузлах двигуна за рахунок удосконалення мастильних матеріалів і впровадження сучасних антифрикційних присадок.

У ході дослідження проведено аналіз існуючих антифрикційних присадок, що представлені на сучасному ринку автохімії та мають відповідні сертифікати й ліцензії. Розглянуто вплив додавання до моторних олив присадки РВС ІІІ на зменшення коефіцієнта тертя в підшипникових вузлах колінчастого вала, що сприяє підвищенню ресурсу роботи двигуна та його експлуатаційної надійності.

Розроблено методику і алгоритм проведення експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку ефективності застосування антифрикційних добавок. Сформульовано рекомендації щодо забезпечення оптимальних параметрів функціонування трибологічних систем автотракторних двигунів у процесі експлуатації, що дозволяє підвищити довговічність та знизити ризик відмов.

Дипломна робота містить пояснювальну записку обсягом 77 сторінок і 12 слайдів демонстраційного матеріалу, які ілюструють результати досліджень та практичні рекомендації.

Ключові слова: надійність, трибологічна система, автотракторні двигуни, колінчастий вал, мастильні матеріали, антифрикційна присадка, коефіцієнт тертя, експлуатація, ресурс.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Загальні відомості про підприємство	8
1.2. Загальна характеристика ремонтної бази.....	10
1.3. Стан машинно-тракторного парку та аналіз технічного забезпечення сільського господарства	13
1.4. Види й характеристики присадок у систему мащення двигуна.....	18
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	25
2.1. Деякі питання теорії тертя	25
2.2. Дослідження впливу присадок у оливу на роботу пар тертя	28
3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	36
3.1. Характеристика масел та присадок до них.....	36
3.2. Установка для випробувань.....	39
3.3. Результати досліджень	44
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1. Загальні відомості про охорону праці в підприємстві.....	54
4.2. Заходи щодо забезпечення захисту працівників від шкідливих і небезпечних факторів.....	56
4.3. Правила безпечного виконання робіт при мащенні автомобіля на дільниці технічного обслуговування та діагностування	58
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
ВИСНОВОК.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	70
ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Сучасний стан сільськогосподарського виробництва в Україні характеризується недостатнім рівнем ефективності [1]. Одним із ключових чинників, що знижує продуктивність аграрного сектору, є незадовільний технічний стан машинно-тракторного парку та його основних агрегатів [2]. Переважна частина експлуатованої техніки представлена машинами вітчизняного та пострадянського виробництва, а також імпортованими зразками, які мають значний термін експлуатації, високий пробіг та істотний ступінь зношування [3]. Особливо це стосується автотракторних двигунів внутрішнього згоряння, у яких значне напрацювання призводить до зниження надійності та ефективності роботи. Навіть нові моделі, що виробляються вітчизняними підприємствами, часто поступаються сучасним світовим аналогам за показниками надійності, економічності та екологічної безпеки [4].

Експлуатація зношеної техніки призводить до суттєвого зростання експлуатаційних витрат: підвищення споживання палива та мастильних матеріалів, збільшення обсягів ремонтних і регулювальних робіт. У міру збільшення зношування елементів тертя підвищується рівень шкідливих викидів в атмосферу [5, 6].

Традиційні методи відновлення працездатності двигунів передбачають їх повне розбирання з наступним ремонтом або заміною зношених деталей, що характеризується високою трудомісткістю, енергоємністю та металоємністю. Це значно збільшує собівартість ремонту й експлуатаційні витрати власників техніки. Недостатній технічний стан автотракторних двигунів часто обумовлений саме нестачею ресурсів для проведення повноцінного технічного обслуговування та капітального ремонту традиційними способами [7].

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на підвищення надійності та покращення експлуатаційних характеристик автотракторних двигунів шляхом оптимізації параметрів функціонування їхніх трибологічних систем. Перспективним напрямом є застосування сучасних хімічних ремонтно-відновлювальних препаратів (РВП) і

антифрикційних присадок, які дозволяють реалізувати безрозбірні технології відновлення робочих поверхонь та зменшення інтенсивності тертя без виведення двигуна з експлуатації. Це забезпечує зниження прямих матеріальних витрат на ремонт, скорочення часу простоїв техніки, підвищення паливної економічності та зменшення негативного впливу на довкілля [8, 9].

Метою роботи є підвищення надійності та покращення експлуатаційних характеристик автотракторних двигунів шляхом забезпечення оптимальних параметрів функціонування їхніх трибологічних систем за допомогою хімічних ремонтно-відновлювальних засобів та антифрикційних присадок у процесі експлуатації.

Об'єкт дослідження – експлуатаційні характеристики автотракторних двигунів сільськогосподарських машин і закономірності їх зміни під впливом застосування ремонтно-відновлювальних препаратів та присадок.

Предмет дослідження – кількісні та якісні показники роботи автотракторних двигунів і трибологічних систем під дією присадок і РВП, а також сукупність трибохімічних процесів, що визначають зміни експлуатаційних властивостей та надійності двигунів. Дослідження виконувалися як у лабораторних умовах, так і під час експлуатаційних випробувань автомобільних і тракторних двигунів внутрішнього згорання.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальні відомості про підприємство

Підприємство, на базі якого виконувалося дане дослідження, є відносно молодого компанією, однак його історія бере початок ще у 1929 році, коли було організовано машинно-тракторну станцію (МТС), оснащену тракторами «25-тисячниками», а також машинами потужністю 10–15 к.с. типу «Фордзон» і «Форд-Путіловець», призначеними для виконання сільськогосподарських робіт.

Із постачанням у колгоспи та радгоспи більш сучасної та складної техніки постала потреба у кваліфікованішому технічному обслуговуванні та експлуатації машин. На підставі постанови Ради Міністрів у 1958 році Нікопольська МТС була реорганізована в ремонтно-технічну станцію (РТС), яку доукомплектували новими металообробними верстатами, автотранспортом, спеціальним обладнанням та машинами. У виробничих приміщеннях встановили вагранки для виготовлення запасних частин до сільськогосподарської техніки. Протягом багатьох років продукція РТС використовувалася не лише на місцевому рівні, а й у різних регіонах України та інших республіках колишнього СРСР. Підприємство забезпечувало повний комплекс матеріально-технічного постачання сільського господарства району, включно з доукомплектуванням і передпродажною підготовкою техніки.

У 1961 році, відповідно до нових завдань аграрного сектору, РТС було реорганізовано в районне відділення «Сільгосптехніка». Протягом 1961–1978 рр. підприємство значно розширило виробничі потужності: були збудовані станції технічного обслуговування тракторів, гаражі, склади мінеральних добрив, ремонтні цехи; реконструйовані складальний і ливарний підрозділи; закуплено сучасне високопродуктивне обладнання.

У виробничому процесі активно впроваджувалися новітні технології того часу: вібродугове наплавлення під шаром флюсу, зварювання в середовищі вуглекислого газу, приварювання стрічки, застосування методів штампування. Обсяг виробництва чавунного лиття досягав 2000 т на рік, виконувалося до 500 капітальних ремонтів тракторів і близько 800 ремонтів двигунів. Додатково

підприємство обслуговувало понад 400 комбайнів, 1250 зрошувальних установок та іншу техніку. Виробничий персонал складав близько 700 осіб, з яких 120 – інженерно-технічні працівники з вищою або середньо-спеціальною освітою.

У 1995 році підприємство було реорганізоване у ВАТ «Нікопольська районна Агропромтехніка». Було розширено номенклатуру виробів і проведено адаптацію виробництва до нових економічних умов. Підприємство почало задовольняти потреби підприємств трубної, металургійної та переробної промисловості. Розширено цех з виготовлення нестандартних металоконструкцій, створено підрозділи з ремонту електродвигунів та трансформаторів.

У травні 2000 року на базі «Агропромтехніки» створено ТОВ «Реммаш». Проте через обмежену кількість замовлень підприємство з часом зазнало фінансових труднощів і було оголошено банкрутом. У 2013 році на його основі створено ПП «Спешл Партс Дніпро» — окреме виробництво, яке займає вигідне географічне розташування: навколо м. Нікополь зосереджена велика кількість автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин. Відстань до обласного центру — м. Дніпра — становить 120 км, а до найближчої залізничної станції — близько 1 км.

Сьогодні підприємство здійснює діяльність за кількома напрямками:

- ремонт та сервісне обслуговування сільськогосподарської техніки;
- продаж запасних частин і комплектуючих;
- надання консультаційних послуг.

Структура підприємства наведена на рис. 1.1.

В останні роки, у зв'язку зі скороченням машинно-тракторного парку в сільськогосподарських підприємствах, обсяги ремонтних робіт зменшилися. Це зумовило необхідність розширення номенклатури ремонтованої техніки. Сьогодні підприємство виконує ремонт:

- коробок передач тракторів Т-150К, К-701, К-702;
- двигунів ЯМЗ, СМД, Д-65, Д-144, Д-240, ГАЗ-53, ЗІЛ-130;

- тракторів К-701, К-702, Т-150К, МТЗ, ЮМЗ, Т-25, Т-16, Т-40;
- вантажних автомобілів різних марок.

Ремонт агрегатів техніки виробництва країн СНД здійснюється на виробничих площах філії в м. Нікополь. Підприємство також займається ремонтом імпоротної техніки, виступаючи посередником між власниками та спеціалізованими компаніями, такими як ТОВ «Торент Трейд», ТОВ «Автодизель сервіс» та інші.

Одним із додаткових напрямів діяльності підприємства є реалізація антифрикційних присадок до мастильних матеріалів, що відповідає сучасним вимогам до підвищення надійності та довговічності автотракторних двигунів.

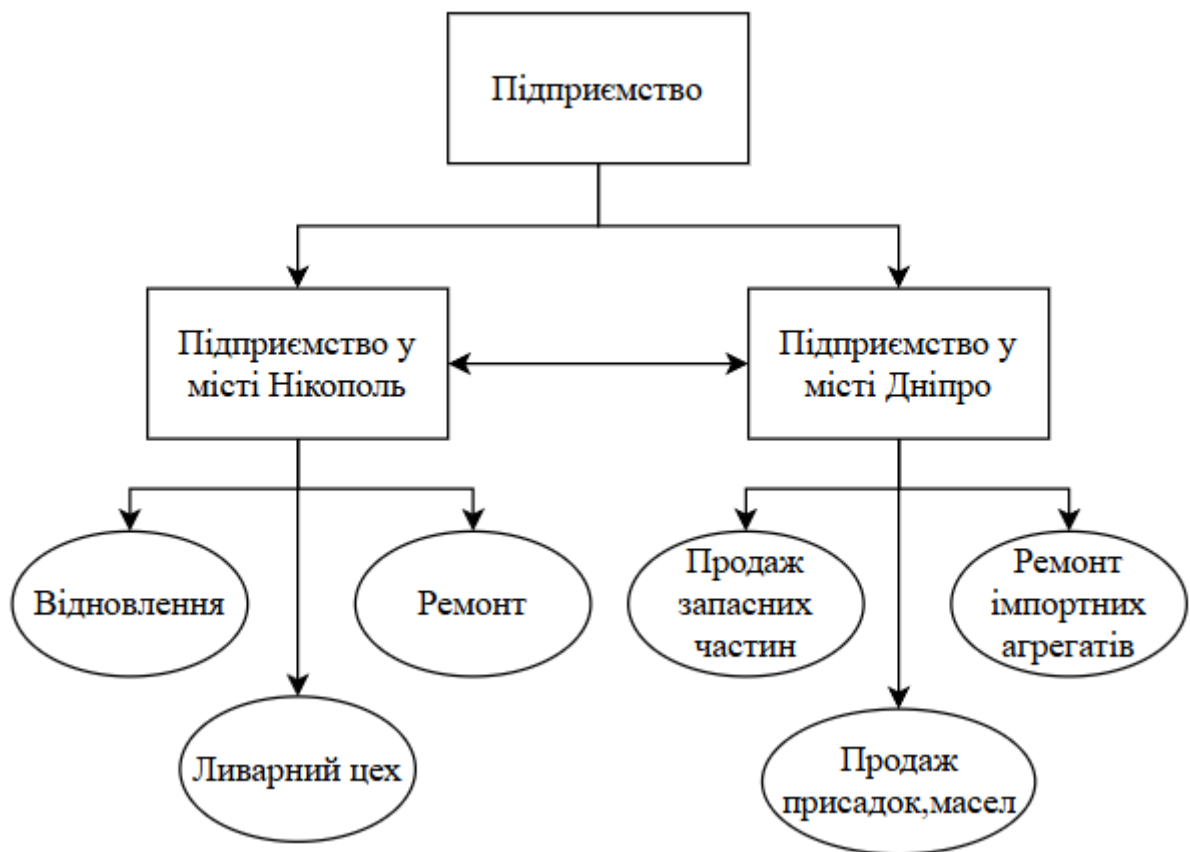


Рисунок 1.1 – Організаційна структура приватного підприємства

1.2. Загальна характеристика ремонтної бази

Ремонтна база приватного підприємства розташована у місті Нікополь, тоді як в місті Дніпрі функціонують адміністративний офіс та склад запасних частин. Виробничі приміщення загальною площею 1350 м² обладнані всіма необхідними інженерними комунікаціями, що забезпечують виконання

ремонтно-обслуговувальних робіт відповідно до діючих санітарно-побутових норм і вимог техніки безпеки.

На території ремонтної бази функціонують такі основні відділення:

- ремонту автотракторних двигунів;
- ремонту коробок передач;
- зварювальне відділення;
- механічна дільниця;
- ливарний цех.

Усі відділення відокремлені глухими стінами, але мають необхідні технологічні зв'язки між собою, що дозволяє організувати раціональний виробничий процес.

Механічне відділення оснащено всім необхідним обладнанням і інструментами для виконання основних механічних операцій: токарних, фрезерних, шліфувальних і свердлильних робіт.

Зварювальне відділення забезпечує виконання ручного газового та електродугового зварювання, вібродугового наплавлення під шаром флюсу, а також електроконтактного приварювання стрічки.

Ливарний цех обладнаний для виготовлення чавунних і алюмінієвих виливків, що застосовуються у виробництві деталей та заготовок різного призначення.

Відділення з ремонту коробок передач спеціалізується на капітальному ремонті коробок тракторів і автомобілів різних марок. Воно оснащено підйомно-транспортним устаткуванням, розбирально-складальними стендами, мийними ваннами та власною установкою для обкатування і випробування коробок передач.

Відділення з ремонту двигунів, площею 216 м² (розміри – 12×18 м), призначене для виконання капітальних ремонтів двигунів. Поточна виробнича програма становить близько 150 двигунів на рік. Дільниця обладнана підйомно-транспортними механізмами, розбирально-складальними стендами, мийними установками, а також робочими місцями дефектувальників, слюсарів,

комплектувальників та ділянкою для обкатувально-випробувальних робіт.

Окрім основного обладнання, усі відділення оснащені допоміжними пристроями та пристосуваннями власного виробництва, які підвищують продуктивність праці та зменшують ризик травматизму під час виконання ремонтних робіт. Колектив відділення з ремонту двигунів налічує 8 висококваліфікованих спеціалістів, здатних самостійно вирішувати складні технічні завдання, пов'язані з відновленням працездатності агрегатів.

Аналіз технічного стану обладнання свідчить, що більшість верстатів і устаткування була придбана у 1980–1990-х роках і нині є морально та фізично застарілою. Це значно обмежує технологічні можливості підприємства та знижує ефективність ремонтних процесів. Протягом останніх років підприємство придбало лише кілька одиниць сучасного розбирально-складального обладнання та допоміжної оснастки, що не є достатнім для забезпечення повного циклу відновлювальних робіт двигунів, коробок передач та інших вузлів машин.

Компонування виробничих ділянок і планування робочих місць потребують удосконалення: не дотримані нормативні параметри проходів, проїздів і відстаней між обладнанням та елементами будівлі, що призводить до порушень техніки безпеки та підвищення трудомісткості технологічних операцій. Також бракує окремих спеціалізованих ділянок, зокрема для ремонту турбокомпресорів — ці роботи нині виконуються безпосередньо на посту у відділенні з ремонту двигунів, що знижує ефективність виробничого процесу.

Філія підприємства в місті Дніпрі спеціалізується на реалізації запасних частин, мастильних матеріалів і антифрикційних присадок, а також виступає посередником у ремонті агрегатів імпоротної техніки. Саме продаж присадок до мастил сьогодні є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку підприємства, що має тенденцію до стабільного зростання.

1.3. Стан машинно-тракторного парку та аналіз технічного забезпечення сільського господарства

Сільськогосподарське виробництво в Україні, незважаючи на реалізацію низки державних програм, реформ та інвестиційних проєктів, залишається недостатньо ефективним [1]. Однією з головних причин цього є незадовільний технічний стан автомобільного, тракторного та сільськогосподарського парку, який перебуває в експлуатації [2–6]. Значна частина машин і механізмів відпрацювала свій нормативний ресурс, що призводить до підвищення витрат на експлуатацію, зниження продуктивності та зростання аварійності техніки.

Ситуація в Дніпропетровській області, як одному з провідних аграрних регіонів України, є показовою для країни в цілому. У структурі машинно-тракторного парку області (рис. 1.1) переважає техніка з великим терміном експлуатації та значним напрацюванням [5–7]. За даними Державної служби статистики України та Головного управління агропромислового розвитку Дніпропетровської області, близько 71 % тракторів, 64 % зернозбиральних комбайнів та понад 62 % вантажних автомобілів мають вік понад 10 років [10]. Такий технічний стан не відповідає сучасним вимогам аграрного виробництва та суттєво обмежує його ефективність.

Віковий склад основних видів техніки наведено в таблиці 1.1, а також графічно представлено на діаграмах (рис. 1.2, 1.3, 1.4).

Таблиця 1.1 – Розподіл техніки машинно-тракторного парку за віковими категоріями

Вікова категорія	Трактори	Комбайни	Автомобілі
до 5 років	8	12	16
5 – 10 років	21	24	22
більше 10 років	71	64	62

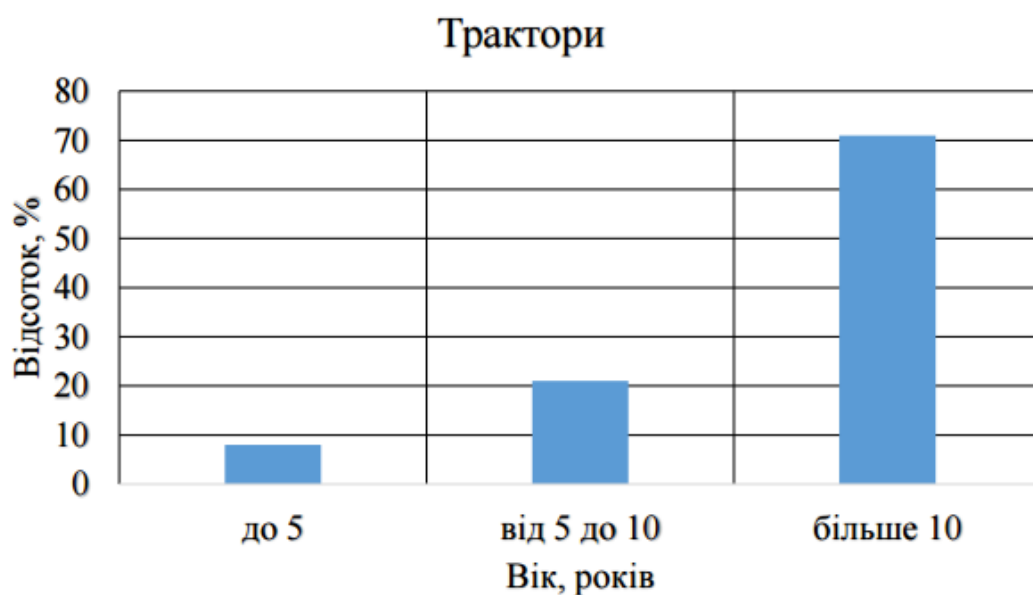


Рисунок 1.2 – Розподіл тракторів машинно-тракторного парку за віковими категоріями

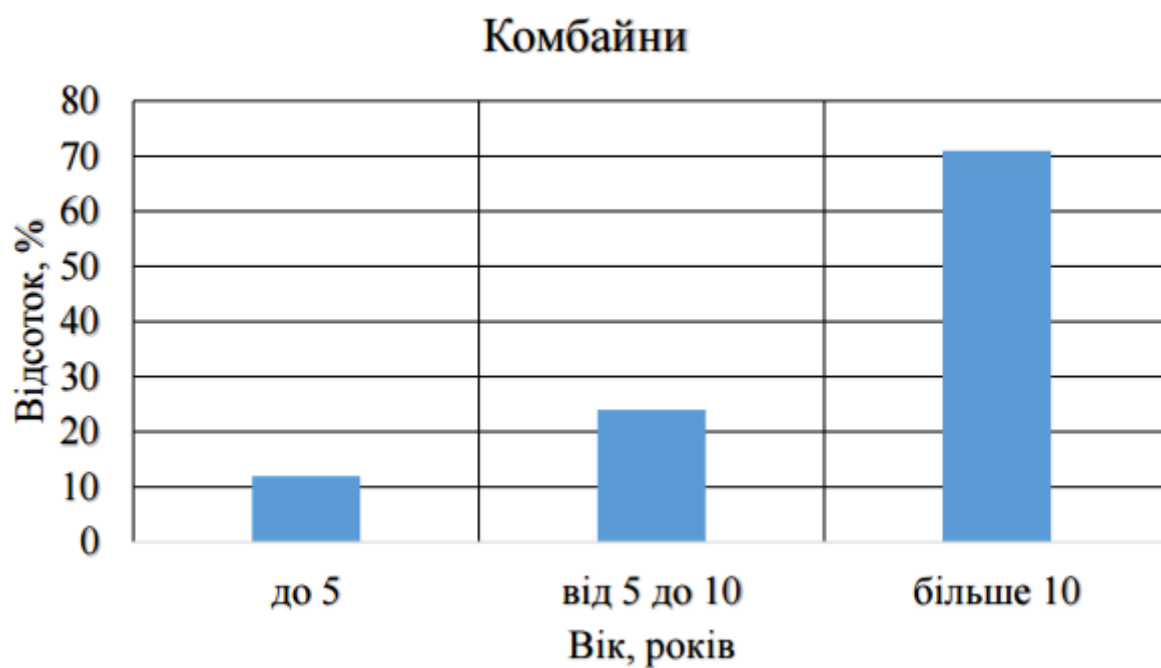


Рисунок 1.3 – Розподіл зернозбиральних комбайнів машинно-тракторного парку за віковими категоріями

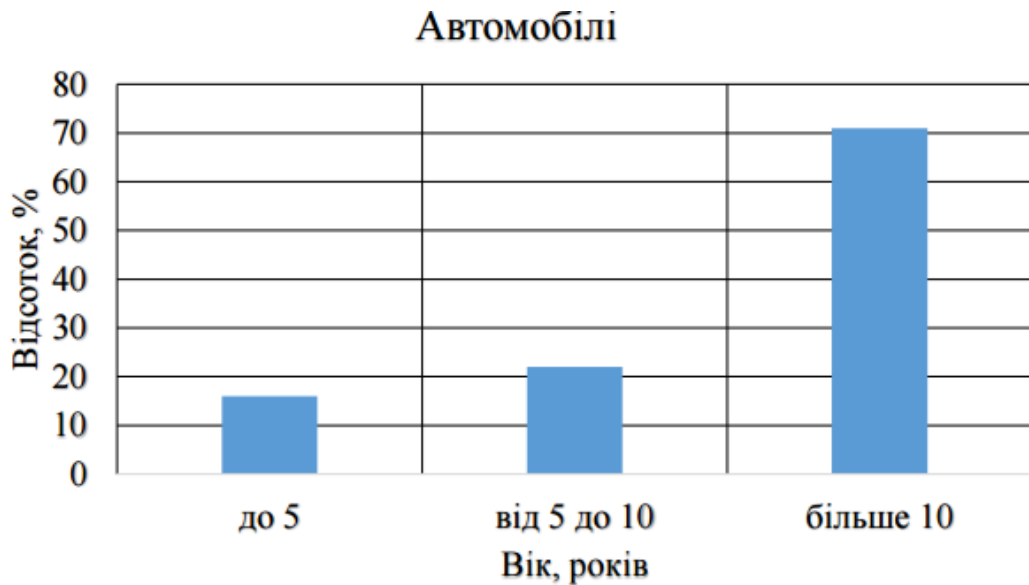


Рисунок 1.4 – Розподіл вантажних автомобілів машинно-тракторного парку за віковими категоріями

На відміну від промислових умов, експлуатація машин і механізмів у сільському господарстві має низку специфічних особливостей, що суттєво впливають на їхній технічний стан, надійність та довговічність. Основні з них полягають у наступному:

1. Мобільний характер роботи техніки. Сільськогосподарські машини переміщуються безпосередньо до об'єкта обробітку, а не навпаки — матеріал до машини. Це означає, що техніка постійно перебуває під дією атмосферних опадів, сонячного випромінювання, пилу, вітрових навантажень, а також ґрунтових факторів, що прискорює процеси зношування та корозії.

2. Взаємодія з живими об'єктами та біологічними процесами. Машини працюють у змінному біологічному середовищі, стан якого залежить від фаз розвитку культур, ґрунтових і кліматичних умов. Це створює змінні навантаження на вузли машин і ускладнює умови їхньої роботи.

3. Чітко обмежені строки виконання робіт. Усі польові операції повинні бути виконані в строго визначені часові проміжки, зумовлені біологічними особливостями культур та кліматичними факторами [9]. Це спричиняє високе навантаження на техніку у короткі періоди інтенсивної експлуатації.

4. Виражена сезонність роботи. Більшість машин використовуються лише протягом 150–300 годин на рік у період активних польових робіт. Решту часу техніка перебуває на зберіганні, переважно на відкритих майданчиках, де піддається впливу атмосферних чинників – опадів, температурних коливань, сонячного випромінювання, вітрових і снігових навантажень [9].

Такі умови експлуатації зумовлюють підвищені вимоги до технічних характеристик тракторів, автомобілів та інших машин, а також до рівня їх технічного обслуговування. Унаслідок впливу зазначених факторів відбувається прискорене зношування, старіння та деградація експлуатаційних властивостей техніки [11].

Так, за результатами досліджень Н.Є. Зиміна, після 10 років експлуатації тракторів спостерігається:

- збільшення простоїв на 14 %;
- зменшення річного напрацювання на 16,4 %;
- подвоєння витрат на ремонт і технічне обслуговування порівняно з

другим роком експлуатації [12].

Враховуючи значний вік і незадовільний технічний стан більшості автомобілів і тракторів, що використовуються у сільському господарстві, науковці та фахівці з експлуатації машинно-тракторного парку підкреслюють необхідність прискореного оновлення техніки або принаймні покращення її експлуатаційних характеристик за рахунок удосконалення трибологічних систем, впровадження новітніх ремонтно-відновлювальних технологій і підвищення якості технічного обслуговування [7–9, 13].

Сьогодні структура машинно-тракторного парку України має такий вигляд (рис. 1.5):

- 70–80 % – вітчизняна техніка віком понад 5 років;
- 15–20 % – техніка виробництва країн СНД віком до 5 років;
- 5–10 % – імпортна техніка всіх вікових категорій [10, 13].

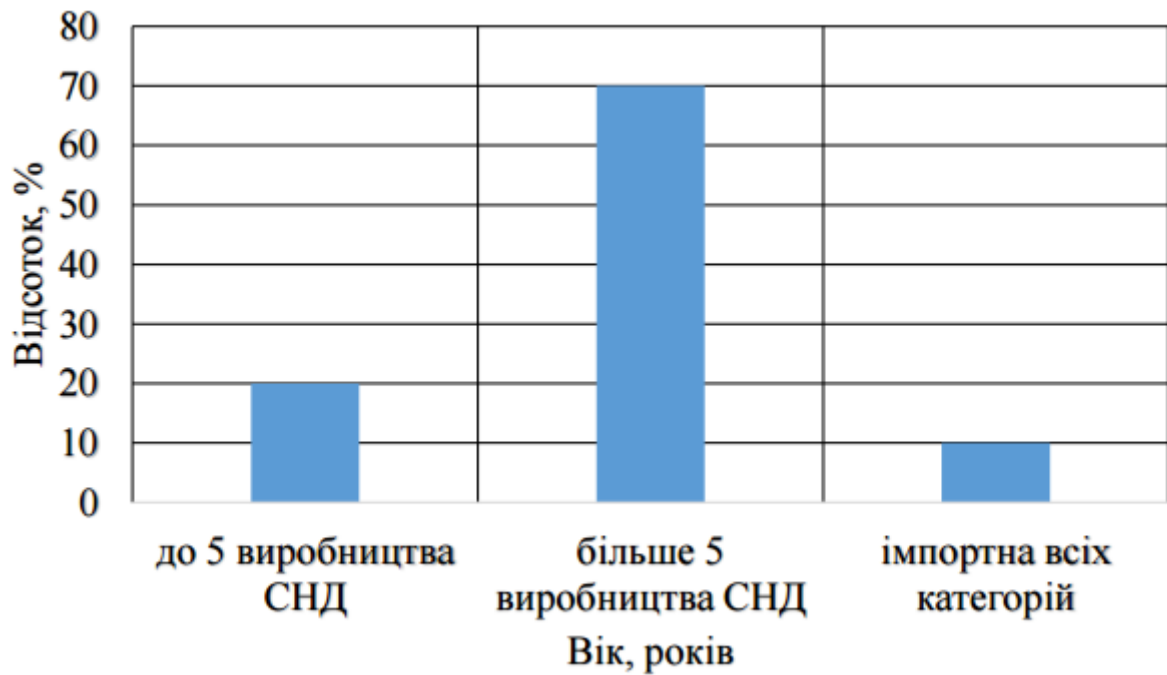


Рисунок 1.5 – Розподіл тракторів машинно-тракторного парку за віковими категоріями

В умовах, що склалися в аграрному секторі України, можна було б очікувати, що головне навантаження щодо підтримання працездатності сільськогосподарської техніки ляже на ремонтно-обслуговуючу базу агропромислового комплексу. Проте фактична ситуація свідчить про протилежне: виробничі потужності ремонтних підприємств нині завантажені лише на 10–15 %. Обсяги виконання капітальних ремонтів повнокомплектних машин на спеціалізованих підприємствах скоротилися у десятки разів, а кількість ремонтів двигунів — приблизно удвічі [10].

Однією з головних причин такого стану є недостатня якість ремонтних робіт. Дослідження, проведені Н. Є. Зиміним [12], показали, що середній річний і змінний напрацювання відремонтованих тракторів становить лише 85–93 % у порівнянні з новими машинами. Крім того, витрати на ремонт і технічне обслуговування, розраховані на умовний еталонний гектар виконаних робіт, вищі на 20–47 %. Хоча капітальний ремонт дозволяє знизити витрати на підтримання працездатності техніки у 1,8–2,4 раза, це ефективно лише на початкових етапах експлуатації після ремонту.

Другою причиною зниження обсягів ремонтів є висока

матеріаломісткість, енергоємність та трудомісткість традиційних ремонтних технологій. Класичні методи передбачають повне розбирання агрегатів, відновлення зношених деталей і повторне складання, що потребує значних ресурсів та високої кваліфікації персоналу. У сукупності ці чинники роблять традиційні підходи до ремонту дорогими та економічно малопривабливими.

Ще одним важливим чинником є дефіцит фінансових ресурсів у сільськогосподарських підприємств, що унеможлиблює проведення повноцінних ремонтів, модернізацію техніки та поліпшення її експлуатаційних характеристик. У багатьох випадках витрати на капітальний ремонт виявляються настільки високими, що їх виконання стає економічно недоцільним.

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають пошуки альтернативних технологій підтримання працездатності автотракторної техніки, зокрема впровадження безрозбірних методів відновлення вузлів і агрегатів, застосування сучасних антифрикційних присадок та ремонтно-відновлювальних препаратів (РВП). Це дозволяє суттєво знизити вартість відновлення, підвищити надійність та продовжити ресурс техніки без необхідності капітальних втручань.

1.4. Види й характеристики присадок у систему мащення двигуна

На сучасному етапі розвитку технічного сервісу автотракторної техніки застосовується широкий спектр присадок до мастильних матеріалів, які суттєво впливають на роботу двигуна внутрішнього згоряння, покращують його експлуатаційні характеристики та продовжують ресурс роботи. За структурою, складом активних елементів і механізмом дії на поверхні тертя ці присадки поділяються на кілька основних груп (рис. 1.6) [14, 15]:

- Реметалізатори поверхонь тертя – сполуки, що забезпечують відновлення пошкоджених поверхонь тертя за рахунок осадження металу або його сполук на робочі поверхні, формуючи тонкий захисний шар. Це дозволяє зменшити зношування, покращити умови змащування і підвищити ресурс вузлів тертя.

– Полімерні антифрикційні препарати – присадки на основі високомолекулярних сполук, які створюють на поверхнях тертя тонку полімерну плівку. Вона зменшує коефіцієнт тертя, стабілізує роботу вузлів при змінних навантаженнях та температурних коливаннях.

– Епіламні (епіламоподібні) і металоорганічні антифрикційні сполуки відновлювальної дії – речовини, які утворюють на поверхнях тертя міцні захисні шари хімічно зв'язаних сполук. Вони знижують інтенсивність зношування та сприяють частковому самовідновленню робочих поверхонь.

– Кондиціонери та рекондиціонери металу – спеціальні добавки, що змінюють структуру поверхневого шару металу, підвищують його міцність і зносостійкість. Це покращує умови роботи вузлів тертя, знижує втрати на тертя та запобігає передчасним відмовам.

– Ремонтно-відновлювальні препарати на основі мінеральних порошоків – присадки, які містять дисперсні мінеральні частинки, що під дією температури та тиску утворюють захисні покриття на поверхнях тертя. Вони ефективні для зниження зношування деталей із підвищеним рівнем пошкоджень.

– Шаруваті модифікатори тертя – композиційні матеріали, які формують на поверхнях тертя багат шарові покриття з високими антифрикційними властивостями. Такі присадки особливо ефективні при високих навантаженнях і температурах, характерних для сучасних дизельних двигунів.

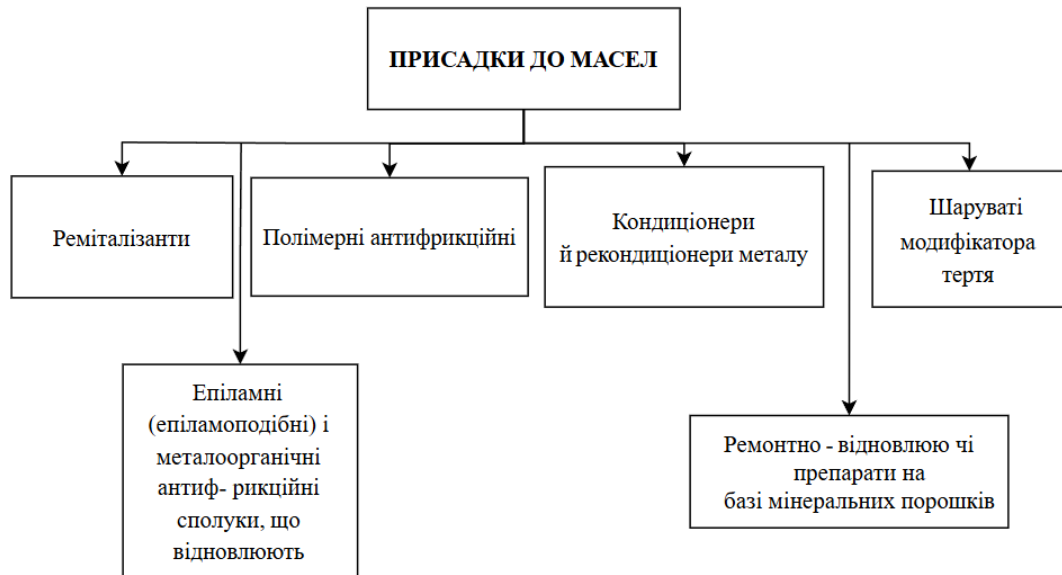


Рисунок 1.6. – Класифікація антифрикційних присадок до мастильних матеріалів

Антифрикційні присадки до мастильних матеріалів відіграють важливу роль у підвищенні надійності та довговічності автотракторних двигунів, зменшуючи інтенсивність зношування та покращуючи умови роботи трибологічних систем. Нижче наведено характеристику основних груп таких присадок, що застосовуються в сучасних двигунах внутрішнього згорання.

Реметалізатори поверхонь тертя

Це сполуки, у яких іони м'яких металів утримуються в нейтральному носії, повністю розчинному в оливі. Потрапляючи в зону тертя, ці іони заповнюють мікронерівності та формують плакуючий захисний шар, що частково відновлює поверхню [16]. З'єднання шару з основним металом відбувається на механічному рівні, однак його твердість і зносостійкість значно нижчі, ніж у сталі або чавуну, з яких виготовлені деталі двигуна. Для підтримання шару необхідна постійна присутність реметалізатора в оливі – після її заміни ефект швидко зникає. Навіть короточасна відсутність присадки може призвести до «зістругування» шару поршневими кільцями, особливо під час запуску двигуна, що іноді викликає заклинювання.

Приклади марок: *Lubrifilm Metal*, *Римет*, *Римет-Т*, *Motor Healer*, *СуперМЕТ*, *Ресурс*, *Remetall*, *Renom*, *М-Пульс 200*.

Полімерні антифрикційні препарати

Ця група з'явилася однією з перших і спочатку створювалася для оборонної техніки, зокрема для збереження її рухомості при пошкодженні масляної системи. У звичайних двигунах полімерні присадки демонструють тимчасове підвищення потужності та зменшення витрати палива. Однак при подальшому розбиранні двигуна виявляється, що масляні канали частково закупорюються полімером, що зменшує їхній прохідний переріз і підвищує тиск оливи. Це негативно позначається на роботі підшипників, а після зникнення полімерного шару різко зростає зношування і витрата палива.

Додатково, висока концентрація полімеру (до 4 %) може змінювати фізико-хімічні властивості базової оливи [17, 18].

Приклади марок: *Аспект-Модифікатор*, *PMF-200*, *Slider-2000*, *Форум*, *Універсальний модифікатор*, *Супер Форум*, *Slik-50R*.

Епіламні та металоорганічні антифрикційні сполуки

Принцип їхньої дії полягає у формуванні епіламних шарів на поверхнях тертя двигуна. Під впливом високих тисків і температур у зоні контакту відбуваються локальні хімічні реакції, унаслідок яких виступи шорсткостей згладжуються, а западини заповнюються продуктами реакції – сполуками металів. Це призводить до підвищення чистоти поверхні на 60–80 %, значного зростання поверхневої твердості та зносостійкості [14, 19].

Кондиціонери та рекондиціонери металів

Ці препарати впливають на структуру поверхневого шару металу, доставляючи необхідні компоненти для його відновлення або зміцнення. Механізм їхньої дії базується на адсорбції поверхнево-активних речовин (ПАР), таких як сполуки фторокарбонатів, кварцових смол чи ефірів рослинного походження, на робочих поверхнях. Це дає змогу суттєво зменшити втрати на тертя та інтенсивність зношування, особливо під час запуску, розгону та перевантажень [20, 21].

Приклади марок: *Energy Release*, *FENOM*, *SMT2*, *STP*.

Ремонтно-відновлювальні препарати на основі мінеральних порошків (геомодифікатори тертя)

Це найперспективніша група присадок для підвищення надійності двигунів внутрішнього згоряння. Їхня дія ґрунтується на властивостях серпентиніту ($\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{H}_2$) — мінералу, відкритого в СРСР під час буріння надглибоких свердловин на Кольському півострові [22].

Потрапляючи в зону тертя, геомодифікатори ініціюють процеси самоорганізації поверхневого шару, змінюючи його структуру у вигідному триботехнічному напрямі. Додавання порошку в мастильний матеріал (0,01–3 % мас.) порушує динамічну рівновагу між процесами руйнування та відновлення на користь останніх. Присадка забезпечує утворення піролітичного вуглецю та зміцнення граничного шару, що дозволяє «повертати» частину матеріалу, втраченої внаслідок зношування [23].

Попри унікальні властивості, геомодифікатори не є універсальним рішенням для всіх випадків зношування, що частково обмежує їх широке застосування.

Приклади марок: *PBC, Живий метал, Motor Doctor, Forsan, Supro, Хаддо, Ceramic Gear Treatment*.

Шаруваті модифікатори тертя

Ці присадки містять речовини з низьким зусиллям зсуву між шарами, наприклад дисульфід молібдену (MoS_2), диселенід молібдену (MoSe_2), дисульфід вольфраму (WS_2), графіт та інші. У кристалічній структурі графіту атоми розташовані в паралельних площинах на відстані близько 0,34 нм, що забезпечує їхнє легке переміщення відносно одна одної під час тертя. Це дозволяє розділяти тертьові поверхні та знижувати інтенсивність зношування.

Проте в сучасних умовах такі присадки рідко застосовуються у складі моторних олиव для двигунів внутрішнього згоряння через обмежену ефективність у стандартних режимах експлуатації.

Приклади марок: *Oil Additiv, Motor Protect, Getriebeöl Additiv*.



Рисунок 1.7 – Асортимент присадок до масла, який реалізуються підприємством

Висновок та завдання

Виходячи з проведеного аналізу літературних джерел, технічного стану машинно-тракторного парку та сучасних методів підвищення довговічності трибологічних систем, можна сформулювати такі висновки:

- проблема підвищення зносостійкості та довговічності робочих поверхонь тертя автотракторних двигунів залишається актуальною й сьогодні, оскільки більшість машин працює в складних умовах експлуатації та має значний термін служби;
- існуючі методи ремонту й відновлення не завжди забезпечують бажану ефективність, а традиційні технології є надто трудо-, енерго- та матеріаломісткими;
- дослідження впливу антифрикційних препаратів на роботу сполучення «шийка – вкладиш» колінчастого вала автотракторних двигунів висвітлені недостатньо, що обумовлює необхідність проведення додаткових експериментальних і теоретичних досліджень;
- впровадження ремонтно-відновлювальних технологій та сучасних антифрикційних присадок може стати ефективним засобом підвищення надійності, довговічності та ресурсу автотракторних двигунів без необхідності

їх повного розбирання.

У зв'язку з цим у даній дипломній роботі поставлено такі основні завдання:

- дослідити трибологічні процеси, що відбуваються у сполученні «шийка – вкладиш» колінчастого вала автотракторних двигунів;
- розглянути можливість застосування антифрикційних присадок у моторні оливи як одного з ефективних методів підвищення працездатності та ресурсу вкладишів колінчастого вала;
- розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки, а також рекомендації щодо дій у надзвичайних ситуаціях;
- здійснити техніко-економічну оцінку запропонованих рішень для визначення їх ефективності в умовах реальної експлуатації сільськогосподарської техніки.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Деякі питання теорії тертя

Проблеми тертя та зношування твердих тіл мають багатовікову історію досліджень і залишаються надзвичайно актуальними для сучасного машинобудування, зокрема й для підвищення надійності автотракторних двигунів. Значний внесок у розвиток теорії тертя зробили такі видатні науковці, як Леонардо да Вінчі та М. В. Ломоносов, Г. Амонтон і Ш. Кулон, М. Петров і Л. Ейлер, Д. І. Менделєєв і О. Рейнольдс, А. Зоммерфельд, А. Паран, Д. Леслі, Л. Гюмбель, І. Дезагюльє, М. Бріллюен, В. Гарді, Р. Томлінсон, Б. Дерягін, І. В. Крагельський, М. М. Резніковський, М. М. Хрущов та інші вчені [24–28].

За результатами багаторічних досліджень сформувалися п'ять основних теорій тертя, які пояснюють його природу з різних позицій:

– Механічна обчислюється за формулою 2.1:

де: F – сила тертя, Н;

f – коефіцієнт тертя;

N – нормальне навантаження, прикладене перпендикулярно до площини тертя, Н.

Першою спробою наукового пояснення природи тертя стала механічна теорія, запропонована Гійомом Амонтоном у 1699 році. Вона розглядала тертя при контакті твердих тіл без застосування мастильних матеріалів, тобто так зване сухе тертя. Згідно з цією теорією, сили тертя виникають унаслідок мікронерівностей поверхонь, які при русі одного тіла по іншому зчіплюються між собою, викликаючи опір руху.

Амонтон сформулював основні закони сухого тертя, які згодом стали класичними:

1. Сила тертя пропорційна нормальному навантаженню.
2. Сила тертя не залежить від площі контакту між тілами.
3. Сила тертя не залежить від швидкості руху в діапазоні невеликих швидкостей ковзання.

Механічна теорія заклала основу для подальшого розвитку уявлень про природу тертя, однак її обмеження полягають у тому, що вона не враховує впливу молекулярних сил взаємодії, стану поверхневих шарів матеріалів та ролі мастильних речовин.

– Молекулярна, розраховується за формулами 2.2 – 2.4:

A – характеристика молекулярного зчеплення.

ρ – додатковий тиск, зумовлений силами іонно-атомного притягання, Па;

S – реальна площа контакту поверхонь тертя, м²;

f_0 — значення коефіцієнта тертя за умови, що сила тиску P_0 рівна нулю;

S_0 — площа фактичного контакту поверхонь;

P_0 — питомий тиск молекулярного притягання.

Молекулярна теорія тертя виникла як розвиток механічних уявлень і враховує вплив міжмолекулярних сил взаємодії між контактуючими поверхнями. Згідно з цією теорією, сила тертя зумовлена не лише мікронерівностями поверхонь, а й адгезією (молекулярним зчепленням), яка виникає між атомами й молекулами матеріалів, що контактують.

Коли дві поверхні твердих тіл притискаються одна до одної під дією нормального навантаження, між їхніми атомами на мікрорівні встановлюються міжмолекулярні сили притягання (ван-дер-ваальсові сили або хімічні зв'язки). Унаслідок цього на мікроділянках контакту утворюються адгезійні зв'язки, які під час відносного переміщення тіл мають бути розірвані. Саме подолання цих зв'язків і становить основну частину сили тертя.

Особливістю молекулярної теорії є те, що реальна площа контакту значно менша за геометричну площу поверхонь через наявність мікронерівностей. Проте зі збільшенням навантаження або під дією високих температур кількість активних контактів зростає, що призводить до збільшення сили тертя.

Молекулярне зчеплення відіграє особливо важливу роль у випадках:

- тертя між гладко відполірованими поверхнями;
- наявності мастильних матеріалів, що формують тонкі плівки;
- роботи вузлів тертя в умовах високих температур і тисків.

Таким чином, молекулярна теорія пояснює явище тертя як результат адгезійної взаємодії на атомно-молекулярному рівні. Вона доповнює механічну теорію, розкриваючи природу сил тертя не лише як наслідок шорсткості поверхонь, а й як результат внутрішніх сил зв'язку між матеріалами.

Вагомий внесок у розвиток молекулярної теорії тертя зробив Б. В. Дерягін (1934 р.), який запропонував власну модифікацію цієї теорії. Учений довів, що сила тертя значною мірою визначається молекулярним притяганням між поверхнями тіл по площі їхнього фактичного контакту, а не лише геометричними параметрами чи шорсткістю поверхонь. Саме величина реальної площі дотику визначає інтенсивність міжмолекулярних сил адгезії, які створюють додатковий тиск у зоні контакту і, як наслідок, впливають на силу тертя.

– молекулярно-механічна розраховується за формулами 2.5 та 2.6:

де: $F_{\text{мех}}, F_{\text{мол}}$ – механічна та молекулярна складові сили тертя;

$f_{\text{мех}}, f_{\text{мол}}$ – механічна та молекулярна складові коефіцієнту тертя.

Молекулярно-механічна концепція тертя, запропонована І.В. Крагельським у 1946 році, пояснює природу тертя як сумарний ефект дії контактних мікронерівностей і молекулярних взаємодій між матеріалами на ділянках реального дотику.

– Гідродинамічна, розраховується за формулою 2.7:

де: Q — площа контакту тертьових поверхонь;

U — швидкість відносного руху між поверхнями, що труться;

μ — динамічна (або абсолютна) в'язкість мастила;

λ — коефіцієнт граничного тертя на стику між шипом і підшипником;

δ — зазор між поверхнями шипа та підшипника.

Засновником гідродинамічної теорії тертя вважається вітчизняний науковець Н.А. Петров, який ще у 1883 році сформулював закон тертя в умовах мащення, заклавши тим самим підґрунтя для розвитку математичної теорії змащування.

Основна ідея цієї теорії полягає в тому, що при рідинному терті

(гідродинамічному режимі) основну роль у виникненні сил тертя відіграє в'язкісний опір шару мастила. Згідно з законом Ньютона, ці сили пропорційні швидкості переміщення поверхонь, що труться.

– Енергетична, розраховується за формулою 2.8:

де: s – відстань, яку проходить тіло під дією сил тертя;

W – енерговитрати, пов'язані з подоланням опору тертя.

Енергетичний підхід до пояснення природи тертя, запропонований А.Д. Дубініним у 1952 році, ґрунтується на припущенні, що енергія, яка витрачається в процесі пластичної деформації, трансформується у форму теплової енергії, потенційну енергію деформованого шару, а також частково зберігається як пружна енергія. Згодом ця концепція була доповнена дослідженнями А. Тросса та Г.К. Фляйшера.

Отже, відповідно до механічної теорії тертя, інтенсивність зношування деталей значною мірою залежить від величини коефіцієнта тертя.

2.2. Дослідження впливу присадок у оливу на роботу пар тертя

Ключовими факторами, що призводять до зношування елементів автотракторних двигунів, є явища тертя та втомного руйнування металу. Знос внаслідок тертя проявляється під час взаємодії спряжених поверхонь деталей у процесі експлуатації. У зоні контакту, внаслідок мікроскопічного різання, пружної і пластичної деформації, а також утворення і руйнування окисних плівок чи металевих зчеплень, відбувається пошкодження поверхні, що супроводжується зміною геометрії та розмірів деталей.

Розмірне зношення фіксується шляхом високоточних вимірювань інструментом, який дозволяє отримати точність у межах 0,002–0,010 мм. На основі результатів вимірювань обчислюють фактичний обсяг зносу, швидкість зношування, строк експлуатації деталей і загальний ресурс роботи машини.

Для ілюстрації наведемо приклад процесу зношування шийок колінчастого валу двигуна марки John Deere RE20585.

Таблиця 2.1 - Початкові параметри для визначення діаметра зношеної корінної шийки колінчастого вала двигуна John Deere RE20585

Марка дизеля	Діаметр шийки, мм	Ресурс до серед- нього ремонту Т, тис. г.	Напрацювання t, тис. г.
John Deere RE20585	Корінна $d_p = 79.730$	18	20

Розрахунок радіального зносу корінної шийки колінчастого вала за період експлуатації t проводиться за формулою 2.9:

де d_n — початковий розмір діаметра шийки колінчастого вала, мм;

d_1 — розмір діаметра після відпрацьованого ресурсу t , мм.

Під час дослідження зношування елементів автотракторних двигунів виділяють три типи швидкості зношування: дійсну, середню та розрахунково-нормативну, які визначаються за відповідними формулами [29].

Дійсна швидкість зношування обчислюється за формулою 2.10. Середня швидкість зношування розраховується за формулою 2.11:

де N — кількість вимірних об'єктів (шийок колінчастого вала).

Обчислення виконуються за допомогою табличного редактора Microsoft Excel, а підсумкові дані фіксуються у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Підрахунок середнього значення швидкості зношування

№	d_p , мм	d_1 , мм	W, мм	$\xi_f \cdot 10^3$, мм/т. г.	ξ_{CP} , мм/т. г.
1		79,637	0,0465	2,3	
2		,635	0,0475	2,4	
3		,626	0,052	2,6	
4		,625	0,0525	2,6	
5		,614	0,058	2,9	
6		,617	0,0565	2,8	
7		616	0,057	2,85	

8	79,730	,615	0,0575	2,88	$3,36 \cdot 10^{-3}$
9		,615	0,0575	2,88	
10		,607	0,0615	3,07	
11		,603	0,0635	3,18	
12		,605	0,0625	3,13	
13		,604	0,0630	3,15	
14		,606	0,0620	3,10	
15		,604	0,0630	3,15	
16		,606	0,0620	3,10	
17		,60	0,0650	3,25	
18		,605	0,0625	3,13	
19		,594	0,0680	3,40	
20		,594	0,0680	3,40	
21		,597	0,0665	3,33	
22		,597	0,0665	3,33	
23		,596	0,0670	3,35	
24		,596	0,0670	3,35	
25		,596	0,0670	3,35	

26		,595	0,0675	3,38	
27		,595	0,0675	3,38	
28		,595	0,0675	3,38	
29		,586	0,0720	3,75	
30		,587	0,0715	3,58	
31		,585	0,0725	3,63	
32		,584	0,0730	3,65	
33		,584	0,0730	3,65	
34		,587	0,0715	3,58	
35		,586	0,0720	3,60	
36		,585	0,0725	3,63	
37		,585	0,0725	3,63	
38		,573	0,0785	3,93	
39		,574	0,0780	3,90	
40		,577	0,0765	3,83	
41		,576	0,0770	3,85	
42		,575	0,0775	3,88	
43		,564	0,083	4,15	
44		,565	0,0825	4,13	
45		79,555	0,0875	4,3	

Таблиця 2.3 – Підсумки статистичної обробки даних швидкостей зношування шийок колінчастого вала двигуна John Deere RE20585

№ інтервалу	$\xi_{n_{\min}}=2,3 \cdot 10^{-3}$ мм/т.г. $\xi_{n_{\max}}=4,3 \cdot 10^{-3}$ мм/т.г. $\Delta \xi_{10}=0,2 \cdot 10^{-3}$ мм/т.г.				
	Швидкість зношування, мм/тис. г.			Кількість значень швидкостей зношування $n_{\xi i}$	Імовірність появи значень швидкостей зношування в кожному інтервалі p_i
	Найменша $\xi_{i\min} \cdot 10^{-3}$	Найбільша $\xi_{i\max} \cdot 10^{-3}$	Середня $\xi_{i\text{ср}} \cdot 10^{-3}$		
1	2,3	2,5	2,4	2	0,044
2	2,51	2,71	2,61	2	0,044
3	2,72	2,92	2,82	5	0,111
4	2,93	3,13	3,03	5	0,111
5	3,14	3,34	3,24	6	0,133
6	3,35	3,55	3,45	8	0,177
7	3,56	3,76	3,66	9	0,200
8	3,77	3,97	3,87	5	0,111
9	3,98	4,18	4,08	2	0,044
10	4,19	4,39	4,29	1	0,022

Для обчислення середньоквадратичного відхилення σ_{ξ} проводимо (див. табл. 2.3) статистичну обробку швидкостей зношування N зразків у такій послідовності:

- зі сформованого ряду значень швидкостей зношування обираємо найменше $\xi_{\min}$ та найбільше $\xi_{\max}$ значення;
- визначаємо інтервал розсіювання отриманих швидкостей зношування за формулою 2.12:

$$R = 2,3 \cdot 10^{-3} - 4,3 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мм/тис.г}$$

- здійснюємо поділ діапазону розсіювання швидкостей зношування на десять однакових підінтервалів $\Delta\xi_{10}$;
- визначаємо середні значення швидкостей зношування для кожного інтервалу $\xi_{\text{ср}i}$, а також підраховуємо кількість спостережень $n_{\xi i}$, що потрапляють у відповідний інтервал;
- для кожного підінтервалу обчислюємо ймовірність p_i появи значень швидкості зношування в загальному обсязі вибірки N за формулою 2.13.

Розрахунок ключових характеристик закону розподілу проводиться за наступними виразами:

Очікуване значення (математичне сподівання) визначається за формулою 2.14. Середнє квадратичне відхилення, розраховується за формулою 2.15.

$$M_{\xi} = \frac{4,6 + 5,2 + 13,6 + 14,65 + 18,84 + 28,4 + 32,04 + 18,85 + 7,96 + 4,19 \cdot 10^{-3}}{45} = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{\frac{1,62 + 0,952 + 1,152 + 0,365 + 0,021 + 0,18 + 1,166 + 1,624 + 1,216 + 0,98 \cdot 10^{-6}}{45 - 1}} = 0,459 \cdot 10^{-3}$$

Усі розрахункові операції зручно виконувати у вигляді таблиці (табл. 2.4.) з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel.

Параметр розподілу значень швидкості зношування розраховується за наступною формулою 2.16:

$$m = \left(\frac{3,36 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-3}}{0,459 \cdot 10^{-3}} \right)^2 + 0,5 = 5,8$$

ухвалюємо $m=6$.

Таблиця 2.4 - Розрахунки математичного очікування й середнього квадратичного відхилення

№ інте- рвалу	$\xi_{i_{cp}} \cdot 10^3$	$n\xi_i$	$\xi_{i_{cp}} \cdot n\xi_i$	$\xi_{i_{cp}} - m(\xi)$	$[\xi_{i_{cp}} - m(\xi)]^2$	$[\xi_{i_{cp}} - m(\xi)]^2 \cdot n\xi_i$
1	2,3	2	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$-0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,81 \cdot 10^{-6}$	$1,620 \cdot 10^{-6}$
2	2,51	2	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$-0,69 \cdot 10^{-3}$	$0,476 \cdot 10^{-6}$	$0,952 \cdot 10^{-6}$
3	2,72	5	$13,6 \cdot 10^{-3}$	$-0,48 \cdot 10^{-3}$	$0,230 \cdot 10^{-6}$	$1,150 \cdot 10^{-6}$
4	2,93	5	$14,65 \cdot 10^{-3}$	$-0,27 \cdot 10^{-3}$	$0,073 \cdot 10^{-6}$	$0,365 \cdot 10^{-6}$
5	3,14	6	$18,84 \cdot 10^{-3}$	$-0,06 \cdot 10^{-3}$	$0,003 \cdot 10^{-6}$	$0,018 \cdot 10^{-6}$
6	3,35	8	$28,4 \cdot 10^{-3}$	$0,15 \cdot 10^{-3}$	$0,022 \cdot 10^{-6}$	$0,176 \cdot 10^{-6}$
7	3,56	9	$32,04 \cdot 10^{-3}$	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$0,130 \cdot 10^{-6}$	$1,170 \cdot 10^{-6}$
8	3,77	5	$18,85 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,325 \cdot 10^{-6}$	$1,625 \cdot 10^{-6}$
9	3,98	2	$7,96 \cdot 10^{-3}$	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$0,608 \cdot 10^{-6}$	$1,216 \cdot 10^{-6}$
10	4,19	1	$4,19 \cdot 10^{-3}$	$0,99 \cdot 10^{-3}$	$0,980 \cdot 10^{-6}$	$0,980 \cdot 10^{-6}$

Нормативна швидкість зношування визначається за формулою 2.17:

$$\xi_H = \frac{3,36 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15,8 + 2 \cdot 6 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6} = 3,69 \cdot 10^{-3} \text{ мм/тис.г}$$

де: ξ_{min} – найменше значення швидкості зносу серед перевірених зразків, мм/тис. годин;

k_{80} – коефіцієнт функції розподілу для швидкостей зношування, приймається відповідно до напрацювання t за довідковими джерелами [29]; у даному випадку $k_{80} = 15,8$.

Розмір шийки колінчастого вала, що потребує відновлення до початкового номінального значення, за формулою 2.18:

$$d_{розр} = 79,730 - 2 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 79,596 \text{ мм}$$

Під час моделювання процесу зношування із застосуванням присадки до моторної оливи, середня швидкість зношування становить:

$$2,85 \cdot 10^{-3} \text{ мм/тис. год.}$$

У такому випадку розмір шийки колінчастого вала, що необхідно відновити до стандартного номіналу, дорівнюватиме:

$$d_{\text{розр}}^{\text{прис}} = 79,730 - 2 \cdot 2,85 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 79,616 \text{ мм}$$

Обчислимо залишковий експлуатаційний ресурс за формулою 2.19:

$$T_{\text{рес}} = 79,616 - 79,596 = 0,02 \text{ мм}$$

Отже, застосування присадок дозволяє зберегти 0,02 мм робочого ресурсу колінчастого вала, що еквівалентно економії 15 % від загального зносу.

Висновок

Проведені розрахунки свідчать, що додавання антифрикційних присадок до моторної оливи забезпечує зменшення швидкості зношування шийок колінчастого вала на 15–20%, а вкладишів — до 61%. Це дозволяє подовжити термін експлуатації вузла без його демонтажу.

3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Характеристика масел та присадок до них

У ході роботи проведено експериментальне дослідження ефективності присадки ХАДО, яку додавали до моторної оливи Castrol MAGNATEC 10W-40 АЗ/В4.

Високотехнологічна присадка Xado Revitalizant EX120 + 12 % (рис. 3.1) призначена для відновлення зношених поверхонь і забезпечення надійного протизношувального захисту деталей бензинових та газових двигунів, зокрема тих, що працюють на зрідженому природному газі.

Даний ревіталізатор рекомендовано до використання у всіх типах бензинових і газових двигунів, включаючи форсовані модифікації та агрегати з турбонаддувом. Його ефективність полягає у формуванні металокерамічного шару на поверхнях тертя, що забезпечує відновлення геометрії та зниження інтенсивності зношування елементів циліндро-поршневої групи, газорозподільного та кривошипно-шатунного механізмів [30].

Послідовність використання присадки:

- Перший етап. Прогріти двигун до робочої температури, після чого внести вміст тубика у маслозаливний отвір, дотримуючись рекомендованого дозування. Дати двигуну попрацювати на холостих обертах 5–10 хвилин, після чого можна продовжити експлуатацію автомобіля у звичайному режимі.

- Другий етап. Повторити обробку після пробігу 100–250 км.

- Третій етап. Здійснити аналогічну процедуру ще через 100–250 км.

Рекомендовані норми дозування наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендоване дозування присадки ХАДО

Об'єм маслосистеми двигуна, л	3-10	11-20	21-30
Кіл-ть ревіталізатора (9 мл), шт	3	6	9
Схема поетапної обробки	1+1+1	2+2+2	3+3+3
Кіл-ть ревіталізатора для нових двигунів, шт	2	4	6

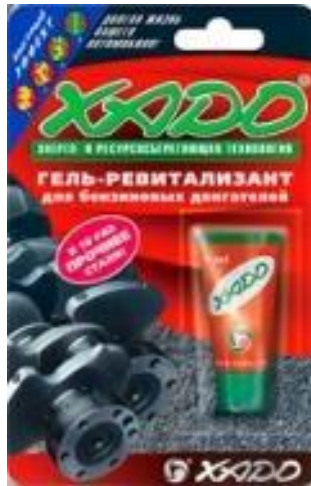


Рисунок 3.1 – Присадка ХАДО

Опис продукту.

Моторна олива Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4 є напівсинтетичним мастильним матеріалом, виготовленим із високоякісної сировини з використанням сучасних технологій. Під час роботи двигуна активні молекули оливи утворюють захисну плівку, що міцно з'єднується з металевими поверхнями деталей. Такий шар забезпечує довготривалий протизношувальний ефект, зменшує тертя та запобігає утворенню мікропошкоджень.

Особливістю даної оливи є її здатність утримуватись на поверхнях деталей навіть після зупинки двигуна, не стікаючи з них, що дозволяє ефективно захищати елементи від корозії у періоди простою. Завдяки цьому забезпечується стабільна робота двигуна та продовжується його ресурс експлуатації [30].



Рисунок 3.2 – Моторна олива *Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4*

Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4 ефективно зменшує інтенсивність зношування деталей під час запуску двигуна, коли навантаження на пари тертя є максимальним. Завдяки цьому суттєво подовжується термін служби двигуна та підвищується його експлуатаційна надійність.

Масильний матеріал перешкоджає утворенню нагару та сажі, зберігаючи чистоту внутрішніх поверхонь двигуна. Олива стабільно зберігає свої властивості як при низьких, так і при критично високих температурах, а також під час роботи під підвищеними навантаженнями.

Галузь застосування.

Олива Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4 розроблена для експлуатації автомобільної техніки в складних умовах роботи, зокрема при використанні неякісного палива та частих змінах режимів. Вона забезпечує надійний запуск двигуна в зимовий період, а також оптимальний захист у режимах «старт-стоп», характерних для міських умов та руху в заторах.

Продукт придатний для бензинових і дизельних двигунів внутрішнього згоряння, однак не рекомендується для моторів, обладнаних додатковими системами очищення вихлопних газів (DPF, TWC тощо).

Олива схвалена провідними виробниками європейської автомобільної техніки, що підтверджує її відповідність міжнародним стандартам якості.

Таблиця 3.2 – Основні показники моторної оливи Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4

Показник	Метод перевірки	Значення
Щільність при 15°C	ASTM D4052	0,869 г/мл
Кінематична в'язкість при 100°C	ASTM D445	14,2 мм ² /с
Кінематична в'язкість при 40°C	ASTM D445	96,2 мм ² /с
Індекс в'язкості	ASTM D2270	151
Динамічна в'язкість, CCS при -25°C	ASTM D5293	6000 мПа*с (сП)
Температура застигання	ASTM D97	-42°C
Температура спалаху (PMCC)	ASTM D93	205°C
Сульфатна зольність	ASTM D874	1,2 % масс.

3.2. Установка для випробувань

Випробувальне обладнання та методика проведення експериментів

Дослідження проводилися із застосуванням лабораторних трибологічних установок – машини тертя МТ-4, модернізованої машини тертя Тимкена, а також безпосередньо на автомобілі ВАЗ 21099.

Трибометр МТ-4 призначений для оцінювання фрикційних, антифрикційних та мастильних матеріалів за показниками тертя й зношування у широкому діапазоні режимів навантаження.

Конструкція приладу передбачає змінні випробувальні вузли, що дає змогу реалізовувати різні схеми контакту – точкові, лінійні або площинні, що імітують роботу реальних трибоспрямижень у вузлах машин.

Установка може відтворювати рухи типу кочення, ковзання або їх комбінацію під контрольованим тиском у зоні контакту, що забезпечує точне моделювання умов експлуатації деталей. Завдяки цьому трибометр використовується для досліджень ефективності мастильних матеріалів, металів, пластмас, полімерних покриттів, гуми та кераміки.

Прилад придатний для виконання випробувань як із застосуванням мастильних середовищ (гідравлічних, моторних, трансмісійних олів), так і у

сухому режимі без антифрикційних добавок. Така універсальність дозволяє всебічно оцінювати властивості матеріалів і мастильних засобів, що особливо важливо при розробці нових технологічних рішень та інноваційних складів присадок.

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика машини тертя МТ-4

Діапазон навантаження	10 ~ 1000Н (безступінчате)
Відносна похибка навантаження	$\pm 1\%$
Момент тертя	2,5 Н*м
Похибка моменту тертя	$\pm 2\%$
Швидкість обертання шпинделя	1 ~ 2000об/хв,
Випробувальне середовище	масло, вода, суспензії, абразивні рідини і т. д.
Діапазон регулювання температури	до 200 °С
Максимальна відстань між шпінделем верстату і нижньої платформи фрикційної муфти	> 75 мм
Час випробування	10сек ~ 9999хв

Машина тертя Тимкена (рис. 3.3) використовується для експериментального визначення зносостійкості матеріалів і мастильних засобів у режимі ковзання під навантаженням.

Конструктивно установка складається з електродвигуна, ведучого ролика та навантажувального механізму, що забезпечує стабільний контакт між зразками під заданим тиском.

У процесі модернізації стандартної конструкції було здійснено заміщення сталевго блоку квадратного перерізу на сталевий циліндр довжиною 24 мм і діаметром 8 мм. Така зміна геометрії контактного елемента дозволила зменшити площу плями контакту, що, у свою чергу, підвищило питомий тиск у зоні тертя та забезпечило більш точне відтворення реальних умов роботи деталей машин.

Отже, у модифікованій конструкції спостерігається тертя сталевого кільця по сталевому ролику, що дозволяє достовірніше оцінити антифрикційні властивості мастильних матеріалів і присадок, а також виявити їх вплив на зношування поверхонь.

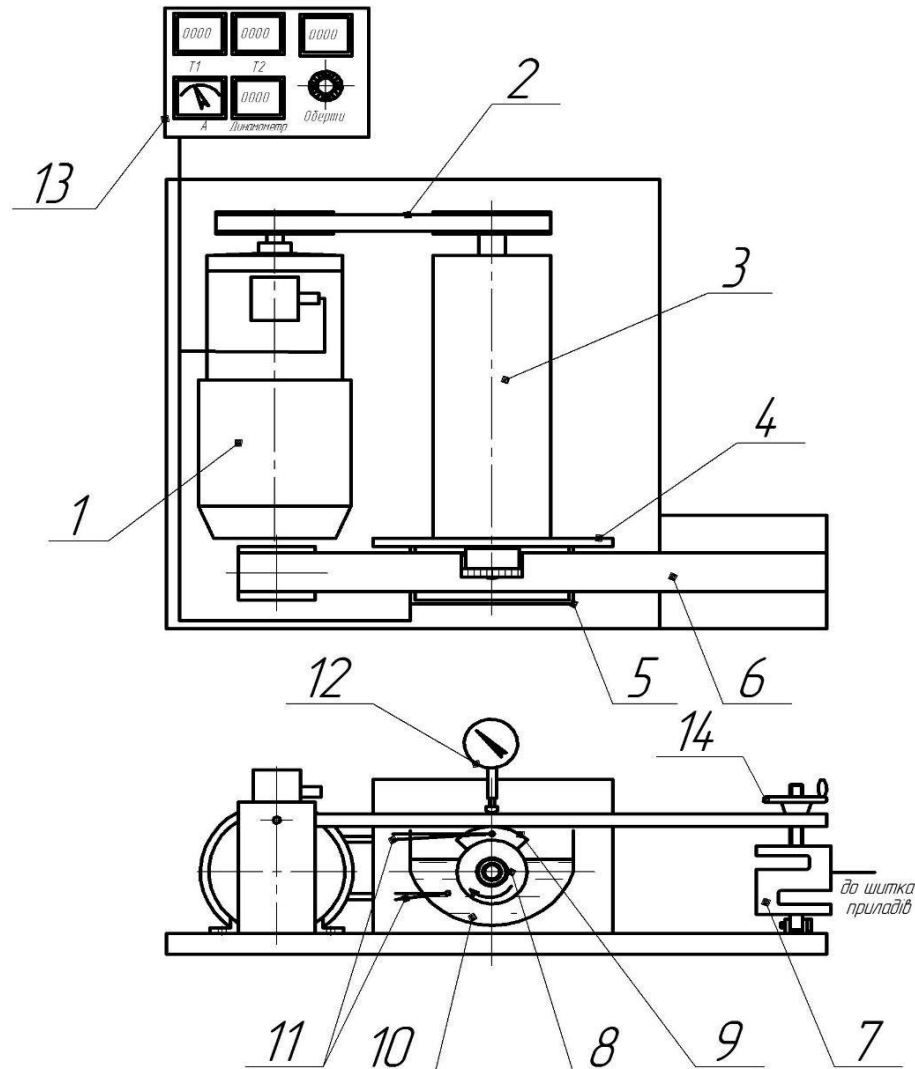


Рисунок 3.3 – Установка для випробування присадок

Основні елементи установки: 1 – електродвигун, який забезпечує обертання системи; 2 – пасова передача, що передає крутний момент на робочий вал; 3 – підшипниковий блок, який фіксує вал і знижує втрати на тертя; 4 – плита – основа конструкції, на якій закріплені всі елементи установки; 5 – чаша, у яку заливається досліджувана олива або суміш з присадкою; 6 – навантажувальний важіль, за допомогою якого створюється необхідний тиск у зоні контакту зразків; 7 – динамометр – вимірює силу тертя або прикладене навантаження; 8 – дисковий контрзразок, що імітує поверхню тертя робочого елемента; 9 – зразок,

який безпосередньо взаємодіє з контрзразком у середовищі мастила; 10 – рідина (мастильний матеріал), у якій відбувається контакт зразків; 11 – датчики температури, що фіксують зміну температури у зоні тертя; 12 – індикатор годинникового типу – призначений для контролю лінійного зносу або переміщення зразка; 13 – вимірювальний блок, який обробляє сигнали з датчиків і фіксує параметри випробування; 14 – маховик, що стабілізує обертовий рух системи та зменшує коливання швидкості.

Принцип роботи установки для випробування присадок

Робота установки здійснюється за наступною послідовністю. Попередньо підготовлений зразок (9) закріплюється у тримачі навантажувального важеля (6) так, щоб його робоча поверхня контактувала з дисковим контрзразком (8), який змонтовано на валу підшипникового блоку (3). Для контролю температури у зоні контакту до зразка (9) і в чашу (5) встановлюються датчики температури (11). У разі необхідності чаша заповнюється досліджуваною рідиною (10) — моторною оливою з присадкою або без неї.

Після підготовки система приводиться в дію: електродвигун (1) через пасову передачу (2) обертає вал підшипникового блоку (3) з контрзразком. Далі за допомогою маховика (14) створюється необхідне зусилля притискання зразка до контрзразка, яке контролюється динамометром (7).

У процесі роботи установки відбувається реєстрація параметрів тертя та зношування. Дані знімаються за допомогою вимірювального блоку (13), який оснащений:

- табло контролю температури;
- регулятором частоти обертання електродвигуна;
- індикатором прикладеного навантаження.

Вимірювання лінійного зносу зразка здійснюється за допомогою індикатора годинникового типу (12), що фіксує мікрозміщення поверхонь під час випробувань.

Установка дозволяє проводити експерименти як у сухому режимі тертя, так і з зануренням зразків у мастильне середовище, що дає змогу комплексно

оцінити ефективність протизношувальних властивостей присадок та їх вплив на умови роботи пари тертя.



Рисунок 3.4 – Машина тертя

До складу машини тертя додатково включено системи реєстрації температури та вимірювання електричної потужності, яку споживає електродвигун під час роботи установки.

Ці системи дозволяють отримувати додаткові параметри, що характеризують енергетичні та теплові процеси у зоні тертя. Зокрема, температура контакту та споживана електрична потужність, яка прямо пропорційна витратам енергії на подолання сил тертя, є ключовими показниками для оцінювання ефективності мастильних матеріалів і присадок.

Наявність таких функціональних вузлів забезпечує розширений контроль умов експерименту та підвищує точність отриманих даних. Завдяки цьому вдосконалена конструкція установки вважається більш інформативною та надійною, оскільки дозволяє комплексно аналізувати трибологічні властивості матеріалів, зокрема їхню зносостійкість, термостабільність та енергетичну ефективність процесу тертя.

3.3. Результати досліджень

На чотирикульковій машині тертя МТ-4 (рис. 3.5) проводилися експериментальні дослідження, спрямовані на визначення зміни моменту тертя у зоні контакту зразків під впливом мастильного середовища та присадок.

У ході випробувань моделювалося робоче навантаження, характерне для трибоспряжень двигуна внутрішнього згоряння. Зокрема, оцінювалася динаміка зміни моменту тертя в процесі обкатування пари тертя при постійному навантаженні, температурі та швидкості обертання.

Отримані дані дозволяють визначити ефективність протизношувальної дії присадки, а також проаналізувати стабільність мастильного шару в часі. Завдяки високій точності вимірювань установка МТ-4 забезпечує достовірну оцінку енергетичних характеристик тертя та здатності мастильного матеріалу знижувати опір руху.

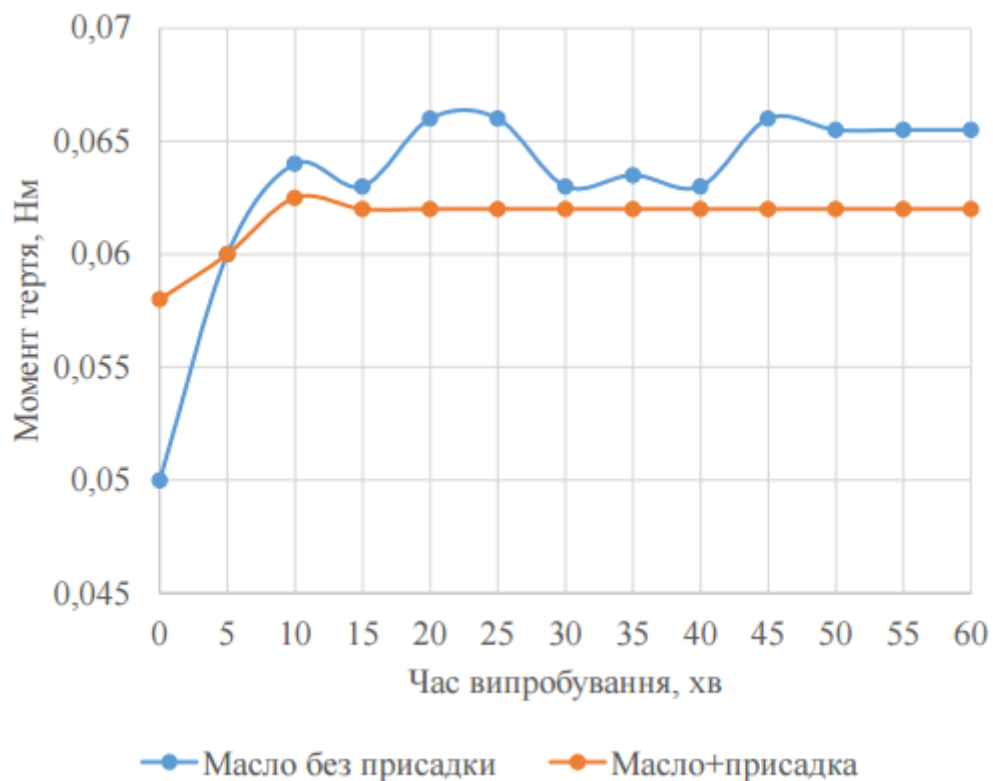


Рисунок 3.5 – Залежність моменту тертя від часу роботи з'єднання

Було також проведено експериментальні дослідження інтенсивності зношування деталей пари тертя. Для цього використовувався ваговий метод,

який передбачає визначення зміни маси зразків до та після випробувань (рис. 3.6, 3.7).

Перед початком експерименту кожен зразок ретельно очищали, висушували та зважували з точністю до 0,0001 г. Після проведення випробувань процедуру повторювали, що дозволяло встановити втрату маси внаслідок зношування.

Різниця між початковою та кінцевою масою зразка використовувалася для розрахунку інтенсивності зношування, яка є важливим показником ефективності дії присадки та якості мастильного матеріалу.

Отримані результати дали змогу оцінити здатність присадки ХАДО зменшувати знос металевих поверхонь і забезпечувати стабільність роботи мастильного шару в процесі тертя.

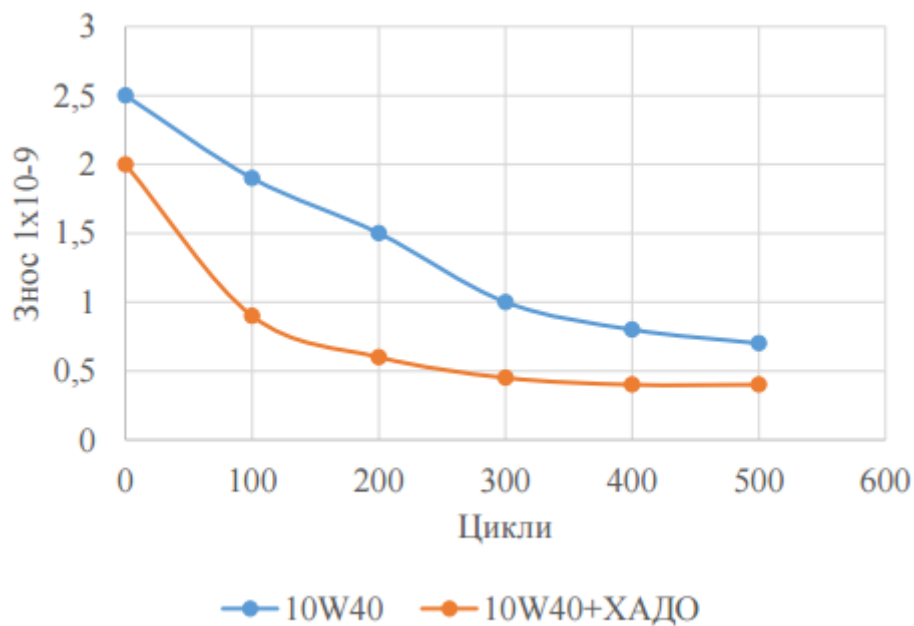


Рисунок 3.6 – Інтенсивність зношування зразків із чавуну СЧ

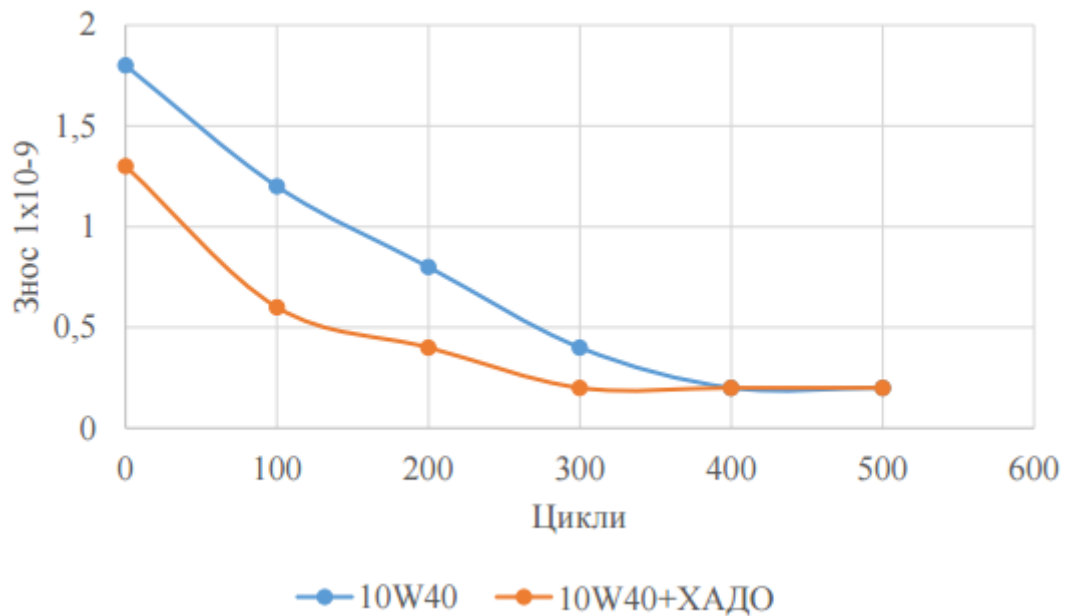


Рисунок 3.7 – Інтенсивність зношування зразків зі сталі 45

На машині тертя було проведено експериментальні дослідження зміни коефіцієнта тертя у парі тертя за різних умов змащування.

Випробування здійснювалися у двох режимах:

- із використанням чистої моторної оливи Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4;
- із тією ж оливою, але з додаванням присадки ХАДО Revitalizant EX120.

Під час експерименту контролювали значення коефіцієнта тертя в часі, що дозволило визначити вплив присадки на стабільність мастильного шару та зменшення енергетичних втрат у зоні контакту.

Результати показали, що додавання присадки суттєво знижує коефіцієнт тертя, особливо на етапі припрацювання поверхонь. У подальшому спостерігалось формування стійкої захисної плівки, яка забезпечувала стабільність тертя та зменшення коливань показників.

Таким чином, використання присадки ХАДО підвищує антифрикційні властивості мастильного матеріалу, що сприяє зменшенню зношування деталей і продовженню ресурсу роботи трибоспряження.

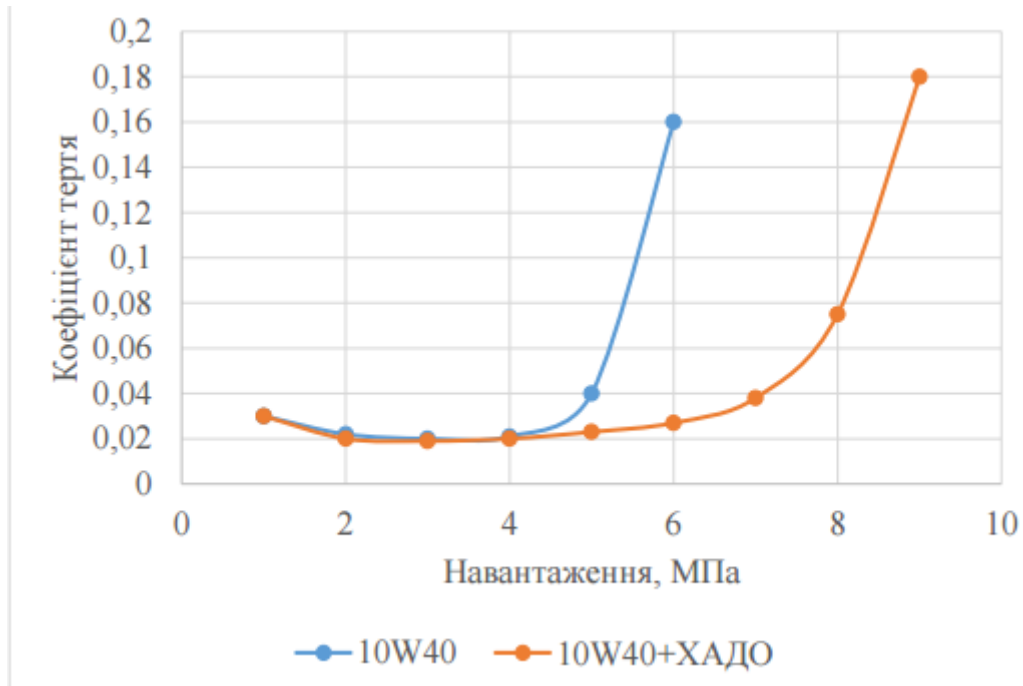


Рисунок 3.8 – Зміна коефіцієнта тертя в залежності від використання присадки ХАДО

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що додавання присадки ХАДО до моторної оливи Castrol MAGNATEC 10W-40 АЗ/В4 забезпечує помітне зниження коефіцієнта тертя — з 0,08 при використанні чистої оливи до 0,06 при застосуванні оливи з присадкою.

Крім того, зафіксовано зменшення інтенсивності зношування зразків у 1,38–1,45 рази, що свідчить про ефективну дію ревіталізатора та формування на поверхнях тертя захисного металокерамічного шару.

Додатково проведено оцінку концентрації продуктів зносу в оливі відповідно до методики [31]. Отримані результати показали зниження вмісту продуктів зносу на 12–15 %, що підтверджує покращення очищувальних і протизношувальних властивостей оливи після введення присадки.

Про позитивний вплив присадки на мастильні характеристики свідчать також мікрофотографії поверхонь тертя після проведення випробувань (рис. 3.9) та зображення відбитків зносу на роликах (рис. 3.10), які демонструють зменшення глибини та площі пошкоджень.

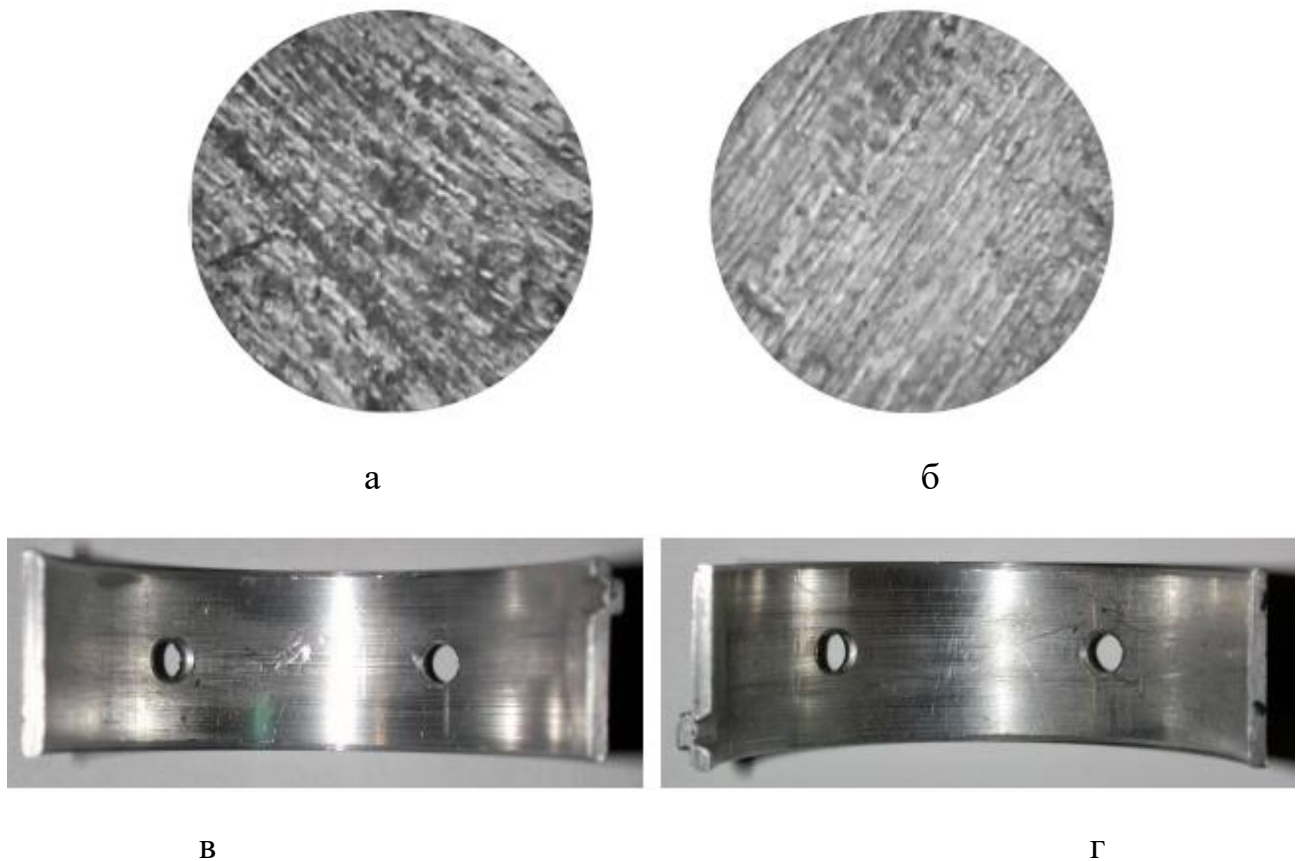


Рисунок 3.9 – Сліди зносу поверхонь тертя: а – масло без присадки; б – масло з присадкою (збільшення $\times 50$); в – масло без присадки; г – масло з присадкою

Як видно з мікрофотографій, представлених на рисунку 3.9, характер поверхневих пошкоджень істотно відрізняється залежно від складу мастильного середовища. На зразках, що працювали на чистій оливі без присадки, спостерігаються глибокі подряпини, задири та нерівномірні сліди зношування, що свідчить про нестабільність мастильного шару та недостатній рівень антифрикційного захисту.

Натомість на поверхнях, які працювали на оливі з додаванням присадки ХАДО, видно дрібні, малопомітні подряпини, а загальний рельєф контакту має гладку та рівномірну структуру. Це є наслідком утворення захисного металокерамічного шару, який знижує коефіцієнт тертя й запобігає мікрозадиричним процесам.

Отримані результати підтверджують, що застосування присадки помітно покращує мастильні властивості оливи, забезпечує зменшення інтенсивності зносу деталей та є технічно доцільним для підвищення ресурсу роботи двигуна.

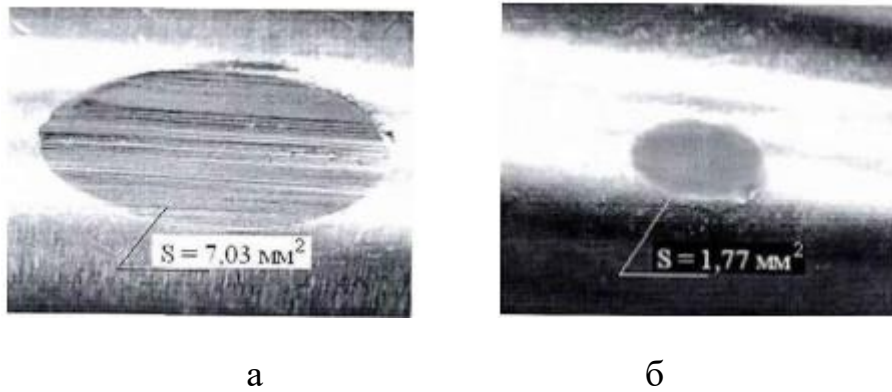


Рисунок 3.10 – Відбитки на роликах машини тертя: а – знос зразка на базовому маслі; б – знос зразка на базовому маслі з присадкою

На рисунку 3.10 подано порівняльні зображення відбитків зносу на роликах машини тертя, отримані після проведення випробувань із використанням базової оливи Castrol MAGNATEC 10W-40 A3/B4 (а) та цієї ж оливи з додаванням присадки ХАДО Revitalizant EX120 (б).

Як видно з фото, у випадку застосування чистої оливи на поверхні ролика спостерігається широка й глибока зона контакту, що свідчить про інтенсивне зношування та локальні мікропошкодження металу.

Натомість при використанні оливи з присадкою площа відбитку зносу помітно зменшується, а його контури стають чіткішими й рівномірнішими, що свідчить про зниження інтенсивності тертя та формування захисного відновлювального шару на поверхні сталі.

Таким чином, результати, відображені на рисунку 3.10, підтверджують ефективність присадки ХАДО у підвищенні антифрикційних властивостей мастильного матеріалу та її позитивний вплив на зносостійкість деталей пари тертя.

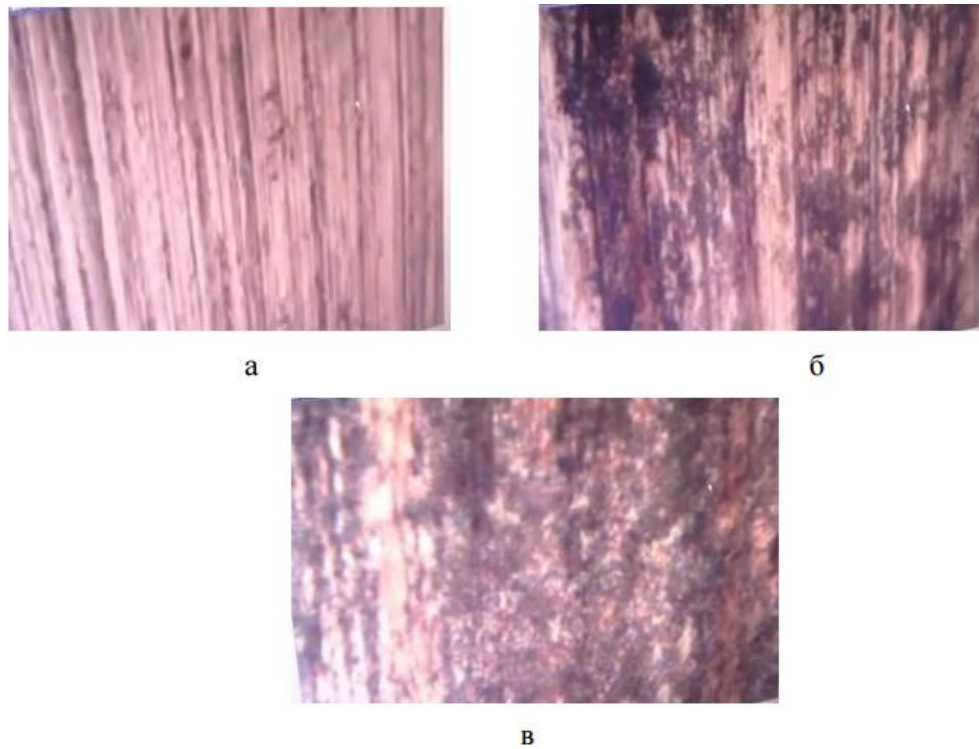


Рисунок 3.11 – Сліди зносу зразка: а – без добавки РВП; б – початок нанесення РВП; в – зароблювання тріщин РВП

На рисунку 3.11 наведено результати спостереження мікроструктури поверхні зразка після проведення випробувань за різних умов використання ревіталізуючої присадки (РВП).

На зображенні (а) представлено поверхню після роботи без добавки присадки, де чітко видно глибокі подряпини, мікротріщини та ознаки інтенсивного зносу. Така картина характерна для роботи металевих поверхонь у режимі граничного тертя без ефективного мастильного захисту.

На етапі (б) — початку дії РВП — фіксується зменшення кількості мікропошкоджень, а на поверхні з'являються ділянки початкового формування захисного шару. У заключній фазі, зображеній на фото (в), спостерігається зароблювання тріщин і вирівнювання мікрорельєфу поверхні, що свідчить про активне утворення металокерамічного покриття та самовідновлення робочого шару під дією присадки.

Отримані мікроспостереження підтверджують, що використання ревіталізуючої присадки ХАДО сприяє відновленню поверхонь тертя, зниженню інтенсивності зносу та підвищенню ресурсу деталей у процесі

експлуатації.

Вплив присадки на показники компресії двигуна.

Використання присадки ХАДО Revitalizant EX120 забезпечило суттєве вирівнювання компресії в циліндрах двигуна автомобіля ВАЗ 21099 з робочим об'ємом 1500 см³. Обробку виконували за схемою 1+1+1, тобто триетапно — відповідно до рекомендацій виробника.

Вже після пробігу близько 520 км почали спостерігатися помітні зміни у рівномірності компресії між циліндрами, що свідчить про початок формування захисного металокерамічного шару на поверхнях циліндро-поршневої групи.

На рисунках 3.12 та 3.13 наведено результати вимірювання компресії до та після завершення повного циклу обробки, зокрема при загальному пробігу 1800 км. Дані показують, що після використання присадки компресія у всіх циліндрах двигуна вирівнялася, а також зросли її середні значення, що є свідченням покращення герметичності камери згоряння та відновлення зношених поверхонь.



Рисунок 3.12 – Замір компресії компресометром

На рисунку 3.12 представлено процес вимірювання компресії в циліндрах двигуна автомобіля ВАЗ 21099 за допомогою компресометра після проведення обробки присадкою ХАДО Revitalizant EX120.

Вимірювання проводилися у стандартних умовах на прогрітому двигуні. Отримані результати показали вирівнювання показників компресії між циліндрами та загальне підвищення її середнього значення, що підтверджує

відновлення ущільнюючих поверхонь циліндро-поршневої групи.

Дані заміри є ключовим доказом позитивного впливу присадки ХАДО на роботу двигуна: вона сприяє підвищенню тиску в камерах згоряння, покращенню герметичності та зменшенню втрат енергії під час робочого циклу.

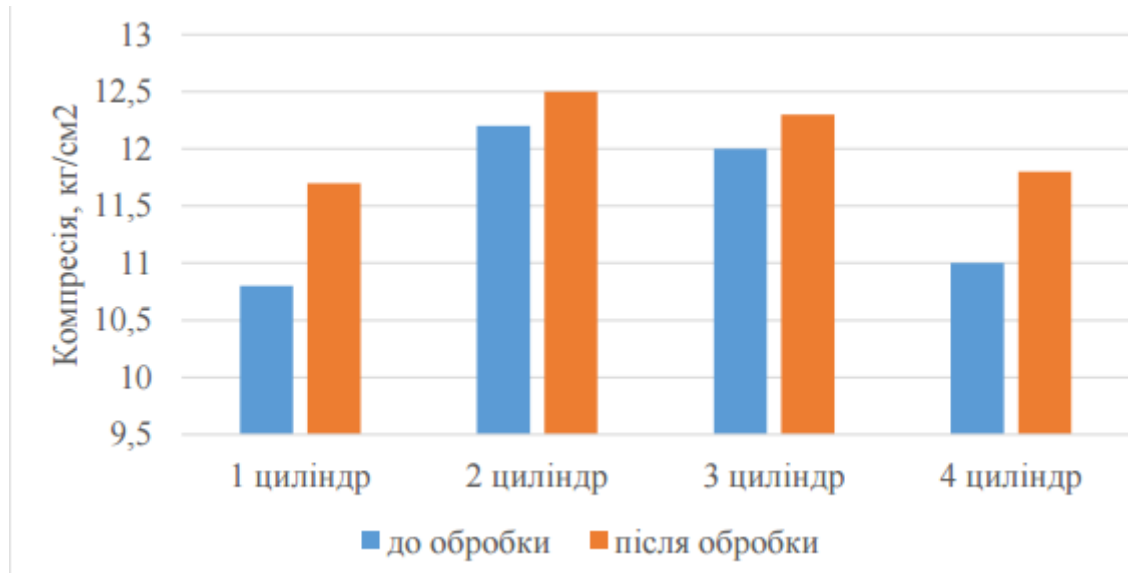


Рисунок 3.13 – Діаграма компресії в циліндрах двигуна автомобіля ВАЗ 21099 до обробки присадкою та після

Аналізуючи діаграму (рис. 3.13), можна відзначити, що використання присадки ХАДО призвело до підвищення компресії в циліндрах двигуна автомобіля ВАЗ 21099, а головне — забезпечило її вирівнювання між усіма циліндрами. Це свідчить про покращення герметичності камер згоряння та зменшення втрат газів через кільця і стінки циліндрів, що позитивно впливає на загальну ефективність роботи двигуна.

Висновок

На основі проведених досліджень можна сформулювати такі висновки:

- Проблема підвищення зносостійкості робочих поверхонь тертя автотракторних двигунів залишається актуальною, оскільки саме вона визначає надійність, економічність та довговічність роботи силових агрегатів.
- Вплив антифрикційних та ревіталізуючих присадок на вузли тертя двигунів досліджений недостатньо, що обумовлює необхідність подальших експериментальних і теоретичних робіт у цьому напрямі.

– Експериментальними дослідженнями встановлено, що використання присадки ХАДО сприяє зниженню коефіцієнта тертя на 4...12 %, забезпечує ефект відновлення поверхонь тертя та зменшує інтенсивність зносу деталей у 1,38–1,45 рази.

– Внаслідок покращення умов тертя знижується витрата палива на 7...11 %, що підтверджує економічну доцільність застосування присадки в експлуатації транспортних засобів.

– Використання ревіталізанта підвищує несучу здатність підшипників колінчастого вала в 1,3–1,4 рази, що забезпечує більшу надійність і подовження ресурсу роботи двигуна без капітального ремонту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні відомості про охорону праці в підприємстві

Покращення умов праці персоналу є одним із ключових завдань керівництва підприємства. Для його реалізації необхідно створювати сприятливі умови для ефективної та безпечної роботи, забезпечувати належний санітарно-гігієнічний рівень, дотримання вимог техніки безпеки та культури виробництва, а також поступово зменшувати частку ручної й важкої фізичної праці.

Стратегічним напрямом розвитку системи охорони праці є створення безпечних технологій та обладнання, які мінімізують ризики виробничого травматизму, професійних захворювань і перевтоми працівників.

Відповідно до Закону України “Про охорону праці” [32], охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров’я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-6.03-93 [33], на підприємстві ПП "Спешл Партс Дніпро" розроблено й затверджено низку нормативних документів із охорони праці, серед яких:

- Положення про систему управління охороною праці — визначає структуру, функції та завдання управління охороною праці відповідно до специфіки діяльності підприємства (продаж запчастин, ремонт агрегатів, сервісне обслуговування машин, надання технічних консультацій).
- Положення про службу охорони праці — регламентує її склад, обов’язки та взаємодію з іншими службами підприємства.
- Положення про комісію з питань охорони праці — встановлює постійно діючу комісію у складі трьох осіб для контролю дотримання вимог безпеки.
- Положення про проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму.

- Інструкції з охорони праці за видами робіт та професіями, а також цехові інструкції з пожежної безпеки, які містять перелік обов'язкових заходів.
- Наказ про забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно зі ст. 8 Закону України «Про охорону праці» та ст. 163 КЗпПУ [34], яким передбачено безоплатну видачу спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ.

Режим роботи підприємства встановлено наказом директора відповідно до НПАОП 0.00–7.11–12:

- п'ятиденний робочий тиждень;
- восьмигодинний робочий день;
- обідня перерва з 13:00 до 14:00;
- вихідні дні — субота та неділя.

Режим затверджено загальними зборами трудового колективу.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на дільниці ТО та діагностування машин і агрегатів

Одним із напрямів діяльності ПП "Спешл Партс Дніпро" є сервісне обслуговування машин, зокрема обробка агрегатів і механізмів присадками до мастил для подовження терміну їх експлуатації. На дільниці технічного обслуговування (ТО) та діагностування основними шкідливими й небезпечними факторами є:

- нафтопродукти,
- вихлопні гази,
- пожежна безпека.

Нафтопродукти.

Їх токсичність визначається наявністю вуглеводнів і сірководню. Пари нафтопродуктів у високих концентраціях можуть викликати параліч дихальних центрів, а при тривалому впливі – ураження шкіри, очей, органів дихання. Можливі дерматити, екземи, запалення слизових оболонок, ураження нервової системи.

Вихлопні гази.

До складу вихлопів входять оксид вуглецю, діоксид сірки, сажа, бензопірен – сполуки з вираженою токсичною та канцерогенною дією. Тривалий вплив вихлопів може викликати запаморочення, втрату свідомості, бронхіти, порушення серцево-судинної та нервової систем.

Пожежна небезпека.

Виникає при розливі або нагріванні нафтопродуктів, особливо при їх потраплянні на гарячі елементи двигуна (випускний колектор тощо).

4.2. Заходи щодо забезпечення захисту працівників від шкідливих і небезпечних факторів

Для мінімізації ризиків впливу шкідливих чинників на ділянці ТО та діагностування передбачено комплекс технічних і організаційних заходів:

Захист від дії нафтопродуктів:

- Робочі місця обладнуються загальнообмінною та місцевою вентиляцією для видалення парів мастил.
- Заправка й злив мастил здійснюються за допомогою спеціальних пристроїв із лійками та герметичними ємностями.
- Працівники використовують гумові рукавиці відповідно до ДСТУ EN 420:2017.
- Заборонено зберігати забруднену ветош або відкриті ємності з мастилами на робочих місцях.

Захист від вихлопних газів.:

- У приміщеннях встановлюються гофровані шланги для відведення вихлопів за межі ділянки.
- У разі неповного видалення газів слід вмикати вентиляцію та регулярно провітрювати приміщення.
- Забороняється перебувати в оглядовій канаві під час роботи двигуна, оскільки чадний газ накопичується внизу.
- Працівникам рекомендується вживати антиоксиданти (фрукти,

ягоди, зелень, зелений чай) і пити достатню кількість води для природної детоксикації.

Безпека при роботі з присадками: оскільки інформація про вплив присадок на організм людини обмежена, необхідно дотримуватись усіх запобіжних заходів: працювати в ЗІЗ, уникати потрапляння речовин на шкіру та в очі, проводити роботи лише у вентилязованих приміщеннях.

Для систематизації вимог розроблено організаційну карту безпечної роботи з присадками, наведену в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Організаційна карта безпечної роботи з присадками

Час дії	Шкідливий, небезпечний фактор	Засоби захисту
Виробництво	Ураження дихальних шляхів складовими присадки. Хімічні опіки як шкіри так і дихальних шляхів. Потрапляння пилу в організм та очі. шкідлива дія на роговицю ока при потраплянні.	1. При подрібненні компонентів обов'язково користуватись засобами захисту дихальних шляхів респіраторами – Р-2 «Пелюсток» згідно [36, 37]. 2. Приміщенні повинно бути обладнане загальнообмінною та місцевою вентиляцією. 3. Змішування компонентів присадки проводити в спеціальній машині ІКА DBI серія 2000. 4. При потраплянні на шкіру швидко промити протоковою водою та спеціальним розчином Liqui Moly CeraTec. 5. При потраплянні в очі промити водою і звернутись до лікаря (офтальмолога).
Експлуатація	При частій дії на шкіру	1. При доливанні присадки в оливу корис-

	можливий розвиток екземи. Подразнення шкіри та викликання алергічної реакції. Потрапляння в дихальні шляхи (з парами оливи) і як наслідок отруєння. потрапляння в очі – механічне пошкодження роговиці та опіки.	туватися технічними гумовими рукавицями тип 2 ДСТУ EN 420:2017 [38]. 2. При підігріві присадки робоче місце повинно бути обладнане місцевим відсосом (котушкою SERF-150-7.5/SP). 3. Категорично забороняється підігрівати флакони з присадкою на нагрівальних приладах. 4. Використані флакони і пакети з під присадок зберігати в спеціально відведеному місці та утилізувати згідно рекомендацій виробника.
Утилізація	Потрапляння на шкіру з використаних флаконів, та упаковок. Дія на шкіру, дихальні шляхи та очі разом з оливою.	1. Категорично забороняється зпалювати коробки та флакони з під присадки. 2. Утилізацію проводити з суворим дотриманням правил та рекомендацій виробника. 3. При зборі та утилізації упаковок працювати в технічних гумових рукавицях тип 2 ДСТУ EN 420:2017 [38].

4.3. Правила безпечного виконання робіт при мащенні автомобіля на дільниці технічного обслуговування та діагностування

Для забезпечення безпечної роботи з присадками під час виконання технічного обслуговування автомобілів необхідно дотримуватись правил, викладених у пунктах 4.2 і 4.3 даної дипломної роботи.

Перед початком роботи мастильник автомобіля (далі — мастильник) проходить первинний інструктаж, а в подальшому — повторний інструктаж кожні три місяці. До виконання обов’язків допускаються особи:

- віком не молодше 18 років;
- які мають відповідну професійну кваліфікацію;
- пройшли медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж з пожежної безпеки та інструктаж на робочому місці.

Мастильник зобов'язаний:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- користуватись спецодягом і засобами індивідуального захисту;
- виконувати лише ті роботи, які доручені керівником і з яких проведено інструктаж;
- не допускати на робоче місце сторонніх осіб;
- знати та дотримуватись вимог безпеки при роботі;
- вміти користуватись первинними засобами пожежогасіння;
- уміти надавати першу медичну допомогу;
- підтримувати порядок на робочому місці, не захаращувати проходи та підходи.

Забороняється користуватись обладнанням чи інструментом, з яким працівник не ознайомлений або не проінструктований. Мастильник повинен працювати у спецодязі, а за необхідності використовувати додаткові ЗІЗ (окуляри, рукавиці, респіратор). Паління дозволено лише у спеціально відведених місцях. Під час роботи слід бути уважним, не відволікатися на сторонні справи й дотримуватись правил особистої гігієни. Після роботи руки потрібно мити з милом.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Мастильник повинен:

- підготувати та надягти засоби індивідуального захисту, застібнути рукави спецодягу;
- оглянути робоче місце, прибрати зайві предмети;
- перевірити стан підлоги — при наявності мастила або вологивитерти її або посипати тирсою;
- перевірити справність інструменту, обладнання та засобів пожежогасіння.

Вимоги безпеки під час виконання робіт

- Мастильно-заправні роботи виконуються лише у відведених місцях.

- При демонтажі або монтажі деталей правильно накладати ключ, не підтягувати гайки ривком.
- При роботі під піднятим кузовом самоскида обов'язково встановити додатковий фіксатор або упор.
- Перевірку рівня мастила проводити переносним світильником напругою не більше 42 В із захисною сіткою; користуватись відкритим вогнем заборонено.
- Злив мастила здійснювати у спеціальну металеву тару.
- Використовувати лише справні прес-масельнички потрібної конфігурації.
- Змащувати важкодоступні місця за допомогою гнучких або шарнірних наконечників.
- Для переходу через оглядову канаву користуватись містками, а для спуску — спеціальними сходами.
- Усе обладнання з електроприводом підключати лише через вилки із заземленням.
- Використаний обтиральний матеріал складати у металеві ящики з кришками.
- Пролиту оливу або бензин негайно прибирати тирсою або ганчір'ям.
- Слідкувати, щоб шланги мастильного устаткування не перепліталися.

Забороняється:

- працювати під піднятим кузовом без фіксаторів;
- використовувати несправні або невідповідні інструменти;
- провертати карданний вал сторонніми предметами;
- запускати двигун без дозволу керівника робіт.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Відключити електрообладнання.

- Привести робоче місце до порядку, очистити інструменти від мастила.
- Зняти засоби індивідуального захисту, здати спецодяг у прання або чистку.

Дії у разі настання надзвичайної ситуації

Аварійна ситуація може виникнути у випадку ураження електричним струмом, пожежі, вибуху, опіку, розливу нафтопродуктів тощо.

У разі аварії необхідно:

- негайно припинити роботу,
- відключити споживачів електроенергії, повітря, палива,
- огородити небезпечну зону та не допускати сторонніх осіб,
- повідомити керівника робіт про подію.

Якщо є постраждалі — надати першу медичну допомогу, при необхідності викликати швидку допомогу (103).

При пожежі:

- не панікувати;
- не заходити в зону задимлення;
- залишати приміщення у напрямку вітру;
- якщо горить одяг на людині — повалити її на землю, накрити щільною тканиною, збити полум'я, викликати медиків;
- якщо загорівся одяг на собі — впасти на землю і кататись, щоб загасити полум'я;
- гасити пожежу за допомогою вогнегасників, піску, води або пожежних гідрантів;
- при загорянні проводки — спочатку відключити електроживлення, а потім гасити вогонь.

Висновок

У ході дослідження:

- Визначено структуру служби охорони праці підприємства та

оцінено її роботу як задовільну.

- Виявлено потенційно шкідливі та небезпечні фактори на ділянці технічного обслуговування при обробці машин присадками.
- Проаналізовано вплив виробничих факторів на працівників і навколишнє середовище.
- Розроблено комплекс заходів щодо запобігання дії шкідливих факторів, підвищення безпеки праці та створення здорових умов роботи на підприємстві.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Після реконструкції ділянки (організації технології відновлення агрегатів із використанням присадок) виконаємо техніко-економічний розрахунок показників роботи майстерні. Площа оновленої частини приміщення становить 512 м², отриманої за рахунок добудови. Загальна трудомісткість виконання робіт у новоствореному відділенні складає 12 873 люд.-год, що відповідає 43 умовним ремонтам.

Для забезпечення роботи реконструйованої майстерні необхідно встановити сучасне ремонтно-технологічне обладнання та розширити номенклатуру виконуваних робіт, що потребує додаткових площ. Необхідна площа отримана шляхом реконструкції складу запасних частин. Загальна вартість проведення реконструкційних заходів та оснащення ділянки становить 273 100,00 грн.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності проекту наведено у таблиці 5.1. Для виконання економічної оцінки реконструкції необхідно визначити такі основні показники [39]:

- Вартість проведених ремонтів розраховується за формулою 5.1:

$$B_{\text{пр}}^{\text{б}} = 39 \cdot 14360,00 = 560040,00 \text{ грн}$$

$$B_{\text{пр}}^{\text{пр}} = 42,9 \cdot 16400,00 = 703560,00 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку техніко-економічних показників проекту

Показники	Позначення показників	Значення показників	
		Базовий	Проектний
Обсяг ремонтних робіт, ум. рем.	Q	39	42,9
Вартість 1 ум. рем, грн.	Ц _{1ум рем}	14360,00	16400,00
Кількість основних робітників, осіб	К _{пр}	5	6
Середньомісячна заробітна плата робітника з нарахуванням, грн.	ЗП _{ср}	3520,00	4800,00
Вартість діючого обладнання (балансова), грн.	Бд	123000,00	
Вартість придбаного обладнання, грн.	Бпр	–	167500,00
Вартість будівлі за балансом, грн.	Ббуд	58750,00	–
Витрати на реконструкцію ремонтної майстерні та організацію ділянки, грн.	Брек	–	105600,00
Річні витрати електроенергії, кВт/рік	Q _{ел}	28650	36200
Ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн.	Цел	1,99	1,99

– Експлуатаційні витрати розраховуються за формулою 5.2:

де: ЗП – заробітна плата з урахуванням усіх нарахувань, грн;

A – сума амортизаційних відрахувань, грн;

V_{ел} – витрати на спожиту електроенергію, грн;

V_{рем} – витрати, пов'язані з проведенням поточного ремонту ПР та технічного обслуговування ТО обладнання і приміщень, грн.

– Розрахунок заробітної плати з нарахуваннями здійснюється за формулою 5.3:

де: 1,22 – коефіцієнт, що враховує додаткові нарахування на заробітну плату (єдиний соціальний внесок, страхові та інші відрахування);

ЗП_{ср} – середньомісячна заробітна плата одного робітника, грн;

$K_{\text{пр}}$ – кількість основних виробничих працівників, осіб;

12 – кількість місяців у році.

$$ЗП^б = 1,22 \cdot 3520,00 \cdot 5 \cdot 12 = 257664,00 \text{ грн}$$

$$ЗП^{\text{пр}} = 1,22 \cdot 4800,00 \cdot 6 \cdot 12 = 395280,00 \text{ грн}$$

– Загальні витрати на амортизацію будівлі та обладнання визначаються за формулою 5.4:

Де: $A_{\text{обл}}$ – амортизаційні відрахування на обладнання, грн;

A_b – амортизаційні відрахування на будівлю, грн.

– Витрати на амортизацію обладнання визначаються за формулами 5.5 та 5.6:

$$A_{\text{обл}}^б = \frac{123000,00 \cdot 21,93}{100} = 26973,90 \text{ грн}$$

$$A_{\text{обл}}^{\text{пр}} = \frac{(123000,00 + 167500,00) \cdot 21,93}{100} = 63706,65 \text{ грн}$$

де: $B_{\text{обл}}$ – балансова вартість обладнання, грн;

$B_{\text{пр}}$ – вартість новопридбаного обладнання, грн;

$\lambda_{\text{обл}}$ – норма амортизаційних відрахувань на обладнання, яка становить 21,93 %.

– Витрати на амортизацію будівлі визначаються за формулами 5.7 та 5.8:

$$A_{\text{буд}}^б = \frac{58750,00 \cdot 7,76}{100} = 4559,00 \text{ грн}$$

$$A_{\text{буд}}^{\text{пр}} = \frac{(58750,00 + 105600,00) \cdot 7,76}{100} = 12753,56 \text{ грн}$$

де: $B_{\text{буд}}$ – балансова вартість будівлі, грн;

$B_{\text{орг}}$ – витрати, пов'язані з реконструкцією ремонтної майстерні та організацією нової ділянки, грн;

$\lambda_{\text{буд}}$ – норма амортизації будівель, яка становить 7,76 %.

Тоді загальні витрати на амортизацію визначаються за розрахунками:

$$A^б = 26973,90 + 4559,00 = 31532,90 \text{ грн}$$

$$A^{\text{пр}} = 63706,65 + 12753,56 = 76460,21 \text{ грн}$$

- Витрати на електроенергію визначаються за формулою 5.9:

$$V_{\text{ел}}^{\text{б}} = 28650 \cdot 1,98 = 56727,00 \text{ грн}$$

$$V_{\text{ел}}^{\text{пр}} = 36200 \cdot 1,98 = 71676,00 \text{ грн}$$

- Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування визначаються за формулою 5.10:

$$V_{\text{рем}}^{\text{б}} = \frac{31532,90 \cdot 30}{100} = 9459,87 \text{ грн}$$

$$V_{\text{рем}}^{\text{пр}} = \frac{76460,21 \cdot 30}{100} = 22938,06 \text{ грн}$$

- Інші витрати визначаються як частка від загальної суми експлуатаційних витрат і розраховуються за формулою 5.11:

$$IB^{\text{б}} = \frac{257664,00 + 31532,90 + 56727,00 + 9459,87 \cdot 3}{100} = 10661,51 \text{ грн}$$

$$IB^{\text{пр}} = \frac{395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 \cdot 3}{100} = 16990,3 \text{ грн}$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати становлять:

$$EB^{\text{б}} = 257664,00 + 31532,90 + 48132,00 + 9459,87 + 10661,51 = 366045,28 \text{ грн}$$

$$EB^{\text{пр}} = 395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 + 16990,63 = 583344,90$$

- Повна собівартість проведених ремонтів розраховується за формулами 5.12 та 5.13:

де: $V_{\text{к}}$ – витрати на роботи, виконані за кооперацією, грн, згідно з даними господарства.

$$PC^{\text{б}} = 366045,28 + 160200,00 \cdot 1,02 = 536770,18 \text{ грн}$$

$$PC^{\text{пр}} = 583344,90 \cdot 1,02 = 595011,80 \text{ грн}$$

- Загальний прибуток розраховується за формулою 5.14:

$$П^{\text{б}} = 560040,00 - 536770,18 = 23269,82 \text{ грн}$$

$$П^{\text{пр}} = 703560,00 - 595011,80 = 108548,20 \text{ грн}$$

- Приріст прибутку розраховуємо за формулою 5.15:

$$\Pi = 108548,20 - 23269,82 = 85278,38 \text{ грн}$$

- Рівень рентабельності розраховуємо за формулою 5.16:

$$p^6 = \frac{23269,82 \cdot 100}{536770,18} = 4,3\%$$

$$p^{пр} = \frac{108548,20 \cdot 100}{595011,80} = 18,2\%$$

- Обсяг додаткових капітало-вкладення розраховуємо за формулою 5.17:

$$B = 167500,00 + 105600,00 = 273100,00 \text{ грн}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень розраховуємо за формулою 5.18:

$$T_0 = \frac{273100,00}{85278,38} = 3,2 \text{ років}$$

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність проекту

Показники	Базовий	Проектний
Вид робіт	Ремонт	
Обсяг робіт, ум. рем.	39	43
Ціна 1 ум. ремонту, грн.	14360,00	16400,00
Вартість проведених ремонтів, грн.	560040,00	703560,00
Кількість основних робітників, осіб.	5	
Обсяг додаткових капіталовкладень, грн.	—	273100,00
Експлуатаційні витрати всього, грн..	366045,28	583344,90
- заробітна плата з нарахуваннями, грн.	257664,00	395280,00
- амортизаційні відрахування, грн.	31532,90	76460,21
- вартість електроенергії, грн.	56727,00	71676,00
- витрати на ПР та ТО, грн.	9459,87	22938,06
- інші витрати, грн..	10661,51	16990,63

Повна собівартість продукції, грн	536770,18	595011,80
Загальний прибуток, грн.	23269,82	108548,20
Рівень рентабельності, %	4,3	18,2
Приріст прибутку, грн.	—	85278,38
Термін окупності додаткових вкладень, років	—	3,2

Висновок.

Проведена техніко-економічна оцінка проектних рішень свідчить, що реалізація заходів з реконструкції ремонтної майстерні підприємства забезпечує суттєве підвищення ефективності виробничої діяльності. У результаті впровадження проекту господарство отримує річний прибуток у розмірі 85 278,38 грн, що підтверджує економічну доцільність модернізації. Розрахунки показали, що термін окупності капітальних вкладень становить 3,2 роки, що є прийнятним показником для ремонтно-виробничих підприємств і свідчить про високу рентабельність інвестицій.

Загалом реконструкція ремонтної ділянки дозволяє знизити собівартість ремонтних робіт, підвищити продуктивність праці, покращити умови експлуатації обладнання та забезпечити стабільне економічне зростання підприємства.

ВИСНОВОК

Аналіз літературних джерел показав, що підвищити працездатність робочих поверхонь сполучення «вкладиш — шийка колінчастого вала» можливо за рахунок використання антифрикційних присадок у моторну оливу, які зменшують інтенсивність зношування та покращують умови мащення.

Розрахунково-аналітичними методами встановлено, що при певному поєднанні навантаження та частоти обертання колінчастого вала у підшипниках ковзання шатуна виникає критичний режим роботи, коли відносний ексцентриситет $\lambda = 1$, що може спричинити заїдання робочих поверхонь. Ймовірність виникнення такого режиму становить 4–6 % від загального напрацювання двигуна.

Додавання антифрикційно-відновлювальних присадок ХАДО до моторної оливи сприяє збільшенню несучої здатності підшипників колінчастого вала у 1,3–1,4 раза, що суттєво знижує інтенсивність зношування як самого вала, так і вкладиша під час контакту робочих поверхонь.

Лабораторні дослідження трибопарі «вал – сплав АСМ» показали, що при введенні антифрикційних добавок у моторну оливу навантаження схоплювання поверхонь зростає: для присадки РВС — на 42 %, для ХАДО — на 71 %, а для Феном — на 64 %. Це свідчить про підвищення ефективності мащення та покращення трибологічних властивостей оливи.

Стендові випробування двигуна підтвердили, що застосування присадки РВС дозволяє зменшити механічні втрати у 1,4 раза та забезпечує часткове відновлення зношених поверхонь з'єднання. На основі проведених лабораторних експериментів і стендових досліджень можна зробити висновок, що використання антифрикційних добавок у мастильні матеріали двигунів внутрішнього згоряння є ефективним методом підвищення довговічності пар тертя без розбирання двигуна.

Отримані результати підтверджують, що застосування присадок забезпечує зниження коефіцієнта тертя на 4–12 %, сприяє ефекту самовідновлення поверхонь, а також зменшує витрату палива на 7–11 %. Крім

того, під дією присадок несуча здатність підшипників колінчастого вала зростає у 1,3–1,4 рази, що позитивно впливає на ресурс двигуна.

Запровадження заходів з охорони праці на реконструйованій ділянці дозволяє знизити ризик травмування працівників, покращити умови їхньої праці та забезпечити оптимальний мікроклімат у приміщенні майстерні, що, у свою чергу, підвищує продуктивність праці та якість ремонтних робіт.

Результати техніко-економічної оцінки проектних рішень свідчать, що впровадження заходів з реконструкції ремонтної майстерні підприємства забезпечує річний прибуток у розмірі 85 278,38 грн, при цьому термін окупності капітальних вкладень становить 3,2 роки. Отримані показники підтверджують економічну доцільність і ефективність проекту, спрямованого на вдосконалення технологічного процесу ремонту з використанням сучасних присадок до моторних олив.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк В.Д. Технічний сервіс – як засіб розв’язання проблем надійності сільськогосподарської техніки / Войтюк В.Д., Демко, А.А., Демко, О.А. // Техніка АПК. № 6 -7. 2004.- С.37-38.
2. Проблема зберігання сільськогосподарської техніки [Електронний ресурс] / Я.Михайлович, О. Романюк, А. Рубець, А. Засулько // Пропозиція – Режим доступу до ресурсу: <http://propozitsiya.com/ua/problema-zberigannya-silskogospodarskoyi-tehniki>.
3. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
4. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин / О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia" Sp. z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50.
5. Козаченко О.В. Технічна експлуатація сільськогосподарської техніки / Козаченко О.В. - Харків. :Торнадо,2000.-192с.
6. Войтюк В.Д., Демко А.А., Надточій О.В. та ін. Структура і загальні положення концепції технічного сервісу енергонасиченої с.-г. техніки. Вісник. Харків ДТУСГ. Підвищення надійності відновлених деталей машин - Вип. 15 Харків, 2009. -214-222.
7. Войтюк, Д.Г. Моніторинг комбайнового ринку України (Частина І)/ Войтюк, Д.Г., Надточій, О.В. , Войтюк, В.Д., Демко, А.А., Демко, О.А. // Науковий вісник НУБіП України, 144 (4).
8. Системно-спрямований підхід до розробки технологій безрозбірного відновлення спряжень деталей / В. В. Аулін, С. В. Лисенко, В. В. Гриньків [та ін.] // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції "Крамаровські читання", 21-22 лют. 2019 р., м. Київ, Україна / М-во освіти і

науки України, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - К. : НУБіП, 2019. - С. 94-96.

9. Вплив фулерено вмісних олив на фізико-механічні властивості поверхні тертя спряжень деталей / В. В. Аулін, О. Д. Деркач, С. В. Лисенко, А. В. Гриньків // Проблеми трибології. - Хмельницький : ХНУ, 2018. - № 4. - С. 60-64.

10. Статистичний бюлетень: наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2019 р. / відп. за вип. О.М. Прокопенко. –К. : Держкомстат України, 2019. –190 с.

11. Погорілий В. Стан технічного забезпечення аграрного сектора України та основні напрями технічної політики на сучасному етапі / Погорілий В., Грицишин М., Гринько П. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Зб. наук. праць. Випуск 8 (22), кн.1. – Дослідницьке: УкрНДПВТ, 2005. – С. 22-28.

12. Некрасов С. С. Пути повышения качества ремонта двигателей / С. С. Некрасов. // Технологии и средства технического сервиса машин М. МГАУ. – 2000. – С. 3–9.

13. Козаченко О.В. Технічна експлуатація сільськогосподарської техніки / Козаченко О.В. - Харків. :Торнадо,2000.-192с.

14. Балабанов В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / Балабанов В.И., Беклемышев В.И. : Изумруд, 2004. - 192 с.

15. Бауман В.Н. Использование зарубежных функциональных присадок (пакетов присадок) в моторные масла российского производства / Бауман В.Н., Боренко Л.В., Золотов В.А. Двигателестроение. - 2002. - №3.-С.43-44.

16. Пашковский И.Е. Прогностическая модель повышения срока службы подшипниковых опор при применении металлоплакирующих смазочных материалов / И.Е. Пашковский, ЛУГЭСХ. - 2004. - № 6. - С.28-30.

17. Каша с маслом. Начинаем раскладывать по тарелочкам [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.drive2.ru/l/455179398153240878/>.

18. Дроздов Ю.И. Трение и износ в экстремальных условиях: [Справочник] / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов. М.: Машиностроение, 1986.-224 с.

19. Балтенас Р. Моторные масла / Р. Балтенас, А.С. Сафонов, Москва-СПб.: Альфа-Лаб, 2000. -272 с.

20. Хебды М. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазка, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990. - 416 с,

21. Терехов В. Ю. Визначення технічного стану моторного масла та його вплив на трибоспрямлення двигуна / В. Ю. Терехов, Є. В. Калганков, В. І. Дирда. // Zbiór raportów naukowych. „ Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projekty hipotezę. „, Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour». – 2014. – С. 102–105.

22. Вырубов Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, М.: Машиностроение, 1984. — 384 с.

23. Салмин В.В. Улучшение температурно-динамических характеристик смазочной системы как способ повышения эффективных показателей ДВС / Салмин В.В. // Двигателестроение. - 2003. - № 4. - С.41-43

24. Шимчук С.П. Метод дослідження протизносних властивостей мас- тильних матеріалів при радіальних коливаннях валу. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / С.П. Шимчук .- Київ – 2008 16 с.

25. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах [Навчальний посібник] / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.

26. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Учебник для технических вузов] / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, . - 2- изд., переработ. и доп. - М.: Машиностроение, 2001.

27. Таненбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин / Таненбаум М.М. – М.: Машиностроение, 1966.

28. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / Козырев С.П. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.

29. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.

30. Castrol Magnatec [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.castrol.com/ru_ua/ukraine/products/cars/engine-oils/castrol-magnatec-brand.html.

31. Мельянцов П.Т. Оцінка технічного стану робочої рідини агрегатів гідроприводу трансмісії кормо та зернозбиральних комбайнів умовах експлуатації / П.Т. Мельянцов, Є.В. Калганков, О.І. Кириленко // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2008. – № 2. – С. 86 - 90.

32. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.

33. НПА ОП 0.00 – 7.11 – 12 "Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників".

34. Беликов А.С. Основы охраны труда: [Учебник для студентов высших учебных заведений Украины III-IV уровня аккредитации] / Под ред., д.т.н., профессора А.С. Беликова. - Днепропетровск: «Журфонд», 2007. – 494 с.

35. ДСН 3.3.6.037-99 „Державні санітарні норми шуму, ультразвуку та інфразвуку”.

36. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.

37. ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення".
38. ДСН 3.3.6.039-99 „Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації”.
39. НАПБ Б.03.002-2007 „Правилах пожежної безпеки в Україні”.
40. ДСТУ ISO 6309:2007 "Знаки безпеки". [Чинний від 30. 03. 2007]. Київ, 2008. 8 с.
41. НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт.
42. Лебеденко О.В. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних проектів і робіт для студентів факультету механізації сільськогосподарства, (кафедра надійності і ремонту машин) за напрямом підготовки "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / Лебеденко О.В. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. – 16 с.
43. Сокол С.П. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОКР "Бакалавр" за напрямом підготовки 6.100102 "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва і дипломних робіт ОКР "Магістр" за спеціальністю 8.1001023 "Механізація сільськогосподарства" / С.П. Сокол, Б.Г. Харченко – Д.: ДДАУ, 2013. – 44 с.

