

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: «Дослідження показників надійності автотракторних двигунів з розробкою технологічного процесу відновлення гільз циліндрів»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м–ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7
«Агроінженерія»
Дмитрієв Артур Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент, Петриченко Є.А.
(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.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Дмитрієву Артуру Олександровичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження показників надійності автотракторних двигунів з розробкою технологічного процесу відновлення гільз циліндрів»

керівник роботи _____ **доцент Петриченко Є.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:

- висвітлити характерні дефекти, типові відмови та їх причини;
- проаналізувати існуючі методи усунення зазначених проблем;
- техніко-економічно обґрунтувати вибір оптимального методу відновлення гільз та описати технологічний процес;
- навести результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність запропонованого методу з точки зору підвищення довговічності та надійності гільз;
- розглянути аспекти охорони праці при впровадженні нового технологічного процесу на виробництві;
- обґрунтувати економічну доцільність застосування розробленої технології в умовах сервісного обслуговування автотракторної техніки.

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	Петриченко Є.А., доцент		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При–мітка
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)

Дмитрієв А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Петриченко Є.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена вивченню показників надійності автотракторних дизельних двигунів із акцентом на вдосконалення технології відновлення гільз циліндрів. Робота включає п'ять розділів.

У першому, аналітичному розділі проведено огляд конструктивних особливостей, матеріалів та умов експлуатації гільз циліндрів автотракторних двигунів. Висвітлено характерні дефекти, типові відмови та їх причини, а також проаналізовано існуючі методи усунення зазначених проблем.

Другий розділ містить техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального методу відновлення гільз та опис технологічного процесу, розробленого з використанням магніто-імпульсної обробки.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень, які підтверджують ефективність запропонованого методу з точки зору підвищення довговічності та надійності гільз.

Четвертий розділ розглядає аспекти охорони праці при впровадженні нового технологічного процесу на виробництві.

П'ятий розділ присвячено економічній доцільності застосування розробленої технології в умовах сервісного обслуговування автотракторної техніки.

Робота містить 76 сторінок тексту та супроводжується презентацією з 12 слайдів.

Ключові слова: автотракторний двигун, гільза циліндра, відновлення, магніто-імпульсна обробка, надійність, технологічний процес.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Об'єкт дослідження та його характеристика.....	8
1.2. Дефекти гільз циліндрів	12
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1. Аналітичне дослідження роботи здатності гільз дизельних двигунів та визначення оптимального способу їх відновлення	19
2.2. Розробка технологічного процесу відновлення гільзи двигуна IVECO 128.00 F3AE	21
3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	42
3.1. Заходи з подовження ресурсу гільзи циліндрів при відновленні ..	42
3.2. Методика проведення експерименту, дослідне обладнання та результати вивчення зносостійкості гільз	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	49
4.1. Стан охорони праці на базовому підприємстві та аналіз	49
4.2. Дослідження виробничого травматизму	50
4.3. Розробка заходів з безпечної роботи на стенді для електролітичного відновлення гільз циліндрів	52
4.4. Рекомендації з поліпшення умов праці на підприємстві	54
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
5.1. Собівартість відновлення гільзи двигуна IVECO 128.00 F3AE CURSOR.	59
5.2. Загальні витрати на оплату праці персоналу, задіяного у процесі гальваномеханічного відновлення гільзи	60
5.3 Оцінка економічної доцільності відновлення	62
ВИСНОВОК.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ВСТУП

Одним із ключових напрямів підвищення ефективності роботи машин є зменшення втрат потужності, що витрачаються на подолання сил тертя у функціональних вузлах. Встановлено, що на тертя та витоки припадає близько 25–50 % усіх механічних втрат у двигуні автомобіля, причому втрати у парі тертя «поршневе кільце – стінка циліндра» становлять 9–15 % загальної потужності двигуна [1–4]. Зменшення цих втрат дозволяє досягти значної економії палива, а також помітно підвищує ефективність і потужність двигуна.

Проблема підвищення ресурсу роботи деталей у вузлах тертя двигунів внутрішнього згоряння є надзвичайно актуальною, особливо для деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ), адже саме вони значною мірою визначають працездатність двигуна загалом [2, 3].

Аналізуючи різні підходи до збільшення довговічності гільз, які можна умовно поділити на конструкторські, технологічні та експлуатаційні, слід зазначити, що зміна поверхневих властивостей гільз значно підвищує їхню стійкість до різних типів зношування (абразивного, абразивно-корозійного тощо). Саме цей підхід є одним із найефективніших з позиції керування властивостями поверхні.

Серед основних шляхів підвищення довговічності робочих поверхонь гільз можна виділити: зміну хімічного складу поверхневих шарів шляхом легування для створення структури, стійкої до зношування; застосування механічної або термічної обробки, що спричиняє структурні перетворення та підвищує зносостійкість; нанесення антифрикційних, припрацьовуючих або зносостійких шарів на робочу поверхню гільз.

Особливо важливу роль відіграють антифрикційні покриття, оскільки вони дозволяють швидко сформувати оптимальну шорсткість пари тертя в період припрацювання, зменшуючи інтенсивність зношування та ймовірність виникнення пошкоджень у початковий період експлуатації.

Мікрозадири, які виникають у процесі роботи пари тертя, значно знижують її ресурс, однак застосування мідьвмісних антифрикційних покриттів дозволяє

суттєво зменшити цю проблему. Такі покриття мають кращу змочуваність і здатність утримувати мастило на сталевих поверхнях порівняно зі звичайними сталевими шарами [5].

Різноманітність відомих методів підвищення зносостійкості пояснюється тим, що жоден з них окремо не забезпечує достатнього рівня захисту з'єднань циліндропоршневої групи, які працюють у складних умовах тертя. Це обумовлює необхідність створення комплексних технологій, які поєднують механічні, хімічні та термічні методи обробки.

Для підвищення довговічності деталей ЦПГ була розроблена технологія нанесення мідьвмісного антифрикційного покриття на робочу поверхню гільз циліндрів за допомогою електромеханічного методу. Її суть полягає в поєднанні термічної та механічної дії на поверхневий шар деталі.

Під час електромеханічної обробки через контактну зону між мідьвмісним матеріалом та поверхнею деталі проходить електричний струм великої сили при низькій напрузі. Це призводить до сильного нагрівання виступів мікронерівностей, які заокруглюються по вершинах та заповнюються мідним матеріалом. Одночасно з цим відбувається зміцнення поверхневого шару основи внаслідок комплексного термомеханічного впливу.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Об'єкт дослідження та його характеристика

Об'єктом дослідження є процес відновлення деталей під час проведення ремонту та технічного обслуговування двигуна Iveco (FPT) N67.

Предмет дослідження – ремонт гільз циліндрів автотракторних двигунів шляхом застосування технологій відновлення з використанням розмірно-точної механічної обробки.

Конструктивні особливості гільз циліндрів автотракторних двигунів дозволяють класифікувати їх на три основні типи [6, 7] (рис. 1.1):

- «Мокрі» гільзи – встановлюються безпосередньо в сорочку охолодження та контактують з охолоджувальною рідиною.
- «Сухі» гільзи – не мають прямого контакту з охолоджувальною рідиною і вставляються в блок циліндрів з натягом.
- Гільзи з повітряним охолодженням – застосовуються у двигунах, де охолодження здійснюється за рахунок повітряного потоку.

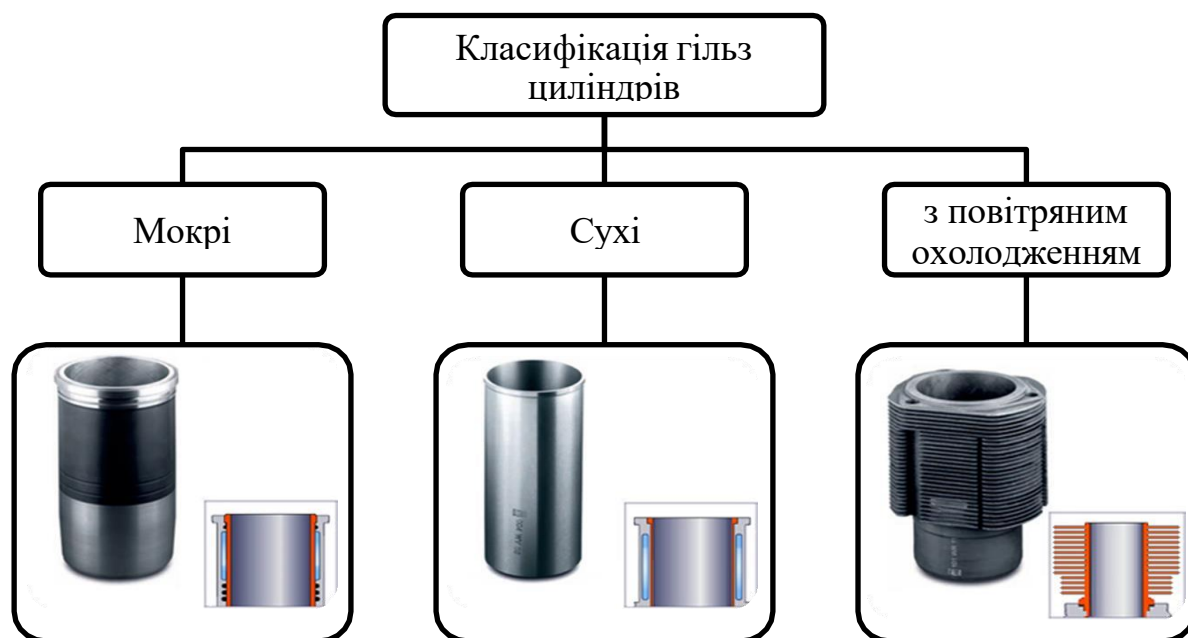


Рисунок 1.1 – Класифікація гільз циліндрів за конструктивними ознаками

У таблиці 1.1 подано основні технічні параметри гільз циліндрів.

Таблиця 1.1 – Основні параметри та характеристики гільз циліндрів

Сухі гільзи. Хонінговані	
	
Заготовка гільзи	Мокра гільза
	
Мокра гільза з нагароземним кільцем	Циліндр для двигунів з повітряним охолодженням
	

Особливості виготовлення гільз циліндрів.

Виробництво гільз для двигунів з рідинною системою охолодження здійснюється методом відцентрового лиття, що дозволяє отримати щільну та однорідну структуру матеріалу, а також видалити важкі домішки з розплаву. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл механічних властивостей по всьому об'єму

деталі.

Для підвищення експлуатаційних характеристик гільзи піддаються спеціальній термічній обробці, яка покращує міцність та стійкість до навантажень. Додатково, щоб підвищити зносостійкість і надати антикорозійні властивості, робочу поверхню гільзи піддають фосфатуванню.

У виробництві гільз дизельних двигунів застосовується сірий чавун з легуючими добавками [8, 9], які забезпечують необхідні фізико-механічні властивості матеріалу. Основні характеристики такого чавуну наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Склад і призначення легуючих добавок у матеріалах гільз

Застосовувані легуючі елементи	
Cr Хром	Збільшує твердість, міцність і зносостійкість.
Mo Молібден	Підвищує твердість, не погіршуючи оброблюваність. Поліпшує зносостійкість.
Ni Нікель	Поліпшує оброблюваність чавуну. Поліпшує механічні властивості й підвищує зносостійкість чавуну. Нікель забезпечує рівномірну твердість матеріалу по всьому об'єму виливка.
Cu Мідь	Мідь по властивостях аналогічна нікелю. Чавуни з домішками міді мають високу твердість, необхідну в'язкість і гарною оброблюваністю.
V Ванадій	Надає чавуну дрібнозернисту структуру, змінюючи його металеву основу. Збільшує загальну міцність чавуну, не роблячи його крихким.
Ti Титан	Поліпшує структуру й механічні властивості відливки, сприяючи підвищенню міцності металевої основи чавуну. Будучи гарним розкислювачем, титан забезпечує одержання чавуну, вільного від газових раковин і шкідливих домішок.

Р Фосфор	Поліпшує текучість чавуну, забезпечуючи рівномірність структури відливки. Зменшує усадку відливки при охолодженні. Сприяє збільшенню твердості.
-------------	---

Плосковершинне хонінгування (ПВХ) (рис. 1.2) – це технологічний процес обробки внутрішньої поверхні циліндрів, у результаті якого формується поверхня з чергуванням гладких ділянок із низькою шорсткістю (плато) та глибших мікроканалов (рисок). Плато створює умови для ефективного ущільнення та компресії, тоді як мікроризки забезпечують оптимальне утримання мастильного матеріалу.

Завдяки застосуванню ПВХ забезпечується швидше припрацювання циліндрів і поршневих кілець, що призводить до зменшення інтенсивності зношування двигуна та підвищення стабільності його роботи впродовж експлуатації.



а



б

Рисунок 1.2 – Технологічні варіанти хонінгування гільз циліндрів:

а – хонінгування з плоскими вершинами;

б – класичне (традиційне) хонінгування.

На рисунку 1.3 подано приклад маркування гільз циліндрів відповідно до виробничих стандартів.



Рисунок 1.3 – Приклад маркування гільз циліндрів за технічними ознаками та виробничими параметрами

1.2. Дефекти гільз циліндрів

Виділяють п'ять основних типів дефектів гільз блоку циліндрів (рис. 1.4):

- зношування зовнішньої поверхні деталі;
- утворення надлому бурту гільзи;
- зношування або пошкодження посадкових пазів;
- дефекти на внутрішній робочій поверхні;
- поява тріщин у матеріалі.

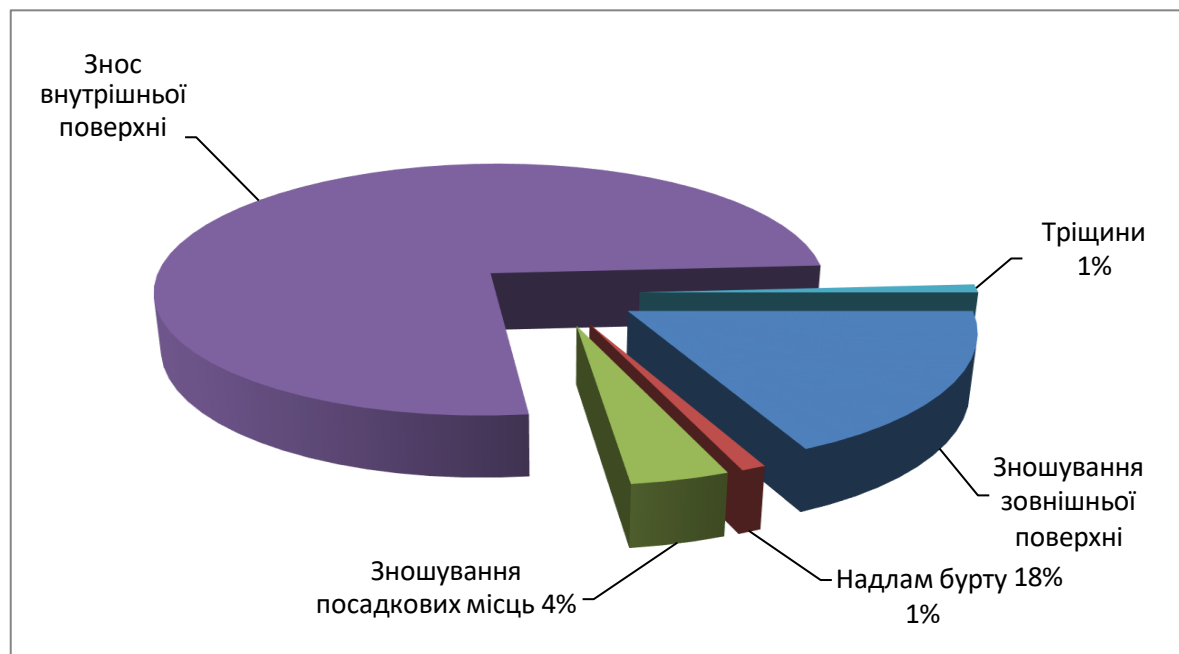


Рисунок 1.4 – Типові пошкодження та дефекти гільз блоку циліндрів, що виникають під час експлуатації

Зношування зовнішньої поверхні (рис. 1.5).

Оскільки більша частина зовнішньої стінки гільзи блоку циліндрів постійно контактує з охолоджувальною рідиною, на ній з часом утворюється кавітаційне зношування – головна ознака пошкодження цієї зони. Причиною його появи є вібрації гільзи, що виникають під час інтенсивної роботи двигуна, що й призводить до поступової деградації матеріалу зовнішньої поверхні. У результаті інтенсивних вібрацій утворюються дрібні пухирці, які, вибухаючи поблизу зовнішньої поверхні гільзи, спричиняють процес, відомий як кавітація. Саме вона є головною причиною пошкодження зовнішньої частини гільзи. Крім того, кавітація сприяє розвитку корозійних процесів, що ще більше погіршує стан матеріалу, призводячи до його поступового руйнування та зносу.



Рис. 1.5. Кавітаційне руйнування гільзи

Зношування гільз блоку циліндрів часто спричиняє потрапляння охолоджувальної рідини всередину картера двигуна. Її подальше змішування з мастилом, яке використовується для змащування поршня, призводить до утворення масляної емульсії, що суттєво погіршує роботу всього двигуна та може викликати його серйозні несправності.

Надлам бурта (рис. 1.6) є ще одним поширеним дефектом гільз. Основною причиною його виникнення може бути потрапляння сторонніх частинок між буртом і гільзою блоку циліндрів. Це можуть бути залишки прокладкових матеріалів, бруд, металева стружка чи інші забруднення, які створюють додаткові напруження та призводять до пошкодження бурта.



Рисунок 1.6 – Деформація типу надлому бурту гільзи: приклад пошкодження при механічних навантаженнях

Серед основних причин надлому бурта гільзи можна виділити такі: відсутність торцевої кромки (фаски) на його поверхні; перекіс у зоні опори бурта; використання прокладки головки блоку циліндрів, яка не відповідає потрібним розмірам; невіривняна або недостатньо очищена вогнетривка кромка на головці циліндра; а також порушення технологічного процесу під час ремонту та обробки гільз.

Зношування посадкових поясків (рис. 1.7) виникає внаслідок інтенсивних вібрацій під час роботи двигуна, що з часом призводить до поступової втрати геометрії й зменшення надійності посадкових з'єднань.



Рисунок 1.7 – Знос посадкових поясків гільзи циліндра внаслідок тривалої

експлуатації

Унаслідок кавітаційних процесів, що руйнують поверхню або сприяють утворенню накипу, між посадковими поясками з часом формується овальність. Це порушує правильну роботу гільзи циліндра, призводить до інтенсивнішого зношування та значно зменшує ресурс двигуна.

Деформація дзеркала циліндрів (рис. 1.8) може виникати внаслідок потрапляння пилю всередину двигуна, що часто трапляється через нещільне кріплення повітряного тракту під час надходження повітря через впускний колектор. Також частинки пилю можуть потрапити разом із маслом або паливом у разі їх неправильного зберігання. Абразивне зношування дзеркала циліндрів – внутрішньої робочої поверхні гільзи – зумовлене механічним тертям твердих частинок, яке найінтенсивніше відбувається у верхній частині гільзи через підвищений тиск у цій зоні.



Рисунок 1.8 – Характерні зони зношування гільзи циліндра при експлуатаційних навантаженнях

Ознаки появи тріщин у гільзі циліндрів (рис. 1.9) можуть проявлятися у вигляді:

- перегрівання двигуна під час роботи;
- збоїв або неефективної роботи системи охолодження;
- пошкоджень, спричинених ударними навантаженнями;

- наслідків розморожування охолоджувальної рідини;
- дефектів, що виникли в результаті помилок, допущених під час ремонтних робіт.



Рисунок 1.9 – Типові види тріщин у гільзі циліндра та їх локалізація в зоні максимальних напружень

У результаті дії перелічених вище факторів у гільзі утворюються мікротріщини, які з часом розширюються та призводять до її руйнування. Це, своєю чергою, негативно впливає на роботу двигуна й спричиняє суттєве зниження його продуктивності.

Висновок

Відновлення зношених деталей сьогодні набуває особливої актуальності, оскільки вартість нових комплектуючих значно перевищує витрати на їх ремонт і повторне використання. Однак для досягнення належного результату важливо забезпечити високу якість відновлення, виконати точну механічну обробку та застосувати науково обґрунтовану, ефективну технологію ремонту. Крім того,

процес відновлення дозволяє суттєво заощадити матеріальні, енергетичні та трудові ресурси, оскільки виготовлення нових деталей є значно більш ресурсомістким.

Однією з найважливіших деталей, які доцільно піддавати відновленню, є гільзи циліндрів, кількість яких у двигуні може коливатись від 4 до 12 штук. Попри це, на практиці вони часто не ремонтуються, хоча їхня вартість є досить високою. Наприклад, гільза для двигуна Iveco (FPT) N67, що використовується у тракторах та автомобілях, коштує 2800–3500 грн за штуку, а комплект із шести гільз – 16800–21000 грн, і це лише витрати на гільзи без урахування інших компонентів.

Аналіз причин виходу з ладу гільз циліндрів автотракторних двигунів показує, що найпоширенішими серед них є:

- зношування робочої поверхні (дзеркала);
- кавітаційні пошкодження;
- утворення тріщин та сколів.

Усі ці дефекти можуть бути успішно усунені безпосередньо в умовах ремонтного підприємства.

Мета роботи: Обґрунтувати оптимальний метод відновлення робочої поверхні гільзи циліндра автотракторного двигуна до номінального розміру відповідно до креслення шляхом нанесення антифрикційного покриття.

Завдання роботи:

- провести аналіз причин зношування та виходу з ладу гільз циліндрів;
- дослідити існуючі технології їх відновлення;
- розробити ефективну технологічну схему нанесення антифрикційного шару;
- оцінити техніко-економічну доцільність відновлення гільз порівняно з придбанням нових.
- дослідити конструктивні особливості, типові форми та характер зношування гільз циліндрів автотракторних двигунів;
- проаналізувати показники надійності гільз та визначити найбільш ефективний спосіб їх відновлення;

- розробити технологічний процес ремонту гільз циліндрів автотракторних двигунів на прикладі гільзи двигуна Iveco (FPT) N67;
- запропонувати комплекс заходів для подовження ресурсу роботи гільзи шляхом нанесення біметалічного покриття;
- створити методику проведення експериментальних досліджень та спроєктувати експериментальну установку для вивчення процесу нанесення біметалічного шару;
- розробити заходи щодо підвищення рівня охорони праці та забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях;
- виконати техніко-економічну оцінку запропонованих проектних рішень.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналітичне дослідження робото здатності гільз дизельних двигунів та визначення оптимального способу їх відновлення

Циліндропоршнева група (рис. 2.1) включає в себе такі основні вузли з'єднань: гільза з блоком циліндрів, поршневе кільце з гільзою, гільза з юбкою поршня та поршневе кільце з канавкою поршня.

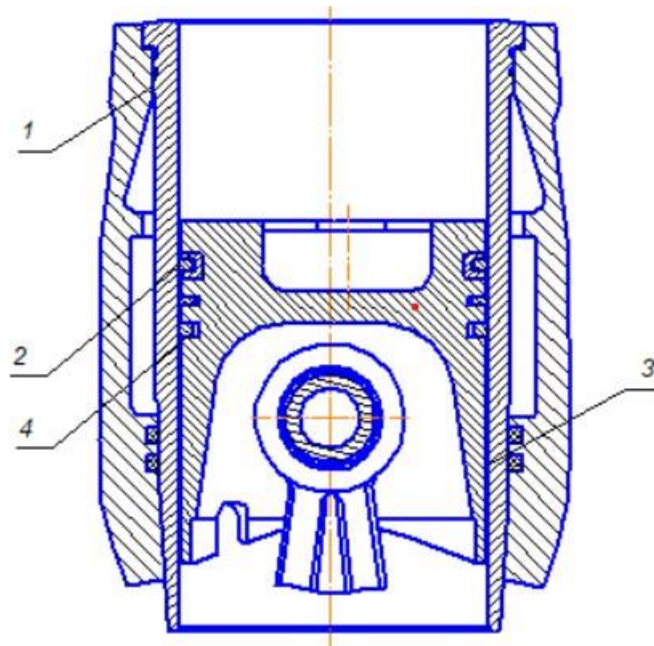


Рисунок 2.1 – Основні з'єднання елементів циліндропоршневої групи:

1 – контакт гільзи з блоком циліндрів;

2 – взаємодія поршневого кільця з внутрішньою поверхнею гільзи;

3 – з'єднання гільзи з юбкою поршня;

4 – посадка поршневого кільця в канавку поршня.

Дослідження проводилось на підприємстві, яке спеціалізується на капітальному ремонті дизельних двигунів і має значну статистичну базу даних щодо відмов окремих механізмів, систем та деталей. Проведений аналіз і статистична обробка цих даних дозволили побудувати діаграму відмов, наведену на рис. 2.2.

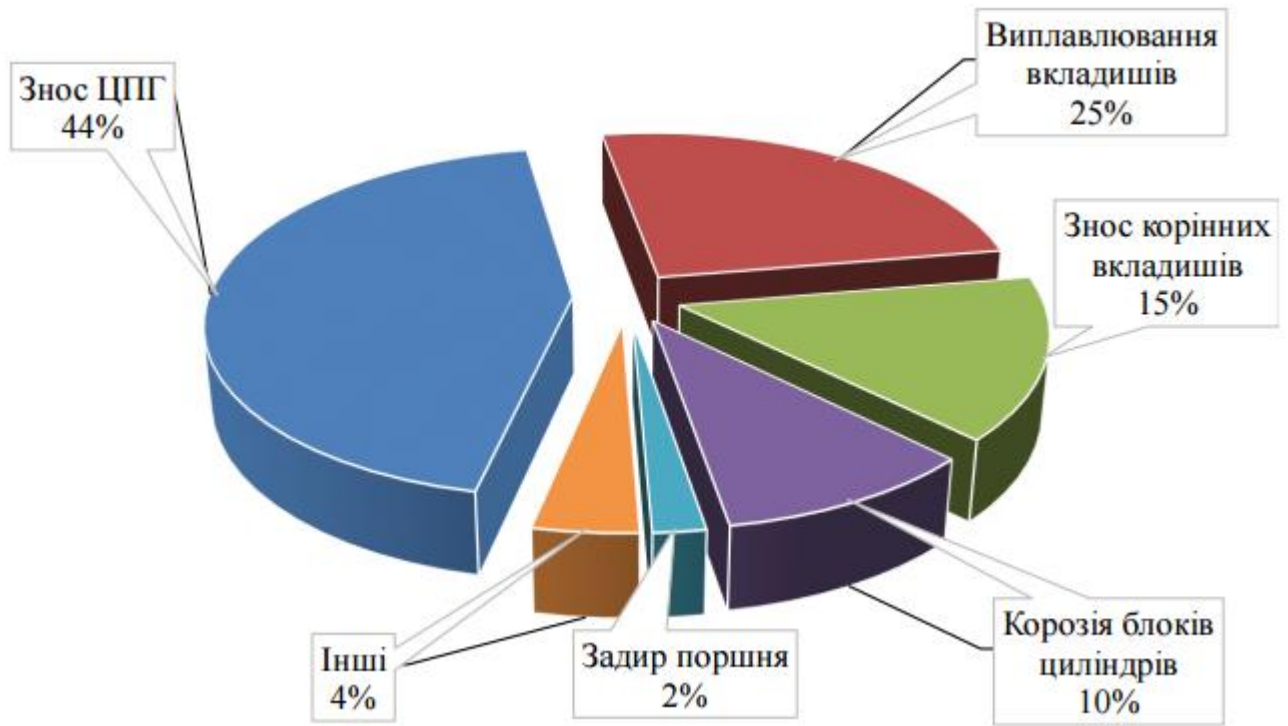


Рисунок 2.2 – Статистичний розподіл причин відмов автотракторних двигунів за результатами технічної діагностики

На частку циліндро-поршневої групи припадає близько 44 % усіх відмов. Детальніший аналіз цих відмов показує їх розподіл за основними видами дефектів. Виділяють п'ять основних пошкоджень гільз блоку циліндрів (рис. 2.3):

- зношування внутрішньої поверхні;
- надлом бурта гільзи циліндра;
- зношування посадкових пасків;
- дефекти внутрішньої поверхні;
- утворення тріщин.

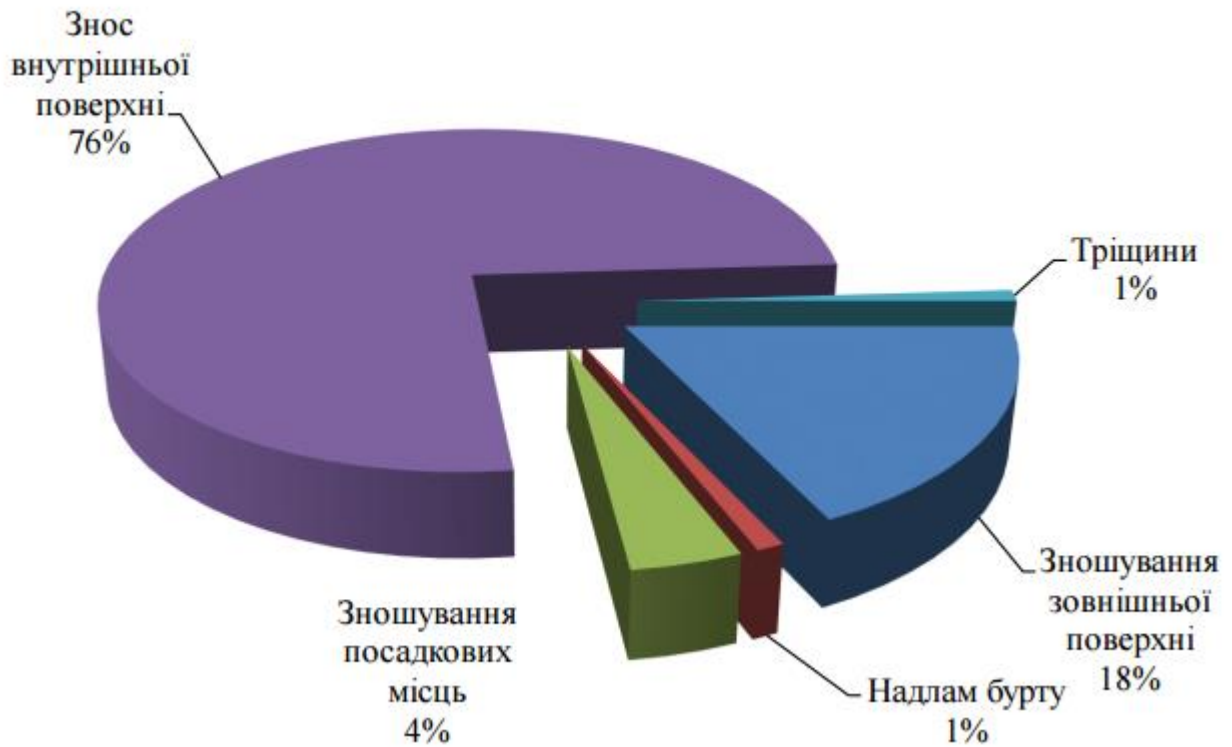


Рисунок 2.3 – Найпоширеніші дефекти гільз блоку циліндрів, виявлені при технічному огляді та діагностиці

Гільзи є досить кошковими деталями і наприклад гільза яка розглядається в роботі IVECO 128.00 F3AE CURSOR 10 коштує 3500 грн/шт. тому продовження терміну їх служби і відновлення їх роботи здатного стану є актуальним питанням. Одним із актуальних методів відновлення являється нанесення на робочу поверхню гільзи біметалічних покриттів з низьким коефіцієнтом тертя.

2.2. Розробка технологічного процесу відновлення гільзи двигуна IVECO 128.00 F3AE

2.2.1. Аналіз технічних умов виготовлення та ремонту

Технічні вимоги до виготовлення гільзи визначаються згідно з робочим кресленням, наведеним на рисунку 2.2, та регламентуються стандартами точності, допусків і параметрів обробки поверхонь.

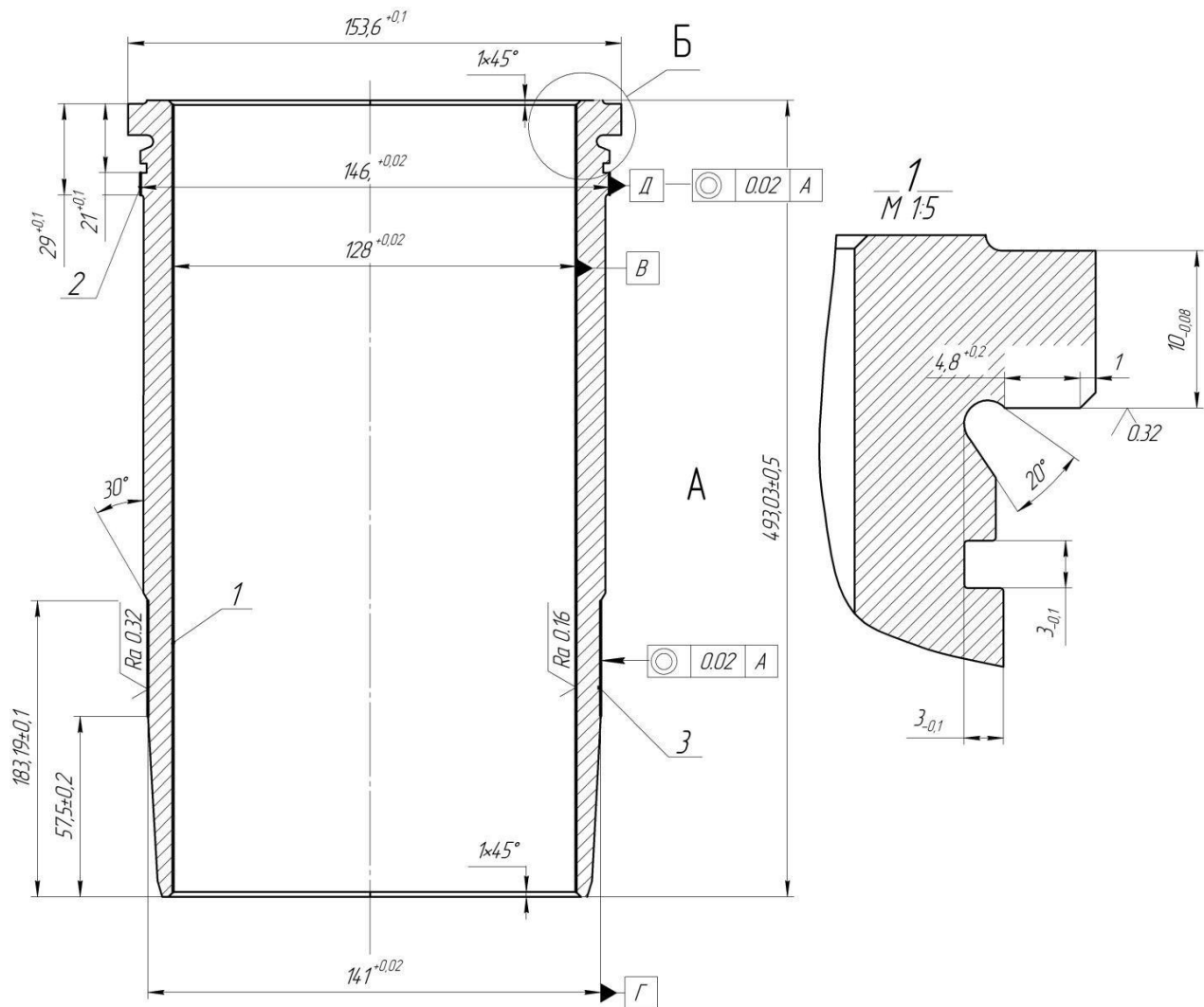


Рисунок 2.4 – Робоче креслення гільзи після відновлення: геометричні параметри та ремонтні допуски

Матеріалом гільзи є спеціальний сірий чавун марки 400. Його мікроструктура повинна характеризуватись пластинчастим перлітом з рівномірним розподілом графіту у вигляді середніх та дрібних пластин. Допустимий вміст фериту – не більше 10 % [13].

Основні геометричні параметри:

- Внутрішній діаметр (клас 13): $128 - 0,005$ мм;
- Загальна висота: $253 + 0,5$ мм;
- Діаметр пояса: $153,76 - 0,1$ мм;
- Товщина пояса:
 - до № 535118: від $10,05 + 0,02$ мм;
 - з № 535119: від $9,90 + 0,02$ мм;

- Відступ пояса від верхнього торця: від $1 + 0,1$ мм;
- Діаметр верхнього краю: $142 + 0,02$ мм;
- Діаметр верхнього центрування: $145,80 + 0,02$ мм;
- Діаметр нижнього центрування: $141 + 0,02$ мм.

Основні технічні умови на ремонт [14, 15, 16]:

1. Конусність внутрішньої поверхні А – не більше 0,01 мм;
2. Овальність поверхні А – не більше 0,01 мм;
3. Шорсткість поверхні А після фінішної обробки – $Ra\ 0,16$ мкм;
4. Конусність посадкових поверхонь Б і В – не більше 0,02 мм;
5. Овальність Б і В – не більше 0,02 мм;
6. Шорсткість після обробки Б і В – $Ra\ 0,32$ мкм;
7. Недопустимі дефекти: тріщини, відколи, задири на поверхнях А, Б, В;
8. Співвісність поверхонь А, Б, В – не більше 0,01 мм;
9. Поверхні А, Б і В повинні мати покриття Fe-CI з твердістю 250–300 кг/мм².

Характеристика гільз і дефекти:

Гільзи циліндрів для двигунів *IVECO* належать до тонкостінних деталей із товщиною стінки близько 17 мм [16]. Виготовляються з високоміцного чавуну, що забезпечує високу зносостійкість [16, 17].

У процесі експлуатації знос внутрішньої поверхні зазвичай не перевищує 0,2 мм, що істотно менше в порівнянні з гільзами інших типів двигунів.

До основних дефектів гільз належать:

1. Зношення дзеркала циліндра;
2. Деформації або порушення взаємного розташування посадкових пасків;
3. Тріщини, відколи;
4. Утворення накипу на водоохолоджуваних поверхнях;
5. Жолоблення, локальні відколи;
6. Глибокі задири;
7. Втрата натягу при посадці гільзи в блок.

Деталі з відколами або тріщинами підлягають бракуванню. Такі пошкодження визначають візуальним оглядом або гідравлічним випробуванням при тиску 4 кгс/см^2 протягом 1–2 хвилин.

Таблиця 2.2 – Дефекти гільз циліндрів, що підлягають відновленню

№ деф	Дефект
1	Знос внутрішньої робочої поверхні А більше $\varnothing 125,2 \text{ мм}$
2	Знос посадочної поверхні Б менше $\varnothing 145,98 \text{ мм}$.
3	Знос посадочної поверхні В менше $\varnothing 140,8 \text{ мм}$.

2.2.2. Обґрунтування оптимального методу відновлення гільзи циліндру

Вибір оптимального способу відновлення гільз на конкретному виробничому підприємстві базується на аналізі техніко-економічних показників. Найбільш доцільним вважається той варіант ремонту, який забезпечує максимальний ресурс відновленої деталі при мінімальних витратах, що не перевищують вартості нової гільзи.

Раціональність вибору методу відновлення визначається шляхом послідовного застосування таких ключових критеріїв [18, 19]:

- Технологічний критерій
- Критерій довговічності
- Техніко-економічний критерій

Технологічний критерій

Для оцінки технологічної доцільності застосування того чи іншого способу відновлення порівнюються параметри, пов'язані з доступністю технологій, рівнем складності процесу, використанням спеціалізованого обладнання та трудомісткістю.

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз способів відновлення за технологічним критерієм

№	Назва дефекту	Спосіб відновлення	Технологічний критерій
1	Знос внутрішньої робочої поверхні А	Наплавлення під шаром флюсу	Не використовується
		Вібродугове наплавлення	Можливе, але враховуючи малий знос поверхні даний спосіб не прийнятний
		Наплавка CO2	Так
		Гальвано-механічна обробка	Так
		Металізація	Так
2	Знос посадочної поверхні Б	Наплавлення під шаром флюсу	Можливе використання але можливі і значні теплові навантаження які можуть призвести до жолоблення деталі
		Вібродугове наплавлення	Так
		Наплавка CO2	Так
		Залізнення	Так
		Обробка під ремонтний розмір	Не використовується так як заводом виробником не передбачено ремонтних розмірів
3	Знос посадочної поверхні В	Наплавлення під шаром флюсу	Можливе використання але можливі і значні теплові навантаження які можуть призвести до жолоблення

			деталі
--	--	--	--------

Технічний критерій

Оцінка довговічності відновленої гільзи проводиться за допомогою коефіцієнта довговічності K_d , який розраховується за формулою (2.1):

де K_{zn} – коефіцієнт зносостійкості;

K_v – коефіцієнт витривалості;

K_z – коефіцієнт зчеплення покриття з основним матеріалом [18];

K_p – поправочний коефіцієнт (приймається в межах 0,8...0,9).

Приклад аналізу першого типового дефекту – зносу внутрішньої робочої поверхні А. Згідно з таблицею 2.3, передбачено п'ять можливих способів відновлення. Проте вібродугове наплавлення та наплавлення під шаром флюсу не розглядаються через складність реалізації в умовах серійного ремонту. Залишаються такі раціональні методи:

- Гальвано-механічна обробка (ГМО);
- Наплавлення в середовищі CO_2 ;
- Металізація.

Розрахунок коефіцієнтів довговічності:

$$K_d^{ГМО} = 0,85 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,47$$

$$K_d^{HCO_2} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,77$$

$$K_d^{мет} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,9 = 0,99$$

Металізація демонструє найвищий коефіцієнт довговічності – 0,99, що свідчить про її ефективність і доцільність для відновлення зношеної гільзи.

Техніко-економічний критерій

Цей критерій дозволяє не лише оцінити ефективність способу відновлення з точки зору ресурсу, але й врахувати вартісні витрати на ремонт.

Методика оцінки техніко-економічного критерію запропонована професором

В.І. Казарцевим, згідно з якою ефективність обраного методу визначається співвідношенням довговічності відновленої деталі до вартості її відновлення, визначається за формулою 2.2:

де C_v – вартість відновлення деталі, грн;

C_n – вартість нової деталі, грн;

K_d – коефіцієнт довговічності після відновлення.

Аналіз техніко-економічних показників для окремих способів відновлення

Вібродугова наплавка:

$$K_e^{ВДН} = \frac{627}{0,47} = 1334$$

Наплавлення в середовищі CO_2 :

$$K_e^{CO_2} = \frac{502}{0,77} = 652$$

Металізація:

$$K_e^{мет} = \frac{125,4}{0,99} = 127$$

Серед розглянутих варіантів найменше значення техніко-економічного показника спостерігається при металізації, що свідчить про її високу економічну доцільність у поєднанні з найвищою довговічністю.

Розрахунки для інших типів дефектів проводяться за аналогічною методикою, а зведені результати подаються в узагальненій формі.

Таблиця 2.3 – Обґрунтування вибору оптимального способу відновлення гільзи на основі техніко-економічного аналізу

Номер і найменування дефекту згідно таблиці 2.2.	Коефіцієнт		
	Технологічний K_t	Довговічності K_d	Техніко- економічний K

Дефект 1	Вібродугова наплавка	0,47	1334
Дефект 2	Наплавка CO ₂	0,77	652
Дефект 3	Металізація	0,99	127

Таким чином, для відновлення зношених посадкових поверхонь Б і В доцільно застосовувати метод залізнення, що забезпечує високу зносостійкість та точність геометрії. Для робочої поверхні А оптимальним є метод електромеханічного залізнення, який дозволяє відновити функціональні характеристики з мінімальними деформаціями та високою якістю обробки.

Після виконання всіх технічних та економічних розрахунків визначаються як основний, так і альтернативний (резервний) методи відновлення. Дані заносяться в підсумкову таблицю.

Таблиця 2.4 – Обґрунтовані методи відновлення гільзи циліндра за зонами зношування

№ деф	Дефект деталі	Метод виправлення дефекту	
		Основний	можливий
1	Знос внутрішньої робочої поверхні А більше Ø 125,2 мм	Металізація (гальвано-механічне нанесення біметалу)	Обробка під ремонтний розмір
2	Знос посадочної поверхні Б менше Ø 145,98 мм.	Гальванічне покриття	Металізація
3	Знос посадочної поверхні Б менше Ø 145,98 мм.	Гальванічне покриття	Металізація
4	Знос посадочної поверхні В менше Ø 140,8 мм.	Гальванічне покриття	Металізація

2.2.3. Формування маршрутної технологічної схеми операцій

У межах розробленого процесу відновлення гільзи циліндра двигуна IVECO 128.00 F3AE сформовано поетапний перелік виробничих операцій, що забезпечують послідовне відновлення геометрії та функціональних властивостей елемента.

Перелік основних операцій:

- 005. Очищення (мийна обробка)
- 010. Внутрішнє алмазне розточування (діаметр 128 мм)
- 015. Гальвано-механічне залізнення внутрішньої поверхні (Ø128 мм)
- 020. Контроль якості нанесеного покриття (внутрішній діаметр)
- 025. Попереднє шліфування посадкових поверхонь (Ø145,8 мм; Ø141 мм)
- 030. Гальванічне залізнення посадкових поясків (Ø145,8 мм; Ø141 мм)
- 035. Повторний контроль якості покриття (посадкові поверхні)
- 040. Фінішне шліфування посадкових ділянок (Ø145,8 мм; Ø141 мм)
- 045. Токарна обробка канавок і фасок
- 050. Повторна мийка після механічної обробки
- 055. Хонінгування робочої поверхні гільзи
- 060. Фінальний контроль геометричних параметрів

Ця послідовність операцій забезпечує відновлення гільзи до стану, що відповідає вимогам експлуатаційної надійності та міжремонтного ресурсу.

005. Високоточне алмазно-розточувальне оброблення

- Обладнання: алмазно-розточувальний верстат моделі 2A78
- Різальний інструмент: розточувальний різець із твердосплавною пластиною ВК6 (ГОСТ 18063-72)
- Вимірювальний інструмент: нутромір індикаторного типу НІ 100–160 (ГОСТ 868-72)

Послідовність виконання операції:

1. Встановити гільзу в спеціальне пристосування та надійно її закріпити.
2. Відцентрувати гільзу відносно осі шпинделя верстата.
3. Виставити глибину різання різця за допомогою індикаторного приладу.
4. Провести обробку внутрішньої поверхні до діаметра $\varnothing 128,8 + 0,02$ мм

на глибину $253 \pm 0,5$ мм, з досягненням шорсткості поверхні $Ra \leq 2,5$ мкм.

5. Демонтувати гільзу з пристосування після завершення обробки.

Режими різання:

- Подача – 0,14 мм/об;
- Швидкість різання – 130 м/хв;
- Частота обертання шпинделя – 300 об/хв;
- Виліт різця – 0,5 мм.

Розточування поверхні виконується в один прохід, що забезпечує точність та стабільність геометричних параметрів.

Основний машинний час на виконання операції становить:

Тшт – 18 хв.

010. Гальвано-механічне залізнєння внутрішньої поверхні гільзи

- Обладнання: гальвано-механічна установка з затискачем
- Інструмент: брусок АС6М1, волосяна щіточка, віденське вапно
- Склад електроліту: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ – 450 г/л; температура робочого

розчину – 25 °С; концентрація HCl – 1 г/л; $pH = 0,7$

Послідовність виконання операції:

1. Промивання гільзи в холодній воді – 1 хв
2. Знежирення поверхні за допомогою віденського вапна – 2 хв
3. Повторне промивання в гарячій воді ($t = 80$ °С) – 1 хв
4. Сушіння – 5 хв
5. Встановлення деталі в гальвано-механічну установку – 3 хв

Попереднє хонінгування (3 хв):

- Колова швидкість обертання: 60 м/хв
- Зворотно-поступальний рух: 8 м/хв
- Тиск брусків: 8 кгс/дм²
- Частота обертання шпинделя: 320 об/хв

Анодна обробка (2 хв)

- Тиск брусків: 4 кгс/см²
- Щільність струму: 30 А/дм²

Процес нанесення залізного покриття:

6. Увімкнення струму (щільність 5 А/дм²) – 5 с
7. Вихід на робочий режим:
 - 10 А/дм² – 10 хв
 - 20 А/дм² – 10 хв
8. Основне залізнення до діаметра $\varnothing 128 + 0,040$ мм на довжину $253 \pm 0,5$

мм – 25 хв

- Робоча швидкість: 60 м/хв
- Тиск на бруски: 0,25 кгс/см²
- Щільність струму: 300 А/дм²

Остаточне хонінгування (15 хв)

- Колова швидкість: 60 м/хв
- Зворотно-поступальна швидкість: 8 м/хв
- Тиск на бруски: 8 кгс/см²
- Частота обертання шпинделя: 320 об/хв

9. Демонтаж деталі зі стенда – 3 хв
10. Промивання в гарячій воді (80–95 °С) – 30 с
11. Нейтралізація в 10% розчині каустичної соди (80–90 °С) – 2 хв
12. Заключне промивання в гарячій воді – 1 хв

Загальний машинний час виконання операції:

Тшт – 73 хв

020. Контроль якості покриття (внутрішній діаметр)

– Інструмент: нутромір індикаторний НІ 100–160 (ГОСТ 868–72)

– Зміст операції: провести вимірювання діаметра відновленої внутрішньої поверхні гільзи після гальвано-механічного залізнення. Перевірити відповідність допускам та шорсткості.

Тривалість операції:

Тшт – 4 хв

025. Шліфування посадкових поверхонь (попереднє)

– Устаткування: кругло-шліфувальний верстат 3Б151

– Інструмент: 1 Абразивне коло ПП750х40х305х15А32СМ26 К5

– Мікрометр МК 100–150 (ГОСТ 6507–78)

– Зміст операції:

1 Встановити гільзу у верстат по внутрішньому діаметру й торцях.

2 Шліфувати верхній пояс до $\varnothing 145,00 + 0,1$ мм з $Ra = 0,32$

3 Шліфувати нижній пояс до $\varnothing 140,20 + 0,1$ мм з тією ж шорсткістю.

4 Провести контроль геометрії.

5 Режими: глибина – 0,01 мм; подача – 2 мм/об; швидкість круга – 30 м/с

Тшт – 10 хв.

030. Гальванічне залізнення посадкових пасків

– Обладнання: установка гальванічна + випрямляч ВУ12/600

– Пристосування: оправлення центрове

– Інструмент: волосяна кисть, віденське вапно

– Електроліт: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ – 450 г/л; $t = 25^\circ C$; HCl – 1 г/л; $pH = 0,7$

– Зміст операції:

1. Підготовка: знежирення, промивка, анодна обробка.

2. Установка у стенд.
3. Послідовне заміщення верхнього та нижнього пасків до:
 - $\varnothing 146,1 + 0,1$ мм (верхній)
 - $\varnothing 141,1 + 0,1$ мм (нижній)
 - Нейтралізація та заключне промивання.

Тшт – 35 хв.

035. Контроль якості покриття (посадкові поверхні)

- Інструмент: мікрометр МК 100–150 (ГОСТ 6507–78)
- Зміст операції: перевірка фактичних діаметрів верхнього та нижнього посадкових поясів після гальванічного відновлення.

040. Фінішне шліфування посадкових поясів

- Обладнання: кругло-шліфувальний верстат 3Б151
- Інструмент:
 - 1 Абразивне коло ПП750х40х305х15А32СМ26 К5
 - 2 Мікрометр МК 100–150 (ГОСТ 6507–78)
- Зміст операції:
 - 1 Базування деталі в центрах
 - 2 Шліфування верхнього паска до $\varnothing 145,80 + 0,02$ мм
 - 3 Шліфування нижнього паска до $\varnothing 141,00 + 0,02$ мм
 - 4 Контроль
- Режим: глибина – 0,01 мм; подача – 2 мм/с; швидкість круга – 35 м/с

Тшт – 10 хв.

045. Токарно-гвинторізна обробка

- Устаткування: токарний верстат 1К62
- Інструмент: різець ВК-6 (ГОСТ 18879–73), штанген-глибиномір ШГ-
- Зміст операції:

1. Точіння канавки верхнього паска: 3 – 0,1 мм шириною, 2 – 0,1 мм глибиною

2. Обробка фаски нижнього паска під кутом 30°

Тшт – 5 хв.

050. Хонінгувальна

– Устаткування: верстат 3Г833

– Інструмент: бруски АСМ 150×12×6×4; нутромір НІ-50-150

– Зміст операції:

1. Закріпити гільзу, встановити хон

2. Хонінгування до $\varnothing 128 + 0,01$ мм

3. Контроль мікрогеометрії: сітка нахилом 44–64°, глибина западин 2,5–7,5 мкм

– Режими: швидкість 80 м/хв; зворотно-поступальна – 20 м/хв; тиск – 3 кгс/см²; СОЖ – гас

Тшт – 0,5 хв

060. Заключний контроль

– Інструмент: нутромір НІ 100–160, мікрометр МК 100–150, штанген-глибиномір ШГ-250, штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05, пристосування КИ-3340, КИ-3343

– Зміст операції:

1. Перевірка внутрішнього діаметра: $\varnothing 128 + 0,01$ мм

2. Контроль посадкових поясків: $\varnothing 145,80 + 0,02$ мм та $\varnothing 141,00 + 0,02$ мм

3. Визначення овальності та биття буртів

Тшт – 6 хв

2.2.4. Обґрунтування норми часу на відновлення гільзи циліндрів та розрахунок режимів її обробки

Для визначення ефективності технологічного процесу відновлення гільз циліндрів здійснено розрахунок режимів обробки на прикладі двох основних операцій – алмазно-розточувальної 010 та гальвано-механічної 015. Параметри решти операцій представлені в маршрутній карті.

010. Алмазно-розточувальна операція

- Вимоги до обробки: шорсткість обробленої поверхні – $Ra = 1,25$ мкм. Матеріал заготовки – спеціальний чавун із межею міцності $\sigma = 1200$ МПа
- Вибір інструменту: різець з твердосплавною пластиною ВК6 (ГОСТ 18063-72); державка – сталь 40Х. Глибина різання – $t = 0,5$ мм. Діапазон подачі для $Ra = 1,25$ мкм – $s = 0,06 - 0,18$ мм/об
- Уточнення подачі: з урахуванням радіусу вершини різця (0,8 мм) та поправочного коефіцієнта 1,25 для чистового розточування:

$$S = (0,06 - 0,14) \cdot 1,25 = 0,14 \text{ мм / об}$$

Період стійкості інструменту:

$$T = 160 \text{ хв}$$

Розрахунок швидкості різання, відбувається за формулою 2.3. При виконанні внутрішнього поздовжнього розточування з подачею до 0,14 мм/об, для різця, оснащеного твердосплавною пластиною ВК6, з урахуванням відповідних поправочних коефіцієнтів, що враховують умови саме розточування, визначено такі значення розрахункових параметрів [18]:

$$Cv = 200; Xv = 0,15; Yv = 0,2; m = 0,2$$

З урахуванням усіх коригувальних коефіцієнтів, розрахунок швидкості різання проводиться з поправками на тип обробки $K_{bv} = 0,9$, властивості оброблюваного матеріалу (спеціальний чавун із $\sigma = 1200$ МПа) $K_{mv} = 0,69$, тип твердого сплаву ВК6 $K_{iv} = 1,4$, а також геометрію різального інструмента –

зокрема, кут у плані $\varphi = 60^\circ$, для якого $K_{\varphi v} = 0,9$.

Беручи до уваги вищезазначені коефіцієнти, розрахунок проводиться з урахуванням їх впливу на значення швидкості різання за формулою 2.4.

$$V = 150 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок частоти обертання шпинделя, об/хв, здійснюється за стандартною формулою 2.5 з урахуванням діаметра оброблюваної поверхні:

За умови, що діаметр обробки становить $D = 128$ мм, розрахована частота обертання шпинделя дорівнює $n \approx 248$ об/хв. З огляду на практичні налаштування верстата, приймаємо стандартне значення частоти обертання: $n_d = 300$ об/хв. У такому випадку фактична (дійсна) швидкість різання розраховується за формулою 2.6 та становить:

$$V_d = 130 \text{ м/хв.}$$

Потужність, необхідна для здійснення процесу різання, визначається в кіловатах на основі значення сили різання та фактичної швидкості різання згідно з розрахунковими формулами 2.7 та 2.8.

Визначаючи силу різання, виписуємо базові параметри та показники степеневих залежностей: $C_{pz} = 300$, $x = 1$, $y = 0,75$, $n = -0,15$. Додатково враховуємо коригувальні коефіцієнти для конкретного матеріалу обробки: $K_m = 1,4$ (для чавуну) та $K_{\varphi} = 0,94$ (для заданого кута різання). Після підстановки всіх значень, розрахована сила різання в системі СІ становить: $P_z \approx 1200$ Н.

$$N_{\text{різ}} = 120 \cdot \frac{130}{60} \cdot 102 = 2,5 \text{ кВт.}$$

Основний машинний час (в хвилинах) розраховується згідно з методикою [18] на основі технологічної довжини обробки, подачі та частоти обертання інструмента за формулами 2.9 та 2.10:

де: l – робоча довжина отвору, що підлягає обробці, мм; у нашому випадку $l = 253$ мм;

l_1 – довжина врізання інструмента;

l_2 – довжина перебігу різального інструмента після закінчення обробки.

У практичних умовах приймається: $l_1 + l_2 = 2$ мм [18]:

n – частота обертання шпинделя, об/хв (прийнято $n = 300$ об/хв);

s – подача на оберт, мм/об (прийнято $s = 0,14$ мм/об).

Розрахунок проводиться так:

$$Lp = 253 + 2 = 255 \text{ мм}; T_0 = 255/300 \cdot 0,14 = 2,5 \text{ хв};$$

$$T_0 = \frac{255}{300} \cdot 0,14 = 2,5 \text{ хв}$$

Допоміжний час включає витрати на установку, зняття інструмента, підготовчі переміщення та регулювання і визначається за нормативними даними або практичним досвідом виконання аналогічних операцій, визначається за формулами 2.11 та 2.12, та мають розрахунок:

$$T_d = 1 + 0,4 = 1,4 \text{ хв}$$

$$T_{шт} = (2,5 + 0,53) \cdot (1 + 0,08) = 5,3 \text{ хв}$$

Розрахунок припусків на розточування перед нанесенням покриття

У межах даної операції необхідно повністю усунути дефекти та відхилення геометричних параметрів, що виникли внаслідок експлуатаційного зношування. З цією метою мінімальний припуск на обробку визначається за узагальненою формулою, яка враховує нерівності, глибину пошкодженого шару, просторові деформації та похибки базування, визначається за формулою 2.13:

де: R_{zu} – висота мікронерівностей профілю (наявність задирів, ризиків);

T_u – глибина дефектного шару поверхні, що підлягає зняттю;

p_u – просторове відхилення форми поверхні (загальна компенсація геометричних похибок);

ε_{y1} – похибка встановлення деталі в пристосуванні (враховується вплив базування).

Складова p_u включає: p_{u1} – відхилення форми вздовж довжини;

p_{u2} – відхилення по діаметру.

У розрахунках приймається найгірше з можливих значень $-p_{u1} = p_{u2} = 0,010$ мм[19]

Інші параметри: глибина дефектного шару $T_u = 0,04$ мм – характерна для сталей [19];

Висота нерівностей $R_{zu} = 1,5$ мкм – у разі наявності задирів;

Похибка установа $\varepsilon_{y1} = 0,03$ мм – для пневматичного затискного пристрою.

$$2Z_{1min} = 2 \left(0,04 + \sqrt{0,010^2 + 0,03^2} \right) = 0,112 \text{ мм}$$

Максимальний припуск на механічну обробку в межах розглянутої операції розраховується як сума мінімального припуску та допусків, що враховують розсіювання зношення та похибки попередніх операцій, визначається за формулою 2.14:

де $\delta_{дц} = 0,21$ мм – граничне допустиме відхилення розмірів діаметра зношеної частини;

$\delta_{д1} = 0,046$ мм – допуск на діаметр, що формується в результаті виконання розточувальної обробки.

$$2Z_{1max} = 0,112 + 0,210 + 0,046 = 0,368 \text{ мм.}$$

015. Гальваномеханічна операція

У рамках цієї операції проводиться розрахунок параметрів залізнення, що включає два основні етапи: механічну частину (хонінгування) та електрохімічну (гальванічне нанесення заліза).

1. Параметри хонінгування при комбінованій обробці:

- Колова швидкість обертання: $V_{об} = 60$ м/хв
- Швидкість зворотно-поступального переміщення: $V_{п} = 8$ м/хв
- Питомий тиск на оброблювальні бруски: $P = 0,025$ МПа

Обчислення частоти обертання шпинделя:

Частота обертання (об/хв) визначається за формулою 2.15:

де: D – діаметр обробки, мм (у даному випадку 128 мм)

$$n = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 128} \approx 149 \text{ об/хв}$$

У реальних умовах приймається паспортне значення: $n = 320 \text{ об/хв}$.

Швидкість розраховується за формулою 2.16 а розрахунок має вигляд:

$$V = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 320}{1000} = 68 \text{ м/хв}$$

Обчислення довжини робочого ходу брусків

Робочий хід визначається за формулою 2.17:

де: l_x – довжина зони хонінгування, 128 мм;

y – величина виходу брусків за межі зони, 45 мм;

l_u – довжина самих хонінгувальних брусків, 150 мм

Підставляючи значення:

$$L_{px} = 128 + 2 \cdot 45 + 150 = 368 \text{ мм}$$

Визначення кількості подвійних ходів

Повна кількість подвійних переміщень визначається за формулою 2.18:

де: t – загальний знімальний шар, мм (наприклад, 0,01 мм);

B – знімання за один подвійний хід, мм (наприклад, 0,004 мм).

$$n_{\Pi} = \frac{0,01}{0,004} = 2,5 \text{ ходу}$$

Визначення частоти подвійних ходів при хонінгуванні розраховується за формулою 2.19:

де: $v_{\text{вп}}$ – зворотно-поступальна швидкість, м/хв (приймаємо 8 м/хв);

L_{px} – довжина робочого ходу брусків, мм (368 мм).

$$n_{\text{дх}} = \frac{1000 \cdot 8}{2 \cdot 368} \approx 10,87 \text{ подв.хід/хв}$$

Параметри залізнення в гальваномеханічному процесі обчислюються за формулою 2.20:

Дані:

– Густина струму $D_k = 100 \text{ А/дм}^2$;

- Мікротвердість нанесеного шару: 6500 МПа;
- Щільність заліза: $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$;
- Товщина шару h – обчислюється нижче;
- Електролітичний еквівалент $Z = 1,042 \text{ г/Ахг}$
- Катодний вихід η – (приймаємо 100% для спрощення, якщо не вказано інше).

Визначення товщини покриття

Для визначення необхідної товщини металевого шару, що наноситься в процесі гальваномеханічного залізнення, використовується така формула 2.21:

де: D_n – заданий номінальний діаметр гільзи після завершення процесу відновлення, приймається рівним 128 мм;

D_o – фактичне значення діаметра перед початком нанесення покриття, що становить 129 мм;

σ – технологічний припуск, передбачений для остаточної обробки після залізнення, встановлений на рівні 0,05 мм.

$$h = \frac{128 - 129 + 0,05}{2} = 0,525 \text{ мм}$$

$$T = \frac{10^3 \cdot 7,8 \cdot 0,525}{300 \cdot 1,042 \cdot 10} = 1,3 \text{ мм/ГОД}$$

Сила електричного струму, А/дм² розраховується за формулою 2.22:

де $S = 3,2$ –осталювальна площа поверхні, дм²;

$$I = 300 \cdot 3,2 = 960 \text{ А}$$

Для формування шару товщиною 1,3 мм потрібно 60 хвилин. Щоб осадити шар завтовшки 0,525 мм, потрібно:

$$T = \frac{0,525}{1,3} \cdot 60 = 24,2 \text{ хв} \approx 25 \text{ хв}$$

Загальна тривалість процесу: повне відновлення шести гільз займе 204,8 хв, на одну гільзу витрачається близько 34,2 хв.

Висновок

Аналіз показує, що одним із ключових елементів, що визначають загальну надійність роботи автотракторного двигуна, є циліндро-поршнева група, на яку припадає близько 44% усіх зареєстрованих відмов. Такий високий відсоток свідчить про доцільність і необхідність цілеспрямованої роботи щодо підвищення зносостійкості та довговічності її складових, зокрема гільз циліндрів.

Проведений аналіз статистики показав, що найбільша кількість відмов фіксується у проміжку між 1500 та 3500 мотогодин, що суттєво менше від ресурсу, гарантованого виробником. Це свідчить про потенційні конструктивно-технологічні недоліки або вплив складних експлуатаційних умов.

Отже, питання відновлення технічного ресурсу гільз циліндрів та забезпечення їх післяремонтної надійності є надзвичайно актуальним і потребує впровадження ефективних, економічно обґрунтованих технологій ремонту.

3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Заходи з подовження ресурсу гільзи циліндрів при відновленні

Одним із ключових чинників виникнення інтенсивного зношування є порушення умов пластичного деформування матеріалу однією з контактних поверхонь у зоні тертя. Під впливом навантажень збільшується проникнення мікронерівностей однієї поверхні в іншу, що призводить до зміни характеру деформації – від пружної до пластичної, а згодом і до мікрорізання або появи задирів. Такий процес трансформує зовнішнє тертя у внутрішнє, що суттєво прискорює знос [12].

Щоб зменшити інтенсивність зношування й забезпечити формування сприятливого градієнта твердості, необхідно знизити міцність поверхневого шару. Це можливо завдяки підвищенню якості обробки трутьсячих поверхонь під час виготовлення або ремонту.

Однак досягнення високого рівня чистоти обробки потребує значних витрат ресурсів, застосування складного обладнання й залучення кваліфікованих спеціалістів. Тому альтернативним і ефективним рішенням є нанесення на поверхню тертя шарів кольорових металів шляхом металізації. При цьому більш м'який матеріал покриття заповнює мікропорожнини, згладжуючи поверхню й збільшуючи площу контакту під час припрацювання.

Додатково, такі метали мають нижчу межу зсуву, ніж основний матеріал, що сприяє формуванню позитивного механічного градієнта по глибині шару й перешкоджає трансформації зовнішнього тертя у внутрішнє.

Проте повна металізація всієї робочої поверхні гільзи – процес витратний як з точки зору часу, так і вартості. У зв'язку з цим пропонується альтернативний метод: створення на внутрішній поверхні гільзи трьох поясів кільцевих канавок, заповнених міддю (рис. 3.1).

Центральний ряд канавок розташовується зі зсувом на 90° відносно верхнього та нижнього рядів. Відстань від верхнього торця гільзи до початку першого поясу становить $10 \pm 0,5$ мм. Конструкція канавок передбачає попарне перехресне розміщення кілець, які відділені одне від одного. Кожна канавка має

нахил під кутом 17° до діаметральної площини гільзи, а її поперечний переріз виконано у вигляді напівовалу розміром 1,5 мм у ширину та глибину. Відстань між окремими кільцями узгоджена з розташуванням верхнього компресійного й нижнього маслознімного поршневих кілець.

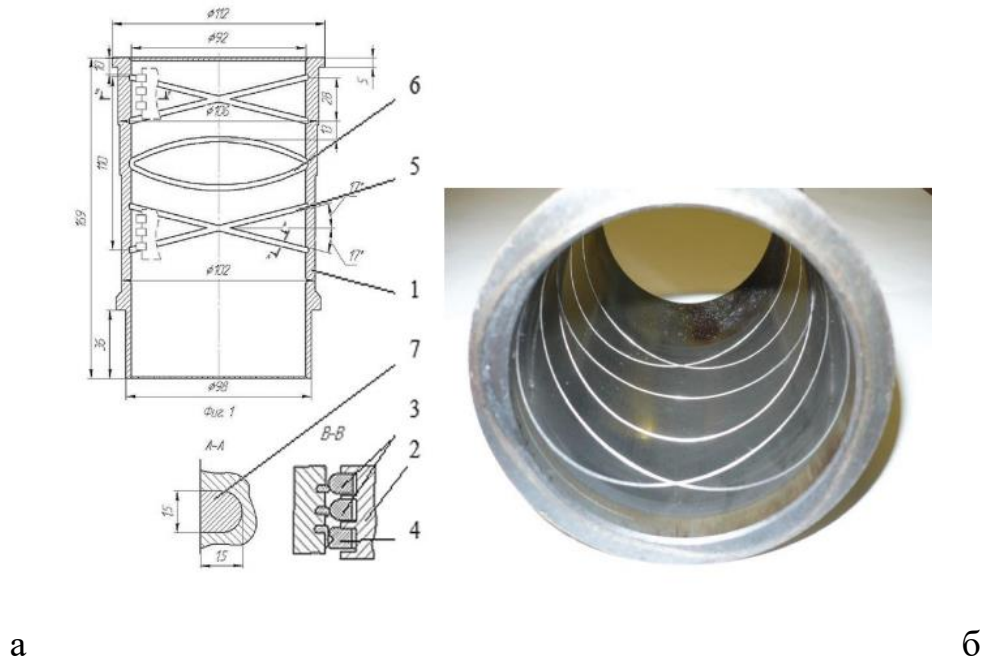


Рисунок 3.1 – Удосконалена конструкція гільзи циліндра:

а – принципова схема розміщення кільцевих канавок;

б – зовнішній вигляд гільзи після модернізації.

Під час роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) поршень 2, оснащений кільцями 3 та 4, здійснює зворотно-поступальний рух у межах робочого ходу – від верхньої до нижньої мертвої точки. В результаті контакту поршневих кілець 3 і 4 з внутрішньою поверхнею гільзи 1, частина м'якого кольорового металу 7, розміщеного у спеціально виконаних канавках 5 і 6, поступово переноситься на поверхню гільзи завдяки дії пластичної деформації.

Цей процес, що супроводжує усі чотири такти циклу роботи ДВЗ, забезпечує поступове "розмазування" кольорового металу по всій довжині циліндра. Утворюється тонкий, рівномірний шар, який покриває робочу поверхню гільзи 1 (див. рис. 3.2).

У результаті такого самовідновного механізму коефіцієнт тертя між поверхнею поршневих кілець і гільзою значно знижується, що сприяє зменшенню

зносу. Як тільки шар кольорового металу набуває достатньої товщини, поршневі кільця більше не знімають матеріал із канавок 5 і 6, зберігаючи покриття. Згодом, у процесі експлуатації, шар металу 7 поступово стирається, і при його зменшенні коефіцієнт тертя між кільцями 3, 4 та поверхнею гільзи 1 незначно зростає, однак не до критичних значень.

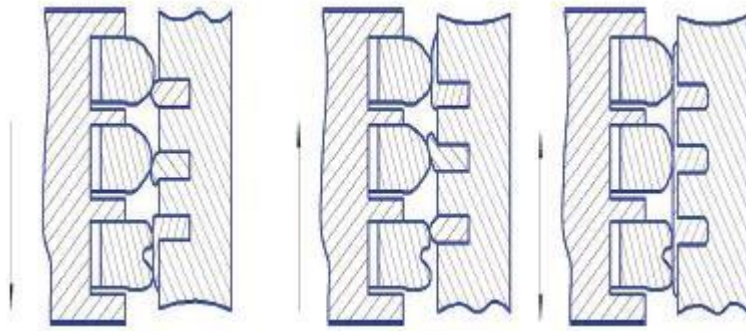


Рисунок 3.2 – Механізм формування захисного шару на внутрішній поверхні циліндра:

- 1 – поршень;
- 2 – компресійне кільце;
- 3 – гільза циліндра;
- 4 – мідна вставка.

Зі зменшенням товщини захисного шару на гільзі одночасно зростає інтенсивність перенесення кольорового металу 7 з канавок 5 і 6 поршневими кільцями 3 та 4. У результаті цього механізм «розмазування» металу по внутрішній поверхні гільзи 1 активізується знову, забезпечуючи відновлення антифрикційного покриття.

Таким чином, формування та підтримання шару кольорового металу 7 на поверхні гільзи 1 відбувається безперервно впродовж усього строку експлуатації циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння, виступаючи своєрідною саморегулювальною системою зниження зносу й тертя.

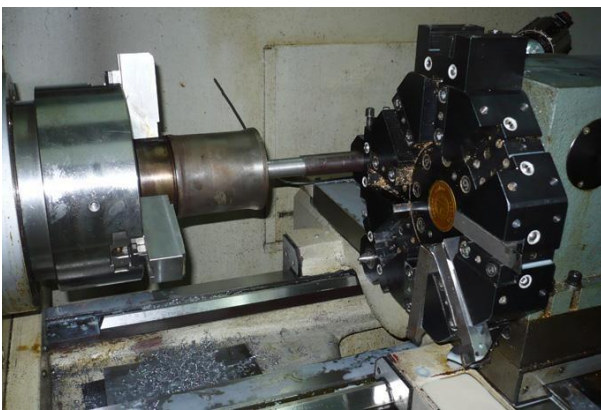
3.2. Методика проведення експерименту, дослідне обладнання та результати вивчення зносостійкості гільз

Експериментальні випробування проводилися на гільзах циліндрів, відновлених шляхом нанесення металізованого шару міді. Технологічний маршрут відновлення (рис. 3.3) охоплював такі базові етапи:

- формування кільцевих канавок із подальшим заповненням міддю;
- підготовча обробка внутрішньої поверхні після нанесення шару;
- виконання чорнового та завершального шліфування внутрішньої частини гільзи.

Для підтвердження достовірності теоретичних розрахунків була реалізована експериментальна програма, що включала:

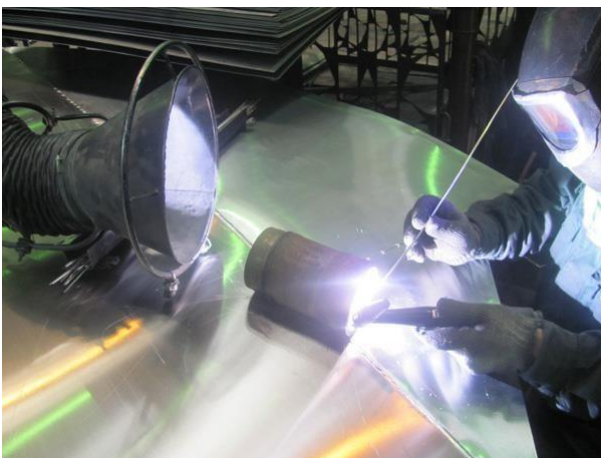
- лабораторні тести зразків з різним кутом орієнтації мідної вставки;
- прискорені випробування гільз, відновлених за допомогою металізації, з оцінкою їх зносостійкості;
- порівняльний стендовий аналіз для встановлення ефективності розробленої технології.



а



б



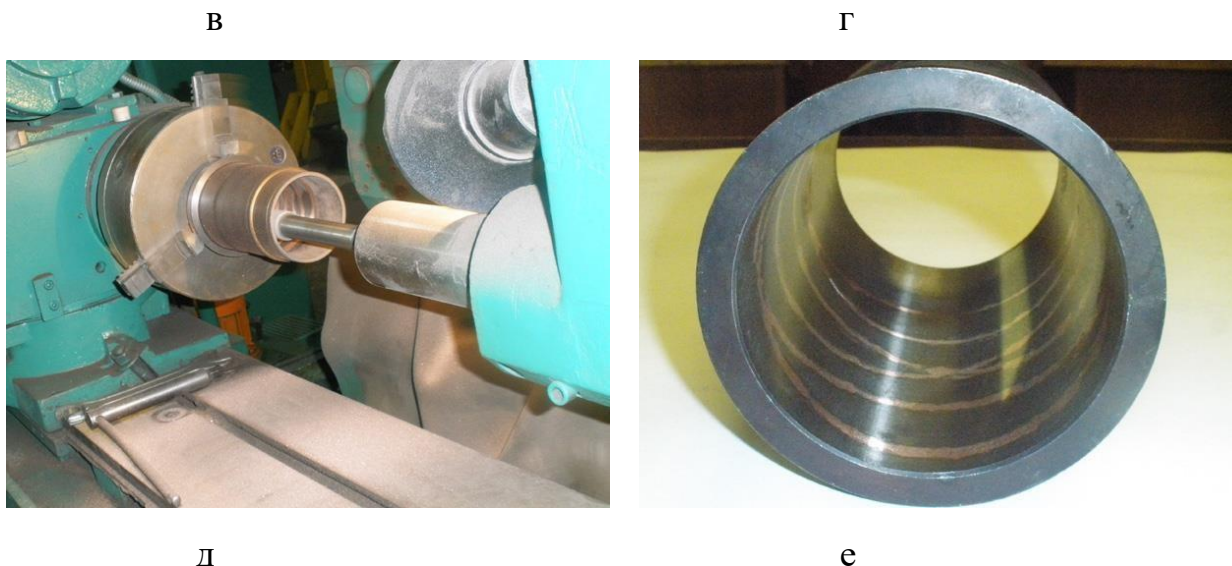


Рисунок 3.3 – Послідовність операцій при відновленні гільзи циліндра металізованим мідним шаром:

а – виконання кільцевих канавок;

б – гільза після нарізання канавок;

в – заповнення канавок міддю;

г – обробка внутрішньої поверхні після наплавлення;

д – фінішне шліфування внутрішнього отвору;

е – готова гільза з мідним покриттям.

Для визначення зносостійких властивостей отриманих покриттів було проведено серію випробувань на стандартному токарному верстаті. До обертового диска діаметром 200 мм притискали зразок гільзи із фіксованим навантаженням у 50 Н. Отримані результати реєструвались і узагальнювались у вигляді таблиці.

Таблиця 3.1 – Дані з випробувань на зносостійкість мідного покриття зразків гільз

Напрацювання, км	Знос, мкм	
	Біметалізована гільза	Типова гільза
0	0	0
200	5,1	14,2
400	10,3	25,6

600	14,0	30,2
800	16,4	36,1
1000	18,8	41,3
1200	20,2	48,5
1400	21,3	52,6
1600	22,9	59,2
1800	23,7	65,1

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що мінімальна інтенсивність зносу зразків спостерігалася при нахилі вставки в межах 15...20°. Це свідчить про оптимальність зазначеного кута для забезпечення рівномірного розподілу мідного шару під час експлуатації.

Ілюстрація, що відображає результати порівняльних прискорених досліджень зносостійкості гільз, наведена на рисунку 3.4.

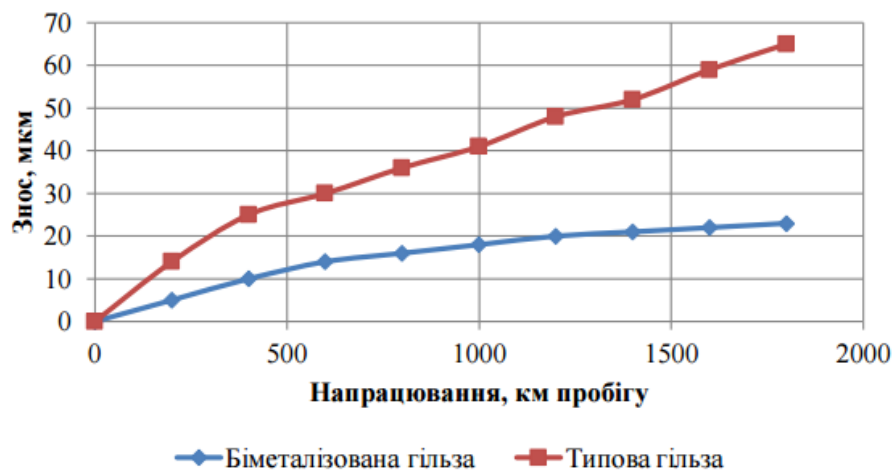


Рисунок 3.4 – Показники інтенсивності зносу гільз

Проведені дослідження продемонстрували, що застосування технології металізації внутрішньої поверхні гільз циліндрів дозволяє зменшити інтенсивність зношування в середньому у 2,7 рази.

Результати вагових вимірювань підтвердили: середній рівень зносу у металізованих гільзах був у 3,4 рази нижчим, порівняно з типовими зразками. Це пояснюється формуванням на поверхні тертя тонкого антифрикційного шару та зниженням коефіцієнта тертя.

Варто зазначити, що на виробничому підприємстві ТОВ «Реммаш» (м. Нікополь) подібні дослідження активно впроваджуються з 2017 року. Зокрема, було відновлено по одному комплекту гільз для вантажівок DAF XF 95 з причепом та DAF XF 95 без причепа. Дані порівняльних випробувань представлено на рисунку 3.5.

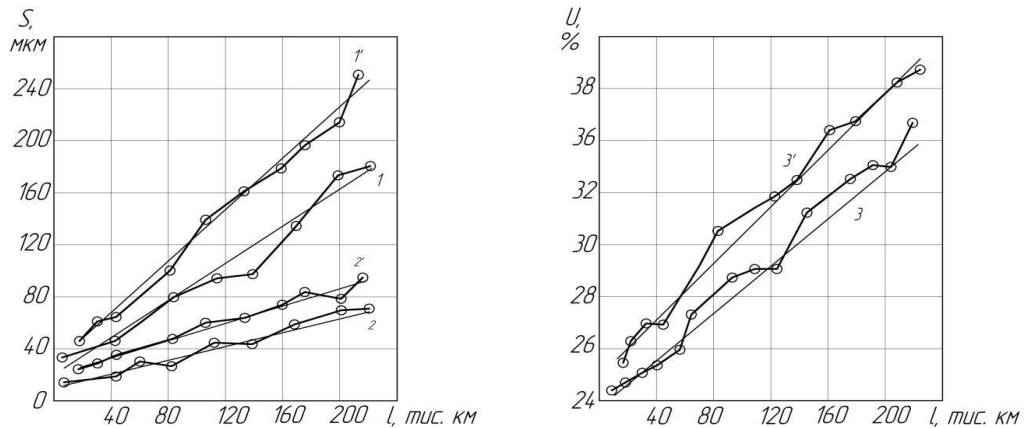


Рисунок 3.5 – Вплив пробігу транспортного засобу на показники зносу гільз

1 – середній рівень зношування гільз;

2 – величина овальності;

3 – обсяг втрат повітря через циліндро-поршкову групу (ЦПГ).

Дані графіки відображають зміну експлуатаційних характеристик гільз залежно від пробігу автомобіля, що дозволяє оцінити ефективність застосованої технології відновлення в реальних умовах.

Висновок

У результаті проведених досліджень встановлено, що одним із ефективних шляхів підвищення ресурсу гільз циліндрів є формування на їх внутрішній поверхні спеціальних кільцевих канавок, у які методом металізації вводиться мідь. Завдяки своїм антифрикційним властивостям, мідне покриття дозволяє знизити коефіцієнт тертя на 15–20%, що, в свою чергу, позитивно впливає на довговічність гільзи.

Проведені випробування підтвердили, що інтенсивність зносу металізованої гільзи зменшується в середньому у 2,7 рази, що є вагомим аргументом на користь впровадження даної технології в практику ремонту автотракторних двигунів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

2.3. Стан охорони праці на базовому підприємстві та аналіз

Експериментальні роботи з випробування та впровадження запропонованого методу підвищення ресурсу гільз проводились на спеціалізованому ремонтному підприємстві. Саме на цьому підприємстві будуть окреслені та проаналізовані заходи у сфері охорони праці.

Організаційна відповідальність

Власник підприємства несе загальну відповідальність за систему охорони праці в товаристві. Спеціаліст із охорони праці виконує функції розробки та впровадження заходів з безпечної праці, проводить регулярні інструктажі, аналізує порушення та недоліки в роботі працівників.

Спеціаліст із охорони праці працює відповідно до чинних методичних вказівок і нормативних документів, прийнятих для ремонтних підприємств. Директор підприємства створює необхідні умови праці, керуючись законодавством України та нормативними актами з охорони праці.

Обов'язки керівництва з охорони праці

Керівник підприємства (директор) організовує і забезпечує функціонування системи охорони праці через:

- створення та управління службою охорони праці, призначення спеціаліста з охорони праці, визначення його повноважень, обов'язків, прав і відповідальності, а також формування допоміжних посад і затвердження нормативної документації (інструкції, регламенти) з безпеки праці;
- розробку й реалізацію комплексних заходів у рамках колективного договору або програм підприємства, що спрямовані на дотримання нормативів безпеки праці та підвищення її рівня;
- впровадження сучасних технологій, здійснення моніторингу науково-технічних досягнень, оновлення засобів виробництва, автоматизацію й

роботизацію операцій з метою мінімізації шкідливого впливу на працівників і поліпшення умов праці.

Структура служби охорони праці

Організаційна схема служби охорони праці на підприємстві подана на рисунку 4.1, де відображено ієрархію відповідальності, взаємодію підрозділів та підпорядкування.

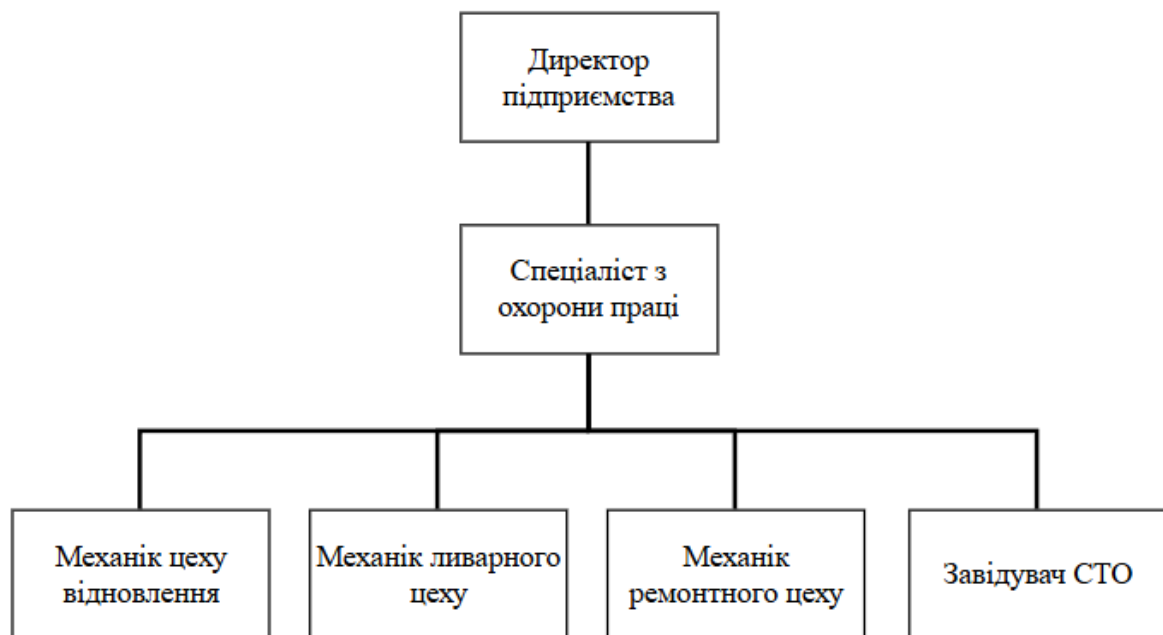


Рисунок 4.1 – Організаційна структура служби охорони праці на підприємстві: взаємозв'язки, рівні відповідальності та підпорядкування

2.4. Дослідження виробничого травматизму

Згідно з аналізом нещасних випадків, що сталися на підприємстві протягом останніх трьох років, було зафіксовано один випадок виробничого травматизму. З метою покращення умов праці та мінімізації ризиків повторного виникнення аналогічних ситуацій, проведено детальний аналіз причин події. Основою для дослідження стали статистичні звіти форми 7-ТНВ, а також матеріали розслідування нещасного випадку за формою Н-1.

Для оцінки рівня виробничого травматизму проведено розрахунки за 2019 рік – рік, коли і було зафіксовано даний інцидент. Всі отримані результати занесено до таблиці 4.2.

Показник частоти травматизму (Кч) визначається за формулою 4.1 [20, 21]:

де: Т – загальна кількість нещасних випадків, що трапилися протягом аналізованого періоду;

П – середньооблікова чисельність працівників підприємства або відповідного структурного підрозділу.

Щоб доповнити аналіз, обчислюється також показник тяжкості травматизму K_T . Він характеризує середню тривалість непрацездатності одного постраждалого працівника і визначається відповідно до методичних рекомендацій з охорони праці за формулою 4.2[20, 21]:

$$K_T = \frac{36}{1} = 36$$

де: Д – дні непрацездатності за звітний період внаслідок травмувань.

Для повноти оцінки також визначається показник втрат K_H . Він відображає втрати робочого часу у зв'язку з травматизмом і розраховується за відповідною формулою 4.3 [20, 21]. Цей коефіцієнт дає змогу кількісно оцінити вплив травмувань на загальну працездатність колективу підприємства:

$$\frac{1000 \cdot 36}{135} = 266,7$$

Ці показники відображають рівень та стан виробничого травматизму на підприємстві і, відповідно, ефективність системи охорони праці. Усі нещасні випадки фіксуються й реєструються згідно з формою 7-ТВН, за якою обчислюються показники за визначений період – у нашому випадку за п'ять років (2018–2022 рр.).

Отримані дані підсумовуються та оформлюються в таблицю 4.1.

Таблицю 4.1 – Показники виробничого травматизму на підприємстві за 2018–2022 роки.

№	Показники	Роки				
		2018	2019	2020	2021	2022
1.	Середня списочна чисельність робітників	135	135	135	135	135*
2.	Кількість робітників, що втратили працездатність	-	1	-	-	-
3.	Кількість днів непрацездатності	-	36	-	-	-
4.	Виплати лікарняних та компенсацій, тис. грн.	-	7,6	-	-	-
5.	Частота травмувань Кч	-	7,4	-	-	-
6.	Важкість травм Кт	-	36	-	-	-
7.	Коефіцієнт непрацездатності	-	266,7	-	-	-

Станом на сьогодні підприємство тимчасово припинило свою діяльність у зв'язку з активними бойовими діями та регулярними обстрілами міста Нікополь. Додатково ситуація ускладнилася частковим пошкодженням виробничих приміщень через ракетні удари.

2.5. Розробка заходів з безпечної роботи на стенді для електролітичного відновлення гільз циліндрів

Загальні вимоги:

- Сконцентруйте увагу на завданні, яке виконуєте; не відволікайтесь на сторонні справи чи розмови, не відволікайте колег.
- Не допускайте на робоче місце осіб, які не мають відношення до поточного процесу.
- Не спирайтесь на конструкцію чи корпус стенда під час його роботи, і не дозволяйте це робити іншим.
- Під час ремонтних робіт на стенді на панелі керування (“пуск”)

обов'язково має бути вивішено попередження: «Не вмикати – ремонт!»

- Деталі масою понад 16 кг слід встановлювати та знімати лише з використанням підйомних механізмів.

- Строго дотримуйтесь усіх вимог з техніки безпеки.

Підготовка до роботи:

- Впорядкуйте спецодяг: застібніть або зафіксуйте рукави, надягніть головний убір; жінки – сховайте волосся під косинку без звисаючих кінців.

- Перевірте наявність та справність таких систем і засобів:

- а) огороження приводних пасів та струмоведучих елементів (муфт, рубильників, кнопок тощо);

- б) заземлення устаткування;

- в) запобіжних пристроїв (перемикачі, запобіжники);

- г) кріпильних пристроїв для заготовки та інструментів.

- Використовуйте тільки справний інструмент і пристрої, застосовуйте їх за прямим призначенням.

- Увімкніть витяжну вентиляцію й перевірте її працездатність.

- Переконайтесь у надійності кріплення голівки для натирання.

Під час роботи:

- Не монтуйте на стенд неперевірені або несправні головки.

- Не вмикайте стенд, поки тампон повністю не зафіксований у корпусі золотника.

- При зменшенні діаметра тампона – негайно замініть його.

- Заміну тампона та інші операції з електролітом виконуйте лише в гумових рукавичках.

- Під час роботи забороняється відкривати захисні кришки, змінювати інструмент або контактувати з рухомими елементами.

Після завершення роботи:

- Вимкніть стенд і електродвигун, перекрийте подачу електроліту.
- Приберіть інструменти, залишки електроліту, очистіть поверхні стенда від бруду і пилу; змажайте тертя ділянки.
- Акуратно складіть готові корпуси і ті, що залишились необробленими.
- Повідомте майстра про всі виявлені під час роботи несправності.
- Зніміть спецодяг і розмістіть його у спеціально відведеному місці.
- Вимийте руки та обличчя теплою водою з милом або прийміть душ.

2.6. Рекомендації з поліпшення умов праці на підприємстві

Екологічний вплив і утилізація електроліту

Після проведення мікродугового оксидування (МДО) відпрацьований електроліт потребує обов'язкової утилізації з урахуванням екологічної безпеки. Викидати його у міську каналізацію категорично заборонено, якщо:

- у розчині містяться хімічні речовини понад гранично допустиму концентрацію (ГДК);
- значення рН виходить за межі 6,5–8,5;
- концентрація зважених речовин перевищує 0,75 мг/дм³.

В електроліті після МДО можуть міститись небезпечні компоненти: лужні речовини, хімічні солі та зважені частки. За стандартом ДСТУ EN ISO 835:2018, їдкий калій КОН – речовина 2-го класу небезпеки, допустима концентрація у повітрі робочої зони – не більше 0,5 мг/м³.

Метасилікат натрію Na_2SiO_3 – речовина 3-го класу небезпеки. Гранично допустима концентрація у повітрі – 0,3 мг/м³, у стічних водах: за SiO_3 – 30 мг/л, за натрієм – 120 мг/л.

Отже:

- заборонено зливати електроліт, якщо концентрація Na_2SiO_3 перевищує 30 мг/л;
- для безпечного зливу слід розбавити електроліт водою до допустимого

рівня;

– найбільш небезпечним фактором є рН – якщо електроліт має $\text{pH} > 8,5$ – потрібно коригування розчину.

Рівень водневого показника рН електроліту може бути визначений за стандартною розрахунковою формулою 4.4, що використовується для оцінки кислотно-лужного балансу розчинів.

де: рН — водневий показник розчину;

γ — коефіцієнт активності іонів (прийнято $\gamma = 0,84$ згідно з табличними даними);

C — молярна концентрація КОН у розчині, моль/л.

Молярна концентрація визначається за такою формулою 4.5:

де: $C_{\text{кон}}$ — масова концентрація гідроксиду калію в електроліті, г/л;

$M_{\text{кон}}$ — молярна маса КОН, г/моль.

Враховуючи, що $M_{\text{кон}} = 56,1$ г/моль, для електроліту з вмістом КОН у межах 1–4 г/л, водневий показник рН буде знаходитися в інтервалі 12,17–12,87.

Варто зазначити, що на значення рН незначно впливає присутність метасилікату натрію, оскільки його константа дисоціації має низьке значення, що не чинить суттєвого впливу на лужність розчину.

$$K_a(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 1,3 \cdot 10^{-10}$$

Таким чином, щоб здійснити злив електроліту до каналізаційної системи, необхідно попередньо знизити його водневий показник до рівня $\text{pH} = 8,5$.

Існує декілька підходів до зниження рН:

– Змішування з кислотними стоками, наприклад, з іншими промисловими чи лабораторними залишками з кислим середовищем;

– Введення кислотних реагентів, зокрема сірчаної, соляної, азотної чи оцтової кислоти;

– Обробка кислими газами, такими як CO_2 , SO_2 або NO_2 .

Вибір конкретного методу залежить від технічних і технологічних

особливостей виробництва. У більшості випадків рекомендується нейтралізація сірчаною кислотою технічного призначення з подальшим промиванням електроліту водою. Після цього оброблені стоки збираються для подальшої утилізації.

Цікавим є той факт, що наявність іонів калію (K^+) у розчині відкриває можливість повторного використання електроліту після очищення — як добриво в сільському господарстві.

Запропоновано також аерувати електроліт, що сприятиме окисленню іонів калію до K_2O — цінного добрива, яке покращує родючість ґрунту. Сам електроліт може бути використаний також для нейтралізації кислих ґрунтів.

Що стосується іонів кремнезему, їх рекомендується видаляти хімічним осадженням або за допомогою іонообмінних методів із використанням гідроксидів заліза, магнію або алюмінію. Утворені осади можуть бути зневоднені, пресовані й застосовані як добавки до будівельних матеріалів.

4.4.1. Розробка організаційно-технологічної карти безпечного виконання робіт з відновлення гільз циліндрів

Під час виконання операцій анодно-механічної обробки внутрішньої поверхні гільзи (дзеркала), виникають потенційно небезпечні зони та шкідливі виробничі фактори, що можуть стати причиною травмування або отруєння працівника.

Тому в процесі організації робочого місця необхідно:

- Визначити потенційно небезпечні фактори (електрострум, контакт із електролітом, обертальні частини обладнання тощо);
- Передбачити захисні засоби та технічні бар'єри;
- Розробити покрокову інструкцію з безпечної роботи;
- Забезпечити навчання та інструктаж персоналу;
- Оснастити робоче місце засобами індивідуального захисту;
- Забезпечити належну вентиляцію, освітлення, утримання в чистоті.

Ці заходи дозволять мінімізувати виробничі ризики та гарантувати безпечне відновлення деталей.

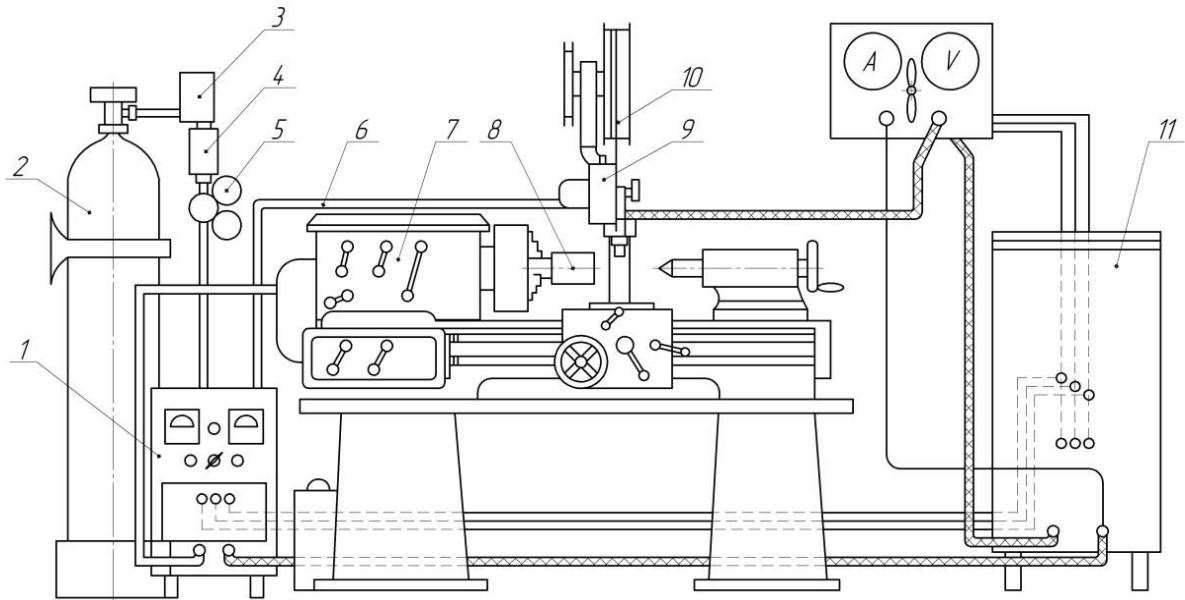


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення установки для анодно-механічної обробки гільз в середовищі CO₂:

1 – електрошкаф; 2 – балон з CO₂; 3 – електропідігрівач; 4 – осушувач; 5 – редуктор тиску газу; 6 – трубопровід подачі CO₂; 7 – токарно-гвинторізний верстат; 8 – гільза циліндра; 9 – редуктор приводу котушки з дротом; 10 – котушка з дротом; 11 – перетворювач (блок керування).

Рекомендовані правила безпечного виконання роботи на приставці ГМВК-1 наведено у Таблиці 3.2.

Таблиця 4.2 – небезпечні зони та заходи по безпечній роботі у цих зонах

№	Можливі небезпеки		Умови безпечного виконання операцій
	Зона	Фактор	
1	Зона наплавки	Ураження електричним струмом, ураження очей та шкіри зварювальною дугою та краплями металу, ураження шкідливими випаровуваннями	1. При підведеному струмі до верстату забороняється його ремонтувати чи проводити ТО; 2. Забороняється працювати без захисної маски чи спеціального щитка з захисним склом. 3. Верстат повинен бути заземлений.
2	Деталь, що	Травмування кінцівок, та	1. Вал повинен бути надійно

	оброблюється	органів зору	закріплений у патроні. 2. Обов'язково вал повинен кріпитись центром задньої бабки. 3. При наплавленні деталей, довжина яких перевищує 1 м використовувати люнет.
3	Наплавлювальна головка	Травмування кінцівок, органів зору та ураження електричним струмом	1. Заправляти касету дротом з використанням спеціальних пристосувань та рукавиць. 2. Головку надійно кріпити до установочних плит токарно-гвинторізного верстату. 3. Зміну швидкості подачі дроту проводити при вимкненому верстаті. 4. Не допускати зменшення зазору між мундштуком і валом менше 7 мм.
4	Зварювальний трансформатор	Ураження електричним струмом	1. Забороняється вмикати трансформатор при непрацюючій системі охолодження. 2. Контактні кабелі повинні надійно кріпитись до відповідних виходів "+, -". 3. Обслуговування трансформатора проводити при відключенні від мережі.
5	Балон з CO ₂	Ураження кінцівок	1. При отриманні балону зі складу перевірити його цілісність. 2. Слідкувати за проходженням перевірок балонів на герметичність. 3. При відігріванні замерзлого редуктора балона не допускається перевищення температури води вище + 25 °С. 4. Відстань від балонів до найближчого джерела випромінювання тепла повинно бути не менше 5 м.
6	Шланги та кабелі	Ураження кінцівок та електричним струмом	1. Шланги для подачі вуглекислоти повинні бути цілими і надійно закріпленими на балоні та на вхідному парубку в мундштук. 2. Електрокабелі повинні бути надійно закріплені, не мати оголених частин. 3. Кабелі та шланги повинні бути прокладені у безпечному місці, потрапляння крапель металу не

			допускається.
--	--	--	---------------

Висновок

Аналіз виробничої діяльності показав, що загальний рівень охорони праці на підприємстві можна вважати задовільним. Проте позитивна оцінка переважно стосується працівників цеху відновлення деталей. Щодо ремонтного персоналу ситуація менш сприятлива: тут спостерігаються численні порушення вимог техніки безпеки, зокрема нехтування використанням засобів індивідуального захисту та порушення правил виконання робіт.

З метою підвищення рівня безпеки під час експлуатації нестандартного обладнання запропоновано впровадити конкретні вимоги до безпечного виконання робіт на стенді для електролітичного натирання корпусів.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Підприємство є одним із провідних виробничих осередків Нікопольського району. На його базі функціонує потужна ремонтна інфраструктура, що дозволяє розгорнути комплекс робіт із відновлення гільз циліндрів автотракторних двигунів. У рамках впровадження такої ініціативи передбачено організацію спеціалізованої ділянки для відновлення внутрішніх поверхонь гільз циліндрів.

Для обґрунтування доцільності реалізації проекту здійснюється техніко-економічна оцінка ефективності впровадження технології відновлення з використанням методів зварювання та наплавлення. Зокрема, економічна ефективність обраховується шляхом порівняння вартості виконання відновлення гільзи двигуна Д-240 гальваномеханічним методом при перевищенні допустимих ремонтних розмірів – із вартістю придбання нової гільзи.

5.1. Собівартість відновлення гільзи двигуна IVECO 128.00 F3AE CURSOR

Собівартість операції розточування:

За даними підприємства ТОВ «Реммаш», пряма собівартість розточування

однієї гільзи циліндра двигуна IVECO 128.00 F3AE CURSOR становить 550 грн/шт.

Оскільки для повної економічної оцінки важливо врахувати не лише прямі витрати, але й частку амортизаційних відрахувань та обслуговування обладнання, до собівартості відновлення гільзи слід додати:

- амортизаційні відрахування на використане обладнання (зокрема верстат 278);
- витрати на технічне обслуговування, ремонт та експлуатацію цього верстата.

1. Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою 5.1[16]:

$$A_{\text{обл}} = \frac{156000,0 \cdot 21,93}{100 \cdot 1200} = 28,4 \text{ грн/шт}$$

де: $B_{\text{верст}}$ — балансова (облікова) вартість верстата моделі 278, грн;

$\lambda_{\text{обл}}$ — річна норма амортизаційних відрахувань (у відсотках);

Q — обсяг операцій розточування гільз за рік, шт.

2. Розрахунок витрат на ремонт та технічне обслуговування верстата.

Витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання визначаються за аналогічним принципом, як і амортизаційні відрахування, за формулою 5.2:

$$B_{\text{ремТО}} = \frac{156000 \cdot 8}{100 \cdot 1200} = 10,4 \text{ грн/шт}$$

де: r — норматив витрат на ремонт і технічне обслуговування, що зазвичай коливається в межах 6,5–10% від балансової вартості обладнання.

5.2. Загальні витрати на оплату праці персоналу, задіяного у процесі гальваномеханічного відновлення гільзи

Розрахунок повної заробітної плати включає основну заробітну плату, доплати за шкідливі умови праці, премії, надбавки за класність, а також додаткові витрати, передбачені колективним договором, проводиться за формулою 5.3:

де: $Z_{\text{з.п.}}$ — базова заробітна плата, грн;

$C_{\text{д.з.п.}}$ — надбавки та додаткова заробітна плата, грн;

$C_{\text{соц}}$ — сума внесків на соціальне страхування, грн.

Основну заробітну плату розраховують за формулою 5.4:

де C_r — годинна тарифна ставка працівника i -го розряду, грн (для 3-го розряду $C_r = 80$ грн);

L_i — число працівників, зайнятих у виконанні операцій i -го розряду ($L_i = 1$ чол.);

γ — темп виконання операції, шт./год.

Темп γ обчислюється за формулою 5.5:

$$T_{\text{пит}} = 1,132 \text{ чол-г/шт}$$

$$\gamma = \frac{1}{1,132} = 0,883$$

$$З_{\text{з.п.}} = \frac{80 \cdot 1}{0,883} = 90,6 \text{ грн}$$

де L — кількість працівників, залучених до виконання даної операції, чол.;

$T_{\text{пит}}$ — трудомісткість виконання ремонтної операції для одного виробу, чол.-год./шт.

Розрахунок додаткової оплати праці $C_{\text{д.з.п.}}$ та внесків на соціальні потреби $C_{\text{соц}}$ виконується згідно з методикою, викладеною у [22].

Розмір додаткової заробітної плати приймається в межах 5–12 % від основної заробітної плати, та розраховується за формулою 5.6:

$$C_{\text{д.з.п.}} = \frac{10 \cdot 90,6}{100} = 9,06 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальні потреби $C_{\text{соц}}$ здійснюються згідно з чинним законодавством України і становлять певний відсоток від сукупного фонду оплати праці (основної та додаткової заробітної плати). У розрахунках зазвичай використовується ставка у розмірі 22 %, що встановлена для єдиного соціального внеску та розраховується за формулою 5.7:

$$C_{\text{соц}} = 0,395 \cdot (90,6 + 9,06) = 39,3 \text{ грн}$$

Загальний фонд заробітної плати працівників, які беруть участь у процесі гальваномеханічного відновлення гільзи, розраховується як сума основної заробітної плати, формула 5.3, додаткової оплати праці та відрахувань на соціальні

потреби:

$$C_{з.п.} = 90,6 + 9,06 + 39,3 = 139 \text{ грн}$$

1. Амортизаційні витрати на хонінгувальний верстат розраховуються за формулою 5.1:

$$A_{обл} = \frac{115000,0 \cdot 21,93}{100 \cdot 1200} = 21 \text{ грн/шт}$$

де B_k — балансова (облікова) вартість хонінгувального верстата моделі 3Б833, грн.

2. Витрати на ремонт та технічне обслуговування розраховуються за формулою 5.2, що й амортизаційні відрахування:

$$B_{ремТО} = \frac{115000 \cdot 8}{100 \cdot 1200} = 7,7 \text{ грн/шт}$$

Розрахунок вартості електроенергії здійснюється на основі діючих тарифів та норм споживання на одну одиницю відновлювальної продукції, за формулою 5.8:

$$B_{ел} = \frac{0,6 \cdot 2,8 \cdot 1,99 \cdot 1706}{1200} = 4,8 \text{ грн/шт}$$

Розрахунок вартості електроенергії враховує: коефіцієнт попиту $K_{п} = 0,6$, номінальну потужність електродвигуна верстата $P_{вер} = 2,8$ кВт, чинний тариф на електроенергію $C_{ел} = 1,99$ грн/кВт·год, а також річний ефективний фонд часу роботи обладнання $\Phi_{об} = 1706$ год.

У процесі ремонту застосовуються як основні, так і допоміжні матеріали, загальна вартість яких складає: для ремонтних матеріалів — 121 грн C_p , а для допоміжних — 58 грн C_b . Враховуючи всі витрати, остаточна повна собівартість відновлення гільзи формується з урахуванням наведених показників, за формулою 5.9:

$$C_{пов} = 139 + (28,4 + 21) + (10,4 + 7,7) + 4,8 + 121 + 58 = 390,4 \text{ грн/шт.}$$

5.3 Оцінка економічної доцільності відновлення

Для визначення рентабельності процесу відновлення гільзи слід порівняти ринкову вартість нової деталі з витратами на її ремонт. Середня ціна нової гільзи

для двигуна IVECO 128.00 F3AE CURSOR становить близько 3000 грн. Це дає змогу провести порівняльний аналіз та зробити висновок щодо доцільності застосування гальваномеханічного способу відновлення.

Відповідно, економічний ефект від ремонту однієї гільзи визначається як різниця між вартістю нової та витратами на відновлення, за формулою 5.10, що й становить прибуток підприємства:

$$\Pi = 1500 - 390,4 = 1109,6 \text{ грн}$$

де: $\Pi_{\text{нг}}$ – ринкова вартість нової гільзи, грн/шт.

Тоді річний прибуток від упровадження технології відновлення визначається як добуток економії на відновленні однієї гільзи та загальної кількості відновлених гільз протягом року, розраховується за формулою 5.11:

$$\Pi_{\text{гцр}} = 1109,6 \cdot 1200 = 1331520 \text{ грн}$$

Розрахунок строку окупності капіталовкладень проводиться за формулою 5.12:

$$T_0 = \frac{156000 + 115000 + 56000}{1331520} = 0,25 \text{ років}$$

де B – сукупна вартість розточного, хонінгувального обладнання та додаткових пристосувань, необхідних для впровадження процесу відновлення гільз; значення вказується в гривнях.

У результаті проведених розрахунків вартості ремонту гільз при плановому обсязі 1200 одиниць на рік, порівняння з ринковою вартістю нових деталей дозволяє дійти висновку про економічну доцільність впровадження запропонованої технології відновлення з нанесенням біметалічного покриття. Очікуваний річний прибуток від реалізації даної методики становить 1 331 520 грн, при цьому строк повної окупності капіталовкладень у виробничу базу складає лише 0,25 року, що підтверджує високу ефективність проекту.

ВИСНОВОК

У ході дослідження встановлено, що в автотракторних двигунах застосовуються три типи гільз: сухі, мокрі та з повітряним охолодженням, з яких найбільш розповсюдженими є мокрі. В результаті аналізу технічного стану гільз циліндрів виявлено п'ять ключових дефектів: зношення робочої поверхні, кавітаційні пошкодження, руйнування бурта, тріщини на поверхні, а також зношення посадкових зон.

Виявлено, що до 44 % загальної кількості відмов у двигунах припадає на циліндро-поршневу групу, що свідчить про критичну важливість підвищення її надійності шляхом ефективного відновлення. Аналіз статистичних даних засвідчив, що максимальна інтенсивність відмов спостерігається на проміжку 1500–3500 мотогодин, що істотно менше за нормативний ресурс.

З метою підвищення ресурсу гільз запропоновано технологію їх відновлення методом гальваномеханічного залізнення, яка дозволяє виконати операцію за 34,2 хв. Крім того, досліджено альтернативне рішення — нанесення на внутрішню поверхню гільз мідних вставок у кільцеві канавки. Це дозволяє знизити коефіцієнт тертя на 15–20 % і скоротити інтенсивність зношення в 2,7 раза.

Оцінка стану охорони праці на підприємстві показала задовільний рівень у цехах відновлення, однак виявлено порушення серед ремонтного персоналу, що свідчить про необхідність впровадження додаткових заходів безпеки. Для роботи зі спеціалізованим обладнанням запропоновано регламент безпечного виконання операцій на стенді електролітичного натирання.

Економічний аналіз довів ефективність застосування запропонованої технології. За річного обсягу 1200 гільз прибуток становить 1 331 520 грн, а термін окупності обладнання не перевищує 0,25 року, що робить цю інвестицію надзвичайно рентабельною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пашутін В.І., Літвінов В.Г. Конструкція та ремонт тракторних і автомобільних двигунів. Київ: Урожай, 2001. 420 с.
2. Міхеєв М.М., Шестаков А.І. Довговічність деталей двигунів внутрішнього згоряння. Москва: Машиностроение, 1990. 256 с.
3. Карасьов Л.Ф. Деталі машин. Київ: Вища школа, 2005. 543 с.
4. Паньков В.Г., Сотник І.М. Технічна експлуатація машин. Київ: Урожай, 2009. 312 с.
5. Сергеев В.Ф., Махненко В.Т. Поверхностные упрочняющие покрытия деталей двигателей. Москва: Машиностроение, 1987. 224 с.
6. ГОСТ 1050–2013. Сталь конструкційна. Технічні умови.
7. ГОСТ 1412–85. Чавуни сірі. Марки.
8. Костюк О.М., Барсуков В.П. Чавуни та сталі для двигунів внутрішнього згоряння. Харків: ХНАДУ, 2012. 230 с.
9. Кузнецов В.М. Машини та обладнання для ремонту тракторів і автомобілів. Київ: Агроосвіта, 2017. 368 с.
10. ГОСТ 2789–73. Шорсткість поверхні. Параметри та характеристики.
11. ГОСТ 6507–90. Мікрометри гладкі. Технічні умови.
12. ГОСТ 868–82. Нутроміри індикаторні. Технічні умови.
13. Iveco F3AE. Cylinder Liner Technical Specification. Torino: Iveco Motors, 2010. 22 p.
14. Technical Manual for Engine Cursor 10 F3AE. Iveco, 2014. 180 p.
15. Repair Standards for Cylinder Liners of Diesel Engines. CNH Industrial, 2016. 54 p.
16. Engine Service Guide. Wear Limits and Repair Tolerances. CNH, 2018.
17. Totten G. Handbook of Mechanical Alloying and Milling. CRC Press, 2010. 900 p.

18. Stachowiak G., Batchelor A. Engineering Tribology. 4th ed. Butterworth-Heinemann, 2013. 884 p.
19. Shigley J.E., Mischke C.R., Budynas R. Mechanical Engineering Design. 9th ed. McGraw-Hill, 2011. 1136 p.
20. Neale M. Tribology Handbook. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2001. 640 p.
21. Schey J. Introduction to Manufacturing Processes. McGraw-Hill, 2000. 732 p.
22. Pawlowski L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Wiley, 2008. 656 p.