

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення працездатності робочих поверхонь деталей двигунів за
рахунок їх зміцнення»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 3
Самофал Віталій Олегович
Керівник: Яценко Ю. В.
Рецензент: Дудник В. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Двигуни автомобілів працюють на різних (сталих і несталых) швидкісних і навантажувальних режимах, які істотно зумовлюють експлуатаційні показники автомобілів. Двигун є джерелом механічної енергії, приводить автомобіль в рух, тому характеристики двигуна безпосередньо впливають на експлуатаційні властивості автомобіля. У свою чергу, вони головним чином залежать від характеру протікання робочого процесу і показників двигуна. Так, на тягово-швидкісні властивості автомобіля впливають потужність і крутний момент двигуна, на паливно-економічні – ефективний ККД двигуна.

Механічний ККД сучасних поршневих транспортних двигунів становить 0,75 ... 0,85, тобто 15 ... 25% індикаторної потужності двигуна витрачається на подолання механічних втрат, значну частину яких складають втрати на тертя. Більше значення зазначеного механічного ККД характерно для зарубіжних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а найменше – для вітчизняних аналогів. Звідси випливає, що безпосередньо пов'язані з тертям витрати палива в питомому вираженні визначаються при тих же умовах величиною від 7 до 11% [1, 2].

Причина високих механічних втрат полягає, перш за все, в недоробку конструкції і технології виготовлення деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ) і кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і, звичайно ж, в неякісних антифрикційних властивостях мастильних матеріалів. Високий рівень енергетичних витрат на подолання тертя в поршневих двигунах обумовлений, головним чином:

- помилками конструювання та технологічного супроводу основних деталей;
- нехтуванням трибологічним аспектом роботи двигуна як технічної системи і, як наслідок, відсутністю підходу до проектування деталі тертя як об'єкта енергозбереження;

- незнанням істинного рівня механічних втрат проектованої конструкції, що, в свою чергу, пов'язано з недостатньою розробленістю і застосованістю методів розрахунку та експериментального контролю параметрів тертя в основних рухомих спряженнях ДВЗ [3].

Через високу температуру нагрівання поршня і різких перепадів температур при протіканні робочого процесу відбувається зниження межі міцності матеріалу поршня – в результаті виникають термонапруження, які спільно з силами інерції і тиску газів негативно впливають на поршень. Для того щоб поршень витримував ці дії, необхідно вдосконалювати конструкцію і технологію його виготовлення.

Одним з ефективних методів поліпшення експлуатаційних показників автомобілів є металізація гільз циліндрів вставками міді і мікродуговим оксидування (МДО) днищ поршнів [4]. В процесі металізації на поверхні тертя деталей при роботі спряження «поршневі кільця – гільза циліндрів» наноситься незначний по товщині шар м'яких металів, який володіє антифрикційними властивостями. Мікродугове оксидування днищ поршнів дозволяє створювати поверхневі покриття, що мають абсолютно нові трибологічні і теплопровідні властивості, ніж матеріал деталі.

Таким чином обґрунтування і використання в двигунах автомобілів металізованих гільз циліндрів і оксидованих поршнів, що дозволяють поліпшити експлуатаційні показники автомобілів і є актуальним завданням.

Мета роботи. Поліпшення експлуатаційних показників автомобілів нанесенням покриттів на деталі циліндропоршневої групи бензинових двигунів.

Об'єкт дослідження. Процеси формування металізованих і оксидованих покриттів на робочих поверхнях деталей циліндропоршневої групи.

Предмет дослідження. Параметри металізованого і оксидованого покриттів на робочих поверхнях гільзи циліндрів, днища і головці поршня.

Методика досліджень. Теоретичні дослідження виконані з використанням основних положень теорії трибологічних процесів пар тертя, теорії двигунів внутрішнього згоряння, методів математичної статистики, порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також порівняльними дослідженнями двигунів і автомобілів. Обробка експериментальних даних виконана із застосуванням прикладних програм Statistica, Microsoft Excel, MathType і ін.

Теоретична і практична значущість досліджень. Отримані теоретичні залежності дозволяють визначити необхідні параметри формованих покриттів, що забезпечують зниження механічних втрат двигуна (за рахунок зниження втрат на тертя) і витрати палива, підвищення ефективної потужності і крутного моменту і, як наслідок, підвищення експлуатаційних показників автомобіля.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз напрямків щодо поліпшення експлуатаційних показників техніки

Ефективність використання автомобіля визначається ступенем здійснення корисної роботи з урахуванням експлуатаційних витрат. При здійсненні транспортної роботи в якості одного з основних показників ефективності виступає собівартість перевезень, тобто витрати, що припадають на одиницю транспортної роботи.

Величина собівартості залежить від експлуатаційних показників автомобіля, що характеризують як розмір транспортної роботи, так і величину витрат. При цьому продуктивність автомобіля визначається його тягово-швидкісними характеристиками, а витрати – паливною економічністю. Тому підвищення ефективності автомобілів безпосередньо залежить від поліпшення цих показників. Оскільки вони, в свою чергу, залежать від конструкції автомобіля і його технічного стану, то основним напрямом поліпшення експлуатаційних показників є вдосконалення конструкції автомобілів та системи підтримки їх в технічно справному стані.

Основними елементами, що формують значення цих показників, є двигун і трансмісія (рисунок 1.1).

Тому поліпшення експлуатаційних властивостей автомобіля, при збереженні незмінними інших факторів, що впливають (опір коченню, лобовий опір і т.д.), може бути здійснено вдосконаленням або зміною, або конструкції двигуна, або елементів трансмісії.

Найбільш часто використовуваним варіантом є зміна трансмісії, що дозволяє змінювати крутний момент в широкому діапазоні.



Рисунок 1.1 – Зв'язок експлуатаційних властивостей з елементами автомобіля

Однак практика показує, що досягнення максимальної ефективності в цьому випадку можливо тільки зі збільшенням потужності двигуна. Крім того, збільшення кількості передач супроводжується збільшенням габаритних розмірів агрегатів трансмісії, ваги автомобіля і погіршенням паливної економічності, або веде до збільшення як самої вартості автомобіля, так і складності підтримки його в працездатному стані.

Не менш поширеним напрямком поліпшення показників двигунів є зміна його конструктивних параметрів. В основному змінюються такі параметри, як об'єм циліндрів, збільшення подачі свіжого заряду, збільшення частоти обертання колінчастого вала. Зміна конструктивно-технологічних параметрів двигуна може бути здійснено тільки на двигунобудівних підприємствах.

Однак, оскільки всі параметри двигуна мають взаємозалежний зв'язок, то для того, щоб мінімізувати або максимізувати значення конкретного вихідного параметра (часу розгону, максимальної швидкості руху автомобіля, витрати палива), слід змінити величину вхідного параметра, в той же час зміна одного з них призведе до зміни іншого. Наприклад, збільшення обсягу камери згоряння двигуна призведе до збільшення не тільки максимальної швидкості і динаміки розгону, але і витраті палива. Як видно, напрямки зміни конструктивних параметрів двигуна не завжди є

економічно доцільними. Тому необхідна розробка інших напрямків, що дозволяють поліпшувати параметри двигуна не тільки в умовах заводів-виробників, а й в умовах виробничо-технічної бази підприємств АПК.

Автомобільний двигун являє собою систему, що складається з окремих механізмів (кривошипно-шатунний, газорозподільний і ін.) і систем: системи подачі палива, запалювання, охолодження, змащення і т.д. Механізми і системи пов'язані один з одним і при функціонуванні утворюють єдине ціле. Відповідно, значення основних експлуатаційних параметрів двигуна будуть залежати не тільки від протікаючих в циліндрі робочих процесів, але і від режимів роботи його агрегатів, механізмів і систем. При цьому взаємозв'язок параметрів механізмів двигуна з його експлуатаційними показниками характеризується впливом безлічі зовнішніх і внутрішніх факторів. Багаторежимний характер роботи і постійно мінливий вплив факторів, що впливають призводять до нескінченного числа значень кожного з вихідних параметрів двигуна.

Тому як об'єкт управління двигун вважається нелінійним, так як реакція на суму будь-яких внутрішніх і зовнішніх впливів не дорівнює сумі реакцій на кожний з впливів окремо.

Через складність конструкції, наявності допусків на розміри деталей двигуна однієї і тієї ж моделі мають різні характеристики. Крім того, за конструктивними параметрами (ступінь стиснення, геометрія впускного і випускного трактів і т.д.) відрізняються і окремі циліндри багатоциліндрового двигуна.

Як видно, поліпшення експлуатаційних показників двигуна може бути здійснено за двома напрямками. Перше – вдосконалення системи управління двигуном, що включає вдосконалення процесів, друге – вдосконалення параметрів механізмів і їх вузлів (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Напрямки поліпшення показників ДВЗ

Одним з основних елементів ДВЗ, від стану якого залежить ефективність його роботи, є циліндропоршнева група.

Деталі циліндропоршневої групи (гільза циліндрів, поршневі кільця та поршень) є найбільш навантажені деталей двигуна. Деталі працюють, як правило, на змінних швидкісних та навантажувальних режимах, а також в різних умовах експлуатації. Ці режими в основному і визначають паливно-енергетичні показники. Механічний ККД сучасних двигунів становить 0,75 ... 0,85. Це говорить про те, що 15 ... 25% індикаторної потужності двигуна витрачається на подолання механічних втрат, значну частину, яких становлять втрати на тертя. Більше значення зазначеного механічного ККД характерно для зарубіжних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а найменше – для вітчизняних аналогів. Звідси випливає, що безпосередньо пов'язані з тертям витрати палива в питомому вираженні визначаються при тих же умовах величиною від 7 до 11% [5].

Причина високих механічних втрат полягає, перш за все, в недоробку конструкції і технології виготовлення деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ) і кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і, звичайно ж, в неякісних антифрикційних властивості мастильних матеріалів [5].

При згорянні паливно-повітряної суміші в бензиновому двигуні максимальний тиск циклу може досягати 8 МПа, а максимальна температура – 2600°C. При виготовленні температура штампування поршнів складає 350...400°C при температурі плавлення *Al* 700°C. Таким чином, середня температура циклу значно вище температури плавлення матеріалу, з якого виготовляється поршень. Щоб уникнути відмови двигуна поршень необхідно охолоджувати [6].

Через високу температуру нагрівання поршня і різких перепадів температур відбувається зниження межі міцності матеріалу. В результаті виникають термонапруження, які спільно з силами інерції і тиску газів руйнують поршень. Для того щоб поршень витримував ці дії, необхідно вдосконалювати конструкцію і технологію виготовлення.

Покращення конструктивних та фізико-механічних властивостей деталей ЦПГ є актуальним, оскільки це один з напрямків підвищення ефективності автомобільних двигунів.

По теперішній час широко застосовуються наступні методи покращення властивостей поверхонь деталей ЦПГ, що забезпечують не тільки підвищений ресурс їх роботи, але і впливають на показники ДВЗ (рисунок 1.3).

Як видно, більшість із способів вимагають кардинальної зміни технологічного процесу виробництва деталей ЦПГ. Для умов експлуатації готових двигунів, а також при проведенні ремонтних робіт найбільш доступними є способи нанесення різних покриттів на готові вироби. Це може бути реалізовано як в умовах виробництва двигунів та їх комплектуючих, так і в умовах невеликих цехів, в тому числі на базі сільськогосподарських підприємств різних форм власності та різної потужності.



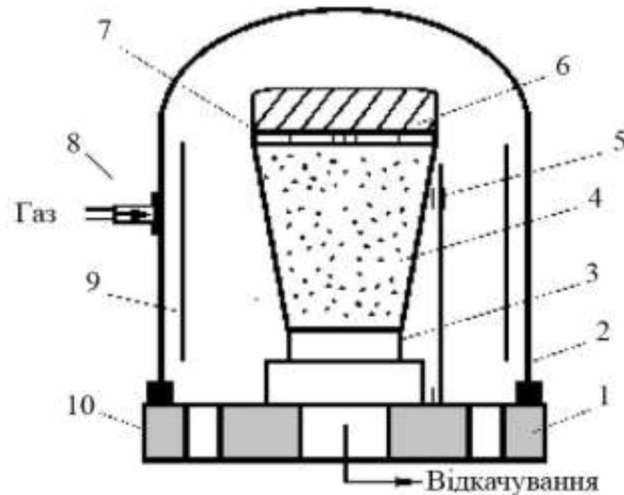
Рисунок 1.3 – Способи покращення деталей ЦПГ, що впливають на процес ДВЗ

1.2. Аналіз способів нанесення покриттів

В теперішній час нанесення покриттів в двигунобудуванні можна проводити різними способами, що дозволяють створювати робочі поверхні, що володіють високими фізико-механічними властивостями, зносо- та корозійною стійкістю та міцно зчеплених з основою.

Покриття вакуумного конденсаційного осадження формується з потоку частинок (рисунок 1.4), що знаходяться в атомарному, молекулярному або іонізуючому стані при малому залишковому тиску. Потом частинок одержують розпиленням матеріалу за допомогою впливу на нього різними енергетичними джерелами. Розрізняють розпилення нанесеного матеріалу методом термічного випаровування, іонного та вибухового розпилення [6, 7].

Метод вибухового розпилення має місце при локальному впливу на поверхню матеріалу енергетичного імпульсу, в результаті чого на мікроділянках поверхні утворюються умови для високошвидкісного випаровування твердого матеріалу.



1 – базова плита; 2 – камера; 3 – випарюючий (розпилений) матеріал; 4 – потік конденсуючих частинок; 5 – заслінка; 6 – обробний виріб; 7 – покриття; 8 – накопичувач робочого газу; 9 – екран; 10 – комунікаційні отвори

Рисунок 1.4 – Узагальнена схема процесу вакуумного конденсаційного осадження

Іонне розпилення – метод, при якому розпилений матеріал піддається бомбардуванню прискореним потоком позитивно заряджених частинок, при цьому розпилений матеріал відіграє роль катоду.

Термічне випаровування полягає в нагріванні до температури випаровування вихідних матеріалів, а також випаровуванні і конденсації пари на поверхні твердого тіла у вигляді тонких плівок або покриттів. Незважаючи на те, що фізико-паровим осадженням отримують високоефективні теплозахисні покриття, вони мають ряд недоліків, серед яких слід відзначити низьку продуктивність, дороге і складне обладнання, низьку адгезію, невисокі показники енергетичних коефіцієнтів розпилення та випаровування.

В основу хіміко-парового осадження належить нанесення покриття на попередньо нагріту поверхню деталі сполуками металів, які знаходяться в газоподібному стані [8].

Осадження, як правило, відбувається в спеціалізованій камері при низькому тиску за допомогою застосування хімічних реакцій відновлення і піролізу при температурах 500...1500°C, що забезпечує оптимальне протікання процесу.

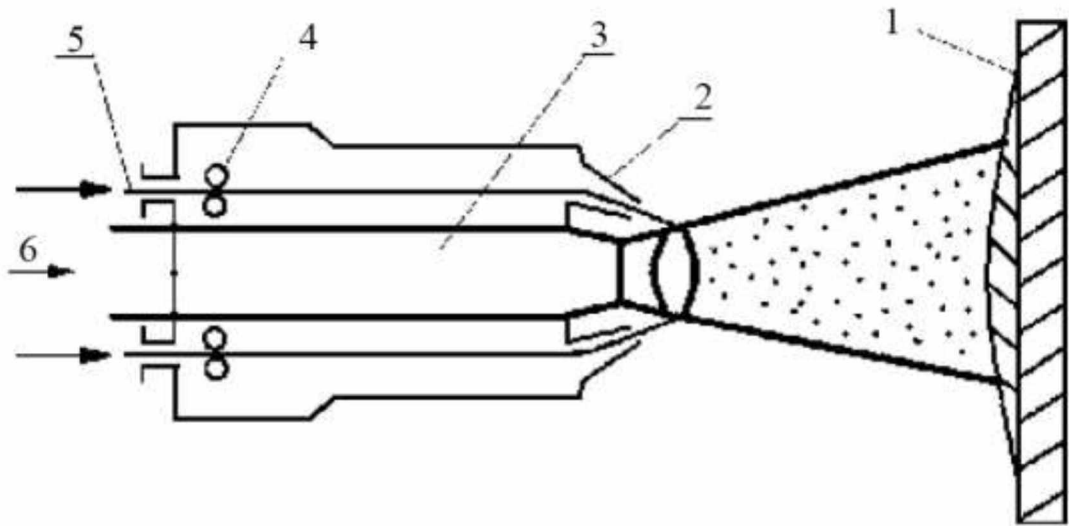
Утворення покриття відбувається шляхом послідовного нашарування осадного матеріалу [9].

Основним недоліком є потреба в нагріві поверхні деталі, що чинить негативний вплив на фізико-механічні властивості і будову матеріалу підкладки.

Метод газотермічного напилення (ГТН) характеризується тим, що отримане покриття формується з направленого потоку дрібних розплавлених або пластифікованих частинок із середнім розміром 10 ... 200 мкм. Структура матеріалу формується при ударі нагрітих частинок об поверхню основи (підкладки), деформуючись і закріплюючись, частки накладаються один на одного, утворюючи шарувате покриття [10]. Метод ГТН дозволяє отримувати покриття із заданою твердістю, зносостійкістю, жароміцну, антифрикційну, корозійну стійкість. Залежно від використовуваного джерела теплоти розрізняють наступні методи напилення:

Металізація – процес нанесення покриттів товщиною в десятки частки міліметра за допомогою електродугового або високочастотного нагріву металу.

Електродугова металізація – процес напилення з високою продуктивністю. Суть методу полягає в нанесенні покриттів шляхом розпилення повітрям двох витратних електропровідних дротів, між якими збуджується дуговий розряд. Потік стисненого повітря забирає з електродів елементи розплавленого металу і переносить їх на оброблювану поверхню (рисунок 1.5) [11].

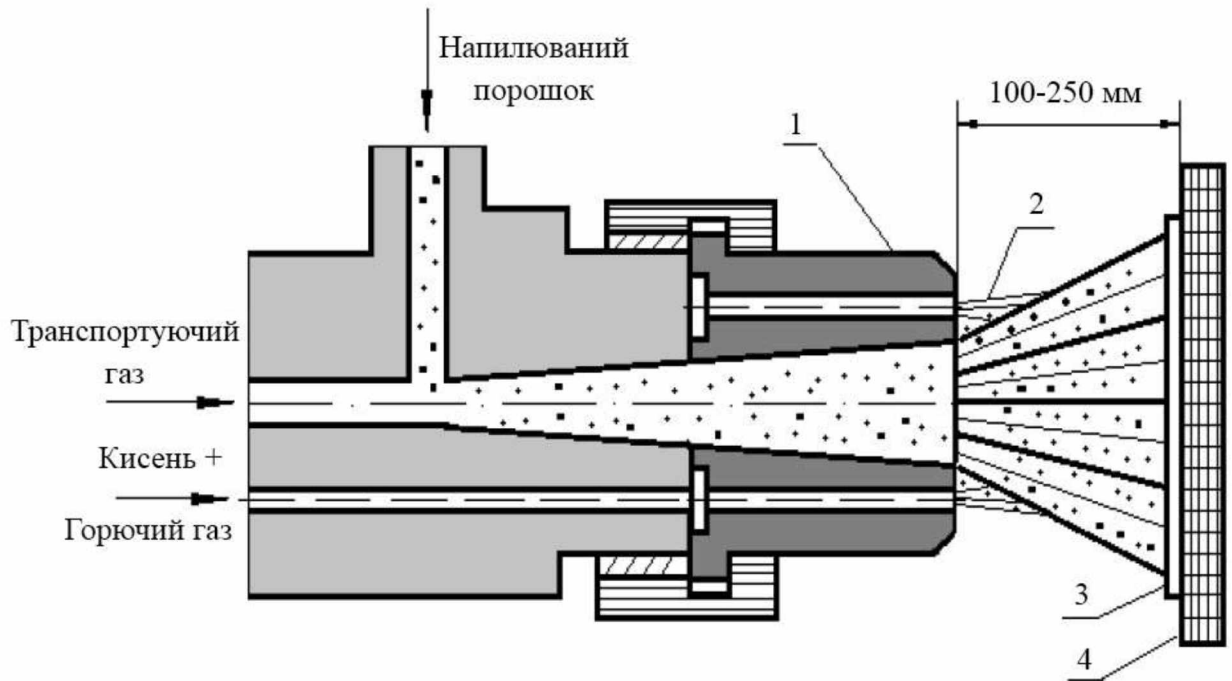


1 – напилювана поверхня; 2 – напрямні наконечники; 3 – повітряне сопло; 4 – подаючі ролики; 5 – дріт; 6 – стиснене повітря

Рисунок 1.5 – Схема електродугового напилення

До недоліків слід віднести небезпеку перегріву напилюваного матеріалу при малих швидкостях подачі розправлюючого дроту, що призведе до окислення і деформації поверхні виробу, до вигорання легуючих елементів.

При *газополуменовому напиленні* джерелом теплової енергії є полум'я, що утворюється в результаті горіння суміші кисню і горючого газу (водню, пропану, ацетилену). Сутність процесу полягає в тому, що матеріал покриття доставляється через верхній отвір бункера в пальник, що розганяється потоком газу під дією струменя стиснутого повітря і при виході з сопла під дією полум'я відбувається його нагрівання (рисунок 1.6) [12].



1 – сопло; 2 – факел; 3 – покриття; 4 – підкладка

Рисунок 1.6 – Газополуменеве напилення порошкового матеріалу

Недоліки методу:

- низька ефективність процесу, особливо при застосуванні порошкових матеріалів;
- присутність в потоці активних газів, що контактують з металевими та металоподібними деталями;
- низька якість покриттів при порошковому напиленні;
- невисокі показники ефективного ККД нагрівання порошкових частинок ($\eta_u = 0,01 \dots 0,15$).

Принцип *плазмового напилення* полягає в отриманні високотемпературної плазми. Порошковий наплавочний матеріал подається в сопло струменем робочого газу (гелій, азот або аргон), нагрівається електричною дугою та у вигляді плазмового струменя з прискоренням переміщується на поверхню основного матеріалу деталі для формування покриття. При цьому можна розпилювати будь який матеріал, який плавиться без розкладання.

Плазмові покриття володіють високою щільністю та хорошим зчепленням з основою. До недоліків методу можна віднести порівняно низьку продуктивність процесу напилення та високу вартість обладнання, шум при роботі.

Через відносно низьку міцність зчеплення плазмових покриттів з основою матеріалу деталей, що працюють при ударних навантаженнях, застосування в машинобудуванні обмежене.

Дифузійний метод покриттів здійснюють шляхом нагрівання і витримки в хімічно активних, що містять нанесену речовина середовищах або контактних покритих плівкою, що наноситься. Дифузійні методи отримання покриттів включають насичення поверхні металевих виробів неметалами (C, N, S і ін.) і насичення металами (Al, Zn, Ti і ін.) [14].

До недоліків даного методу можна віднести тривалість процесу і його високу вартість.

Наплавленням називається технологічний процес нанесення шару розплавленого металу на оплавлену поверхню деталі або виробу. Нанесений метал після проходження міцно зв'язується з основним металом, утворюючи покриття [13]. До переваг наплавлення можна віднести високу продуктивність, відносну простоту конструкції, відсутність обмежень на розміри ремонтіваних деталей.

Недоліки технології наплавлення пов'язані зі зміною властивостей наплавленого покриття через перехід в нього елементів основного металу і виникненням деформацій в наплавлених деталях за рахунок значного термічного впливу.

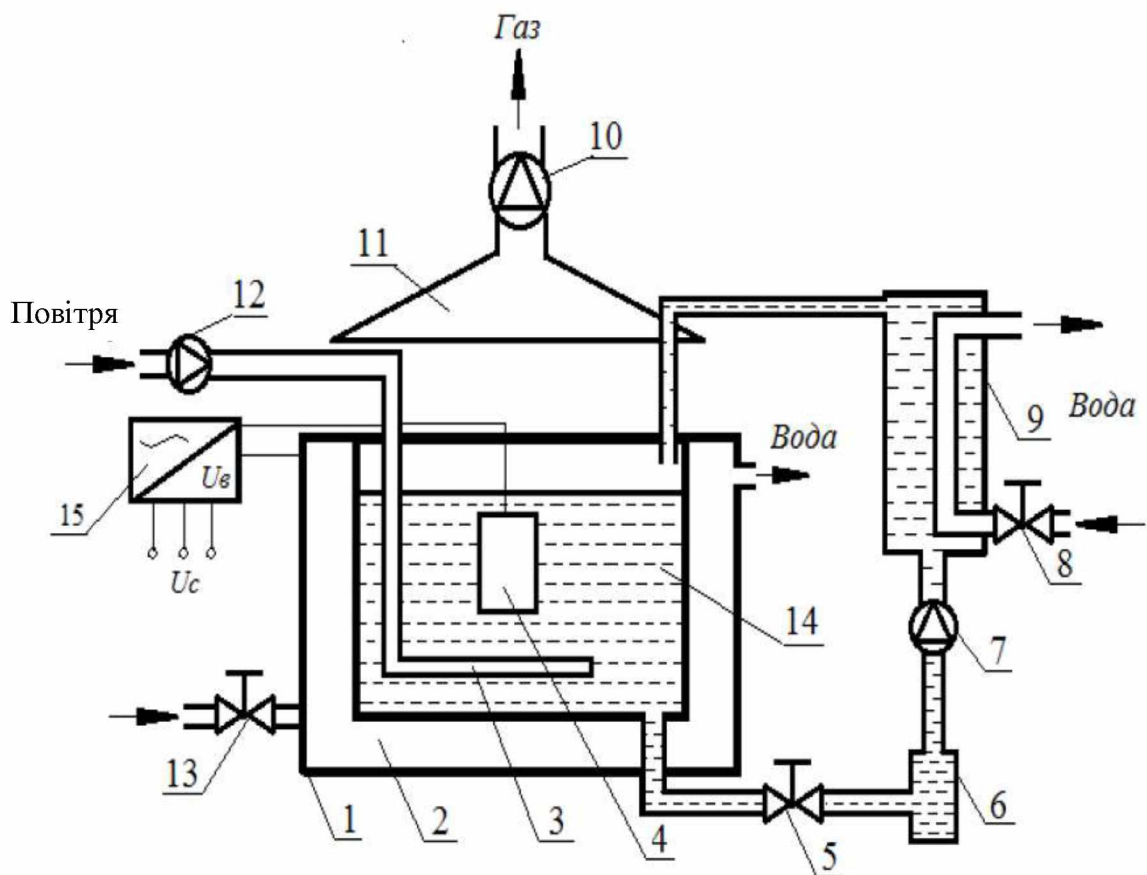
В основі хімічного методу лежить процес створення на поверхні виробу тонкої плівки за рахунок проведення поблизу поверхні хімічної реакції з виділенням одного або декількох елементів (метали і неметали), їх адсорбції, дифузії і осадження їх на поверхні [14].

Електрохімічне осадження металів відноситься до найстаріших способів підвищення якості поверхні деталі. Покриття, отримані

електрохімічним осадженням, знайшли широке застосування в промисловості завдяки широкому вибору матеріалу покриття і високу технологічність процесу [15].

Електрохімічними називаються покриття, що формуються на поверхні деталі електрохімічними методами в результаті осадження елементів у вигляді іонів з електроліту при взаємодії з електричним струмом.

В останні роки розвивається і знаходить своє застосування новий спосіб анодної обробки металів – мікродуговим окисдування (МДО) (рисунок 1.7) [16].



1 – ванна електролітна; 2 – сорочка системи водяного охолодження; 3 – пристрій подачі повітря; 4 – деталь; 5, 8, 13 – вентильні крани; 6 – фільтр; 7 – насос подачі рідини охолодження; 9 – теплообмінний пристрій; 10 – витяжний вентилятор; 11 – витяжний зонт; 12 – повітряний компресор; 14 – електроліт; 15 – джерело живлення

Рисунок 1.7 – Функціональна схема процесу МДО

МДО – анодування металів і сплавів здійснюється у водних розчинах при пропущенні перемінного струму між електродами або встановлення перемінної напруги між ними. Разом з тим задана електрична потужність має бути достатньою для здійснення видимих мікродугових розрядів, ніби пересуваються по поверхні робочого електрода [16].

Технологія формування покриттів методом мікродугового оксидування кардинально відрізняється від існуючих способів анодування, починаючи з підготовки поверхні оброблюваної деталі і закінчуючи складом електроліту, технологічними режимами, обладнанням і кінцевими результатами [17].

Суттю даного методу є те, що на границі метал – електроліт при взаємодії струму високої щільності виникають умови, коли на межі розділу діелектрична міцність стає менше напруженості і на поверхні електрода утворюються мікродугові розряди, що володіють високими локальними температурами і тисками. В результаті під дією мікродугових розрядів формується шар покриття, який складається з електроліту і окислених форм компонентів металу основи. Залежно від технологічного режиму мікродугового оксидування і складу електроліту можливо формувати покриття з унікальними характеристиками і широким спектром застосування [12].

Переваги технології МДО:

- мала концентрація, екологічність і не агресивність електролітів;
- відсутність попередньої підготовки нанесення покриттів на поверхню деталі;
- можливість обробки деталей будь-якої конфігурації;
- можливість нанесення покриттів в отворах порожнини;
- отримання на одному зразку покриттів з різними фізико-механічними властивостями;
- можливість отримання покриттів великої товщини;
- стабільність характеристик покриттів;
- дешево, зручне і легке в управлінні обладнання;

- можливість автоматизації технологічного процесу.

Таким чином, формування теплоізолюючого і зміцнюючого покриття МДО на робочій поверхні головки поршнів в даний час є найбільш ефективним і перспективним.

1.3. Мікродугове оксидування поршнів як спосіб покращення показників роботи двигунів

З усього різноманіття існуючих технологій нанесення покриттів на алюмінієві сплави найбільш перспективним є метод МДО, що дозволяє отримувати покриття з високими механічними, корозійностійкими, діелектричними і теплоізоляційними властивостями. Отримувані цим методом покриття по зносостійким властивостям, при тих же значеннях мікротвердості покриття і металу, в кілька разів перевищують зносостійкість металу [18].

Основними галузями застосування мікродугового оксидування деталей є:

- нафтопродуктозабезпечення – нанесення на робочі поверхні технологічного обладнання зносостійких і стійких до дії агресивного середовища покриттів [18];

- машинобудування – деталі, елементи, пристрої, які здійснюють передачу крутних моментів, зворотно-поступальні механізми, зубчасті передачі, пари тертя і ковзання, що працюють в умовах впливу зовнішнього середовища і агресивних середовищ [15];

- металургійна – обладнання та оснащення для ливарного виробництва, захисні екрани і ін.;

- медицина – елементи протезування.

Переваги методу:

- отримання покриттів з унікальними характеристиками (високими характеристиками міцності, протизношувальними, захисними, декоративними і ін.);
- створення комплексних захисних покриттів багатоцільового призначення;
- тривалий, беззмінний термін експлуатації електродів в установках МДО;
- нанесення покриттів на деталі і елементи з розвиненим профілем;
- можливість формування покриттів як на внутрішніх, так і зовнішніх поверхнях;
- не вимагає попередньої і подальшої обробки і підготовки поверхонь деталей до і після покриття;
- можливість формування різних за характеристиками покриттів на одному матеріалі (деталі, вузлі).

Основні характеристики покриттів, які формуються методом МДО на різних сплавах, представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики МДО покриттів на сплавах

Показник	<i>Al</i> сплави	<i>Mg</i> сплави
Товщина покриття	5-300 мкм	5-300 мкм
Мікротвердість	800-1950 HV	650-950 HV
Коефіцієнт тертя	0,01-0,02	0,01-0,02
Напруга пробою	до 4500 В	600 В

Такі властивості покриттів забезпечуються утворенням на поверхні виробу при мікродуговому оксидуванні оксидних керамічних плівок корунду (Al_2O_3). Корунд, володіючи високою мікротвердістю, забезпечує багаторазове підвищення зносостійкості і корозійної стійкості покриваємих виробів [19].

Виробнича лінія мікродугового оксидування складається з наступних елементів (рисунок 1.8):

- електросилового спеціалізованого обладнання (джерел живлення з заданими вихідними параметрами по силі і щільності струму);
- ванн для обробки і промивання поверхонь виробів перед нанесенням покриттів;
- пристрої для розміщення і переміщення деталей і вузлів (при використанні в конвеєрному виробництві);
- металоконструкцій для установки обладнання;
- допоміжного і контрольного обладнання (насоси для перекачки розчинів-електролітів і фільтрів для їх очищення, резервних ємностей для електролітів різних марок і складу, приладів для контролю якості покриття і використовуваного електроліту).

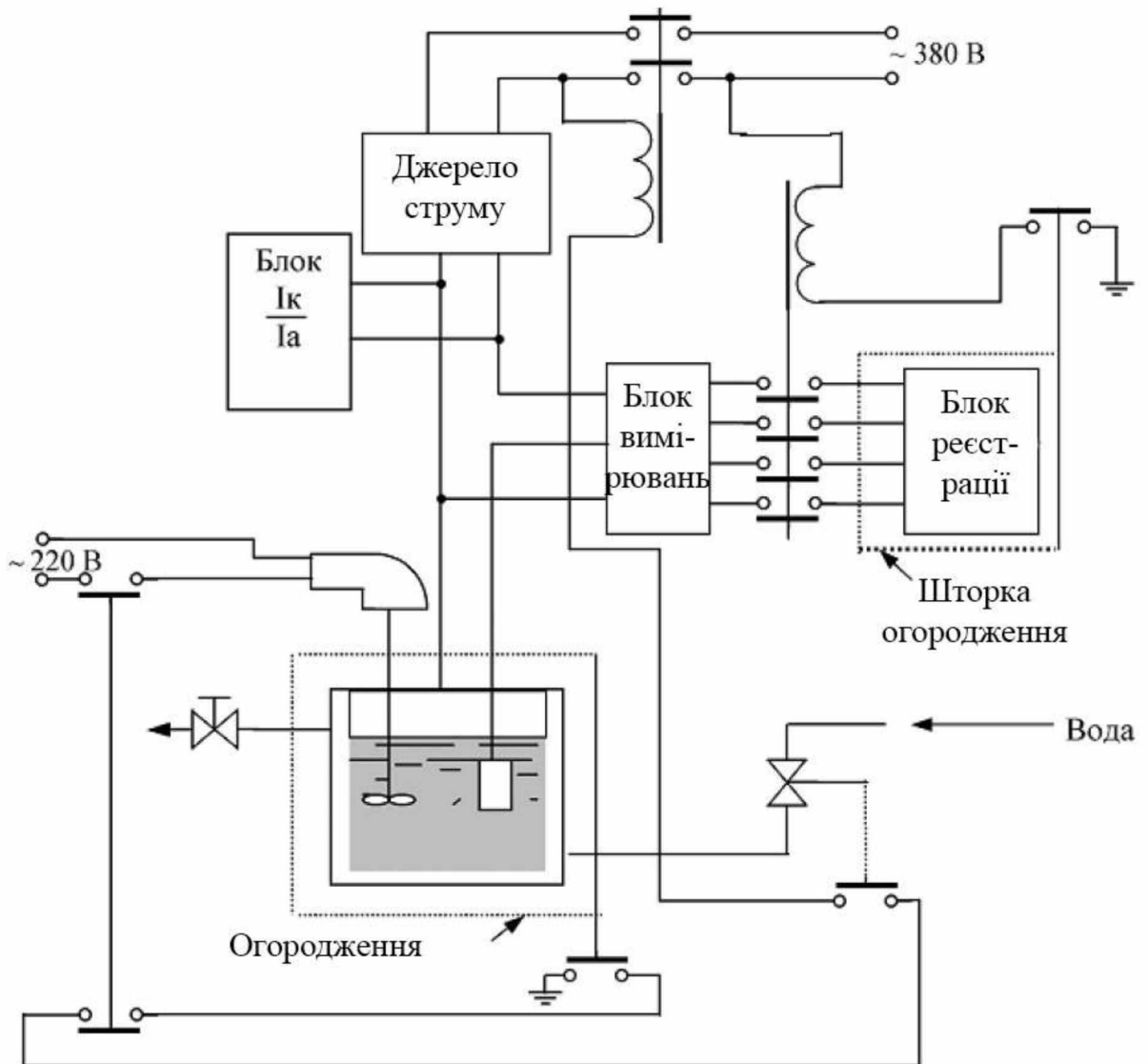


Рисунок 1.9 – Принципова схема обладнання і процесу МДО

Відмінною особливістю процесу МДО від процесу анодування є суттєво менша кількість технологічних операцій по причині відсутності додаткових попередніх операцій по підготовці деталей та самого процесу оксидування, а також більш високого ступеня екологічності розчинів, які не вимагають додаткового очищення та нейтралізації. Знежирення поверхонь оксидованих деталей проводиться безпосередньо на підвісці з наступним опусканням у ванні з електролітом. Глибина занурення залежить від площі, на якій повинен бути сформований оксидований шар. При конвеєрному виробництві, з метою зниження втрат електролітів, деталі після нанесення покриттів витримують над резервною ванною для виловлювання стікаючого електроліту.

До основних характеристик анодних оксидних плівок відносять їх твердість, теплову стійкість, пористість, стійкість до зношування, а також корозійну стійкість та електроізоляційні показники.

В залежності від режимів, часу оксидування, а також особливостей електрохімічного процесу формуючий оксидований шар може мати різну пористість, що змінюється в інтервалі 5...50%, при товщині оксидованого шару від 0,01 до 100 мкм. Покриття товщиною до 5 мкм мають більш щільну та рівномірну структуру, починаючи від товщини більше 5...10 мкм покриття має більш складну будову, що відрізняється широкою розгалуженістю каналів та більшою наявністю пор.

Оксидовані покриття, що володіють високими протизносними властивостями, дозволяють в окремих вузлах використовувати деталі з більш легких матеріалів (наприклад, алюміній). Це дозволяє знизити вагу вузла при збереженні його основних функціональних показників.

Відмінною особливістю МДО-покриттів є їх висока стійкість до підвищених температур і термоциклічних навантажень.

Шорсткість поверхні МДО-покриття збільшується зі збільшенням часу оксидування, однак при чергуванні режимів оксидування можна одержувати покриття з 8 класом шорсткості.

Корозійні властивості МДО-покриттів характеризують їх здатність протистояти впливу хімічного навколишнього середовища без порушення цілісності покриття. Стійкість МДО-покриттів до корозії визначається видом електроліту, в якому здійснюється процес оксидування.

Як видно з проведеного огляду, процес МДО поєднує в собі найбільш позитивні технологічні характеристики процесу анодування, але при цьому, в силу особливостей хіміко-електричного процесу формування покриттів, дозволяє підвищити якість формованих покриттів на значно вищій рівень порівняно з анодними покриттями.

Висновки і завдання досліджень

На підставі вищевикладеного підвищення експлуатаційних показників автомобілів може бути досягнуто модифікуванням робочих поверхонь тертя деталей циліндропоршневої групи металами з низьким коефіцієнтом тертя.

На підставі проведеного аналізу стану питання і для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно вирішити наступні завдання досліджень:

1. Проаналізувати методи покриттів робочих поверхонь гільз циліндрів і поршнів транспортних ДВЗ і вибрати найкращі для підвищення потужних, паливно-економічних і екологічних показників автомобілів.
2. Розробити технологічні режими і параметри металізованих і оксидованих покриттів.
3. Дослідити типові і експериментальні ЦПГ в лабораторних умовах за параметрами фізико-механічних властивостей сформованих покриттів.
4. Провести економічну оцінку запропонованим розробкам.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика металізації робочої поверхні гільз циліндрів

Технологічний процес металізації гільз циліндрів включає наступні операції: нарізування синусоїдальних і еліптичних роздільних канавок, наплавка кольорового металу, зачистка після наплавлення внутрішньої поверхні, шліфування поверхні та хонінгування.

Нарізування синусоїдальних і еліптичних канавок виконували на токарному обробному центрі (рисунок 2.1).



а)



б)

Рисунок 2.1 – Нарізування синусоїдальних і еліптичних канавок: а) загальний вигляд токарного обробного центру і різець ВК8; б) гільза циліндрів з нарізаними синусоїдальними і еліптичними канавками

Точність установки гільз циліндрів в обробний центр здійснювалася з точністю 0,03 ... 0,05 мм в горизонтальній і вертикальній площинах і биття. Обробка проводиться із застосуванням змазувально-охолоджуючою рідини, різцем з пластинами з твердого сплаву ВК8. Необхідний переріз синусоїдальних і еліптичних канавок забезпечується відповідним заточуванням різця.

Режими нарізування встановлювалися з урахуванням твердості оброблюваного матеріалу, матеріалу і типу різця, властивостей мастильно-охолоджувальної рідини.

Перед наплавленням внутрішню поверхню гільзи циліндрів зачищали і знежирювали, далі гільзу циліндрів поміщали в електропіч і підігрівали до 300 ... 400°C, після чого проводили процес наплавлення канавок міддю. Для запобігання викривленню гільзи циліндрів наплавку проводили в шаховому порядку з періодичним підігрівом її до 300 ... 400°C. Положення електроду: в площині стику з нахилом в 60 ... 80°. Режим наплавлення: сила струму – 85 ... 95 А, напруга дуги – 55 ... 65 В, тиск газу – 0,04 ... 0,05 МПа.

Заповнення синусоїдальних і еліптичних канавок здійснювалося ручним аргонодуговим наплавленням (рис. 2.2). Для наплавлення синусоїдальних і еліптичних канавок застосовувалася дрова мідь марки М1 ГОСТ 859-78, діаметром 0,8 ... 1,0 мм.



Рисунок 2.2 – Технологія наплавлення канавок міддю М1 металізованої гільзи циліндрів

Після наплавлення канавок виконували зачистку внутрішньої поверхні гільзи циліндрів на токарно-гвинторізному верстаті 1К62 (рисунок 2.3). Для зачистки використовували: різець з пластинами з твердого сплаву ВК6, мастильно-охолоджуюча рідина – 3%-ний розчин Укрінол-1 ТУ 38-101197-76.



Рисунок 2.3 – Технологія попередньої обробки металізованої гільзи циліндрів

При зачистці по видалення шлаку і напливів металу в зоні наплавлення різець підводився на мінімальну відстань до дзеркала циліндра, але без торкання поверхні. Вимоги по установці гільзи циліндрів в трикулачний патрон: відхилення в вертикальній і горизонтальній площинах і биття не більше 0,03-0,05 мм [20].

Зачистку внутрішньої поверхні гільзи циліндрів проводили при наступних режимах: частота обертання гільзи циліндрів – 200 хв^{-1} , швидкість різання становила – 0,5 м/хв., здійснення подачі різця проводилося при 0,05 мм/об, кількість проходів – 4, глибина різання становила – 0,5 мм.

Шліфування виконували на внутрішньошліфувальних верстатах моделі ЗК229А. При обробці на верстаті гільзу циліндрів закріплювали в трикулачковому патроні. Точність установки гільзи циліндрів у вертикальній і горизонтальній площинах і биття не перевищувала 0,03 ... 0,05 мм. Абразивні круги вибирали по ГОСТ 2424-83: зовнішній діаметр – 40 мм, ширина круга – 50 мм. Шліфування велося при наступних режимах: колова швидкість шпинделя – $15...20 \text{ хв}^{-1}$; швидкість обертання шліфувальної головки 7000 хв^{-1} ; зворотно-поступальна швидкість – 2 ... 5 м/хв. Норма часу на шліфування внутрішньої поверхні – 4,9 хв. [20].

Хонінгування виконували на хонінгувальному верстаті ЗГ833 (рисунок 2.4 а). При обробці на хонінгувальному верстаті гільза циліндрів

закріплювалася на нерухомому люнеті. Точність установки гільзи циліндрів у вертикальній і горизонтальній площинах і биття не більше 0,01 мм.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Технологія остаточної обробки металізованої гільзи циліндрів: а) процес хонінгування; б) металізована гільза циліндрів

Чорнове і чистове хонінгування виконували алмазними брусками АС6М1 (чорнове хонінгування) і АСМ20М1 (чистове хонінгування) 100%-ої концентрації з вмістом алмазів в бруську 3,5 карата. Хонінгування виконували при наступних режимах: швидкість обертання головки – 65 ... 85 м/хв.; зворотно-поступальна швидкість – 15 ... 25 м/хв.; тиск на бруски – 0,5 ... 1,0 МПа (чорнове хонінгування) і 0,3 ... 0,5 МПа (чистове); СОР – емульсійна суміш з 70 ... 75% гасу і 30 ... 25% індустриального масла І-40А подавалася під тиском 0,15 ... 0,2 МПа у кількості 5 ... 10 л/хв.; припуск на проведення чорнового хонінгування склав – 0,05 ... 0,08 мм, а на чистове – 0,01 ... 0,04 мм.

2.2. Методика мікродугового оксидування поршнів

Формування на днищах і головках поршнів оксидованого шару здійснювалося методом мікродугового оксидування з режимами процесу

відповідно до технічного завдання. Установа мікродугового оксидування (рисунок 2.5) включала такі елементи:

- джерела живлення установки для створення струму і напруги заданих характеристик;
- ванни для підготовки поверхонь до нанесення покриттів (очищення і промивка);
- пристрій для переміщення підвіски з встановленими деталями в електролітичну ванну і назад;
- металеву рамну базу установки для розміщення електролітичних ванн, ванни підготовки поверхонь деталей до нанесення покриттів і пристрою переміщення деталей;
- обладнання для забезпечення технологічного процесу – насоса фільтра для очищення і перекачування електролітів, дистиллятори, резервних ванн, приладів контролю стану електроліту і якості покриття.



Рисунок 2.5 – Установка мікродугового оксидування деталей

Поршні поміщають в електролітичну ванну з водним розчином електроліту до рівня, що підлягає формуванню оксидованого шару (що відповідає зоні розташування головки поршня), вниз днищем. До оброблюваних поршнів (анод) і внутрішньої поверхні ванни (катод) закріплюються електроди, по яких подається струм. При подачі струму

заданих характеристик (сили і щільності) і знаходженні поршня в електроліті відбувається структурна зміна його поверхні, тобто формування оксидованого шару. Для забезпечення однакових умов формування оксидованого покриття на всій оброблюваній поверхні і однакової швидкості охолодження поршня, у міру формування на днищі і голівці поршня покриття, поршень переміщують відносно вільної поверхні електроліту з одночасним охолодженням, незануреною в електроліт поверхнею поршня, стисненим повітрям.

2.3. Методика дослідження якості покриття робочих поверхонь

Мікрометраж проводився згідно ГОСТ 14846-81 [21]. На рисунку 2.6 представлений наступний інструмент, необхідний для проведення мікрометражу гільз циліндрів.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Проведення мікрометражу гільз циліндрів: а) вид загальний; б) підбір змінної вставки

Відповідність розмірних груп гільз циліндрів технічним умовам:

1. Внутрішня поверхня гільзи циліндрів не повинна мати ризок, задирів, тріщин, сколів.
2. Овальність і конусність допускається до 0,06 мм.

3. При гідравлічному випробуванні гільзи циліндрів під тиском 4 атм. протягом 2 хвилин протікання води і потіння стінок гільз циліндрів не допускається.

4. Биття посадочних поясків щодо внутрішньої поверхні не повинно перевищувати 0,1 мм.

5. Гільзи циліндрів замінюють або ремонтують, якщо знос внутрішньої робочої поверхні перевищує 0,2 мм по діаметру.

Вимірювання внутрішнього діаметра гільзи циліндрів здійснювали за допомогою індикаторного нутроміра в наступній послідовності:

1. Перед тим як витягти гільзи циліндрів з блоку двигуна, на внутрішній поверхні маркером відзначали площину, паралельну осі колінчастого вала.

2. Ретельно м'якою ганчіркою протирали дзеркало гільз циліндрів.

3. Із зовнішнього боку за допомогою лінійки і крейди намічали перетини, в яких проводили виміри.

4. Гільзу циліндрів вимірювали в трьох перетинах в двох взаємно перпендикулярних площинах.

Вимірювання починали від верхнього краю гільзи циліндрів на відстані 5 ... 15 мм.

Оцінку ступеня зносу типових і металізованих гільз циліндрів здійснювали ваговим методом. Сутність вагового методу полягала у визначенні ваги гільз циліндрів до і після стендових досліджень.

Зважування типових і металізованих гільз циліндрів проводили з точністю вимірювання $0,1 \times 10^{-3}$ г з використанням ваг марки Sartorius CPA 224S.

Перед зважуванням гільзи циліндрів були промиті в автомобільному бензині марки АИ-92, після чого їх висушували в витяжній шафі і зважували. Для виключення атмосферних впливів при визначенні ваги гільзи циліндрів зважування відбувалося в скляній шафі.

Визначення впливу трибологічних досліджень на мікрогеометрію поверхні тертя проводили за параметрами шорсткості: R_{max} – максимальна висота профілю поверхні, R_z – висота профілю нерівностей по десяти вимірюваним точкам, R_a – середнє арифметичне відхилення профілю поверхні і ін.

Оцінку шорсткості проводили по ГОСТ 2789-73 методом профілографування з використанням профілографа-профілометра модель 130 (рисунок 2.7) з технічними характеристиками, відповідними вимогам ГОСТ 19300-86 і ТУ 3943- 001-70281271. Дослідження в лабораторних умовах проводили при дотриманні наступних умов: температура навколишнього повітря - 24°C, відносна вологість - 75%. Профілограми вимірів виводилися на дисплей ПК з 4000 разовим розширенням по вертикалі і 20 разовим розширенням по горизонталі.



1 – профілограф-профілометр модель 130, 2 – досліджувана гільза
Рисунок 2.7 – Загальний вигляд установки визначення шорсткості

Дослідження протизносних і антифрикційних властивостей гільз, металізованих міддю марки М1 ГОСТ 859-78, проводилися порівняльними дослідженнями зразків на машині тертя МІ-1М за схемою «ролик - колодка» (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд ролика і колодок

Ролики виготовлялися діаметрами: внутрішнім - 16 мм, зовнішнім - 50 мм, шириною - 12 мм, твердість по Брінелю відповідає дзеркалу гільзи НВ 240.

Шорсткість робочих поверхонь відповідає технічним вимогам на деталі для капітального ремонту двигунів марки УМЗ, ролика $R_a = 0,63$ мкм і колодки $R_a = 0,32$ мкм.

Випробування виготовлених зразків за визначенням сили моменту тертя у вузлі тертя «колодка - ролик» проводили протягом 60 хв. при навантаженні 150 Н, частота обертання ролика становила 191 хв^{-1} , з контролем параметрів кожну 1 хвилину досліджень.

Висновки

В даному розділі представлені методики металізації робочої поверхні гільзи циліндра; мікродугового оксидування поршнів та методика дослідження якості покриття робочих поверхонь. Представлені режими обраних технологічних операцій.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретичне обґрунтування застосування різних кольорових металів для зниження зносу деталей циліндропоршневої групи

Взаємодія поверхонь деталей при терті супроводжується контактом виступів нерівностей поверхонь, що утворюють так звані плями контакту, при цьому в контакті беруть участь не тільки виступи нерівностей поверхонь, але і матеріали, прилеглі до контактних виступів. Контакт виступів супроводжується деформацією матеріалу, з якого виготовлені треткові поверхні.

Зміна поверхневих шарів матеріалів, що труться відбувається під впливом істотних деформацій, які виникають і розвиваються в поверхневому шарі деталей. Причинами змін поверхневих шарів є процеси, що виникають унаслідок фізичної і хімічної взаємодії поверхонь, що труться. Дані процеси супроводжуються окисленням поверхневих шарів, дифузійним насиченням їх елементами із зони контакту (навколишнього середовища) і, як наслідок, зниженням адсорбційної міцності.

Це призводить до того, що в процесі тертя беруть участь поверхні зі зміненим матеріалом, в порівнянні з матеріалом, з якого вони виготовлялися. Таким чином, можна говорити про подвійну молекулярно механічну природу тертя, процес якого обумовлений подоланням міжмолекулярних зв'язків, що виникають в момент контакту ділянок що труться, і об'ємною деформацією цього матеріалу [21].

Оскільки поверхні деталей, що труться мають шорстку неоднорідну за своїм складом структуру, то процес їх контакту при терті супроводжується впровадженням більш жорсткого елемента однієї з поверхонь в більш м'який

елемент іншої поверхні (контртіло). В процесі впровадження більш жорсткий елемент, переміщаючись в тангенціальному напрямку площині тертя, деформує контактний матеріал, зміщуючи його в тому ж напрямку (напрямку руху). В результаті цього попереду деформованого матеріалу формується півсферичний відвал металу (валик). При цьому параметри валика будуть визначатися відносним впровадженням більш жорсткого матеріалу $\frac{h}{H}$ (де h - глибина впровадження матеріалу, мкм, R - радіус нерівності впровадженої жорсткої поверхні, мкм), міцності сполучного містка зварювання двох матеріалів і адгезійної міцності зв'язку матеріалу $\frac{\tau}{\sigma_s}$ (де σ_s - межа плинності матеріалу), що виникає між плівками, що знаходяться на поверхнях тіл, що труться.

Тобто однією з причин появи зносу є порушення умов пластичного переміщення твердим матеріалом більш м'якого матеріалу однієї з поверхонь. При збільшенні навантаження глибина впровадження мікронерівностей твердої поверхні збільшується, це призводить до переходу від пружної деформації до пластичної і потім до мікрорізання поверхні або задиру (тобто контакт двох тіл із зовнішнього тертя переходить у внутрішнє). При цьому умовою переходу зовнішнього тертя у внутрішнє буде припинення обтікання однією поверхнею іншу [22].

$$\frac{h}{H} \geq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_T} \right), \quad (3.1)$$

де h – глибина впровадження нерівностей, мкм;

R – радіус нерівності впровадженої поверхні (індентора), мкм;

τ – міцність адгезійного зв'язку на зріз, МПа;

σ_T – межа плинності матеріалу, МПа.

Зі співвідношення (3.1) видно, збереження зовнішнього тертя буде здійснюватися в разі, коли у тонкого поверхневого шару міцність на зрушення буде менше міцності основного матеріалу. І чим менше міцність,

тим менше ймовірність виникнення зовнішнього тертя. Не менш важливим фактором, що забезпечує зниження ймовірності виникнення зовнішнього тертя, є різниця значень міцності адгезійного зв'язку між поверхневими і нижчого рівня шарами матеріалу. У разі, коли адгезійний зв'язок менше міцності нижчого шару, реалізується позитивний градієнт механічних властивостей по глибині, тобто [22]:

$$\frac{d\sigma_x}{dz} > 0, \quad (3.2)$$

де σ_x – напруження в напрямку площині дотику, МПа;

z – координата точки дотику, перпендикулярна до площини поверхні тертя, мкм.

Збереження позитивного градієнта забезпечує зовнішнє тертя в контактї. Виходячи з цього, однією з умов збереження позитивного градієнта і зниження зносу поверхонь, що труться буде зниження міцності тонкого контактного поверхневого шару. Зниження міцності може бути досягнуто одним з таких методів:

- адсорбційна або хемосорбційна зміна тонкого поверхневого шару, що приводить до зниження його міцності на зрушення;
- введенням в контакт поверхонь тертя тонкого шару речовини з опором на зсув меншим, ніж матеріали, що труться (мастильний матеріал або метал з мінімальним опором на зсув).

Для забезпечення тривалого ефекту необхідно, щоб мінімальне значення міцності на зрушення зберігалось в широкому діапазоні факторів, що впливають (температури і тиску).

Найбільш перспективним методом є введення в контакт кольорових металів. У процесі тертя плівка кольорового металу, вступаючи в адгезійний зв'язок з основним матеріалом, покриває його тонким шаром, захищаючи нижчележачий шар основного матеріалу від схоплювання. Цей процес отримав назву металізації. В даний час для металізації поверхонь тертя

використовують такі матеріали, як латунь, мідь, олово і їх сплави, що володіють міцністю на зсув набагато нижчою, ніж сталь і чавун.

Номінальна площа контакту S_H тертьових поверхонь є умовною площею контакту, що дорівнює сумі контурних площ контакту S_K , утворених об'ємним змінанням нерівностей контактних поверхонь і сумарне значення фактичних або фізичних площ контакту S_Φ (сума фактичних малих майданчиків контактів тіл) (рисунок 3.1).

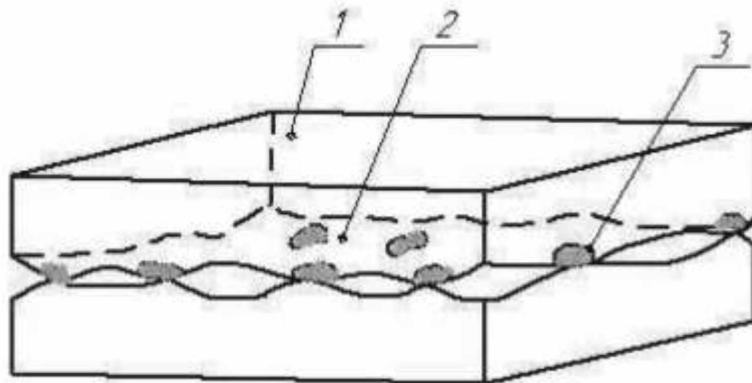


Рисунок 3.1 – Схема контакту поверхонь: 1 – номінальна площа контакту; 2 – контурна площа контакту; 3 – фактична площа контакту

У трибовузлі відбуваються такі процеси. Під впливом прикладеного навантаження окремі нерівності тертьових поверхонь, що знаходяться в контакті стискаються, діюче навантаження через них передається на основу поверхні деталі. При збільшенні навантаження відбувається зближення поверхонь, що супроводжується збільшенням контактів окремих нерівностей. Одночасно з цим відбувається збільшення площі змінання вершин нерівностей. Все це призводить до зміни фактичної площі дотику поверхонь, що труться.

Для визначення площі контакту поверхонь, що труться прийнятий ряд розрахункових моделей, які передбачають різні види контактируємих поверхонь:

- у вигляді пружного контактування нерівностей у формі сфер;
- у вигляді контактування окремих нерівностей;

- у вигляді пружно-пластичного контактування нерівностей з жорсткою площиною.

Узагальнюючи результати аналізу існуючих розрахункових моделей, площу контакту поверхонь, що труться визначимо за формулою [23]:

$$S_K = 3,4 \left[\frac{P_C}{E} \left(\frac{R_B^2}{h_{\max}^2} \right)^{\frac{1}{11}} \right]^{10}, \quad (3.3)$$

де P_C – контурний тиск, МПа;

E – модуль пружності, МПа;

R_B – радіус виступів нерівностей, мкм;

h_{\max} – висота виступів нерівностей, мкм.

Як видно з (3.3), площа контакту залежить від навантаження, що прикладається до поверхонь, що труться, і їх геометричних і механічних параметрів. Зокрема, від розміру нерівностей (чистоти обробки поверхні), їх розташування і модуля пружності матеріалу. Виходячи зі сказаного, можна зробити висновок про наступне: зниження зносу буде тим більше, чим буде більше площа контакту. Реалізація цього може бути досягнута підвищенням чистоти обробки поверхонь деталей, що труться. В даний час це є економічно необґрунтованим, оскільки підвищення чистоти призведе до значного подорожчання деталей машин.

Одним із прийнятних рішень цієї проблеми є введення в контакт поверхонь тертя кольорових металів, тобто проведення їх металізації. Покриття, що труться металами з низьким опором зсуву дозволить – в процесі їх взаємного контакту – рівномірно розподілитися по тертьовій поверхні, заповнивши всі нерівності. Це забезпечить не тільки вирівнювання всієї тертьової поверхні, але і в результаті зниження кількості виступів збільшить контактну площу поверхні. Наявність в місці контакту металу з низьким опором зсуву забезпечить реалізацію позитивного градієнта механічних властивостей (3.1), що знизить ймовірність переходу зовнішнього тертя у внутрішнє тертя.

Оцінку металів, використовуваних для металізації робочих поверхонь, необхідно проводити за значенням коефіцієнта тертя [23]:

$$f = f_{адг} + f_{деф} = \frac{\tau}{P_C} + \beta + K\sqrt{\frac{h}{R}}, \quad (3.4)$$

де $f_{адг}$ – коефіцієнт тертя при адгезії;

$f_{деф}$ – коефіцієнт тертя при деформації;

β – коефіцієнт, що характеризує геометричні параметри третьової поверхні;

K – кількість виступів на поверхні тертя.

В силу незначного значення деформаційної складової нею нехтуємо:

$$f = f_{адг} = \left(\frac{R}{h}\right)^{\frac{3}{7}} \frac{3\tau}{P_C^{\frac{1}{7}} E^{\frac{6}{7}}} + \beta. \quad (3.5)$$

Коефіцієнт тертя при адгезії залежить від величини відношення міцності адгезійних зв'язків у тангенціальному напрямку до властивостей матеріалу, що труться – модулю пружності і геометричним параметрам поверхні.

Тому вибір металу для металізації поверхонь, що труться повинен вибиратися, виходячи з мінімального значення тангенціальної міцності і максимального значення модуля пружності. З доступних кольорових металів найбільше значення модуля пружності має мідь $E = 12,3 \cdot 10^{10}$ Н/м², модуль пружності бронзи становить $10,8 \cdot 10^{10}$ Н/м², латуні – $9,8 \cdot 10^{10}$ Н/м².

Ефект перенесення металу з однієї поверхні на іншу заснований на різниці поверхневої енергії металів [23]. Метали з найменшою величиною поверхневої енергії прагнуть вступити в контакт (намазатися) з металами, що мають велику поверхневу енергію. Однак реалізація ефекту намазування

може бути реалізована за умови високих пластичних властивостей металу з меншою поверхневою енергією (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Значення поверхневої енергії металів

Метал	Сталь	Латунь	Мідь	Алюміній	Олово	Свинець
Енергія, ерг/мм ²	3000	2600	2200	1800	1200	900

З розглянутих металів найменшою поверхневою енергією володіє свинець, однак його використання в циліндрах двигунів не доцільно в силу низьких температурних властивостей і токсичності. Олово також не похитне до високих температур. Алюміній, під дією високих температур, втрачає пластичні властивості. Тому для металізації поверхонь гільз найбільш підходить мідь, що має низьку поверхневу енергію і не втрачає пластичних властивостей в умовах перепаду температур.

Для реалізації процесу металізації робочої поверхні гільзи циліндрів в тілі деталі повинні бути виготовлені вставки, нанесені шари або канавки і пази, або щось інше з матеріалу з відмінними фізико-механічними властивостями, причому в площині, перпендикулярній напрямку руху і площини тертя деталей (рисунок 3.2).

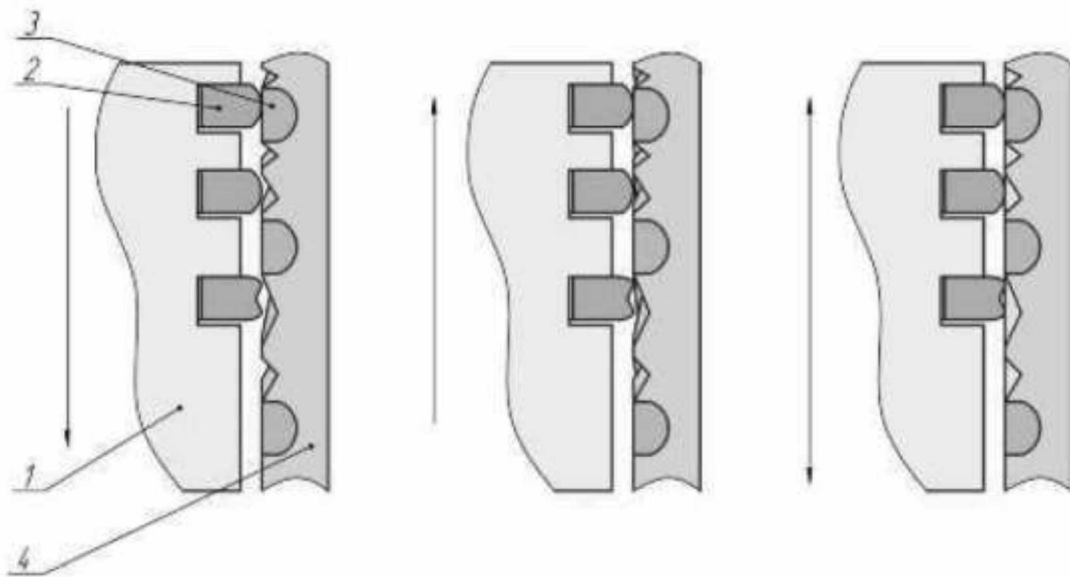


Рисунок 3.2 – Схема формування плівки кольорового металу на поверхні тертя гільзи циліндрів: 1 – поршень; 2 – поршкові кільця; 3 – канавка; 4 – гільза циліндрів

Для досягнення найбільшої зносостійкості вставки повинні бути розташовані таким чином, щоб вони по можливості знаходилися в зоні максимального зносу, але не в зоні високих температур, і при цьому не впливали на міцність стінок гільзи циліндрів. Кут підйому еліптичних канавок повинен знаходитися в межах 15 ... 20 градусів до вертикальної площини перетину гільзи циліндрів [12]. Таке виконання дозволяє реалізувати наступний процес. При роботі ДВЗ поршневі кільця, переміщаючись по внутрішній робочій поверхні гільзи циліндрів, в процесі пластичного деформування видаляють частину металу вставки з канавок і «намазують» його на робочу внутрішню поверхню гільзи циліндрів між НМТ і ВМТ. Процес нанесення металу здійснюється безперервно в процесі всіх тактів роботи двигуна. Причому відділення металу вставок відбувається лише до моменту утворення на робочій поверхні шару певної товщини.

Утворення такого шару призведе до зниження коефіцієнта тертя робочих поверхонь поршневих кілець і гільзи циліндрів, і процес нанесення шару припиниться.

При зменшенні товщини нанесеного шару кольорового металу на поверхні гільзи циліндрів коефіцієнт тертя збільшується, відповідно відновиться процес відділення металу зі вставок. Шар металу вставки в процесі роботи природним чином віддаляється з маслом, тому його необхідно поповнювати. Це буде здійснюватися за рахунок вставок в тілі гільзи. Таким чином, відновлення шару на робочій поверхні буде здійснюватися в процесі всієї експлуатації двигуна. На підставі численних досліджень [12] встановлено, що товщина шару металу вставки, що наноситься становить близько 2 ... 3 мкм.

3.2. Результати визначення зносу гільз циліндрів

Ступінь зносу типових і металізованих гільз циліндрів по завершенні стендових досліджень визначали двома методами: мікрометраж і ваговим

(додаток А). Результати вимірів зносу гільз циліндрів по висоті представлені на рисунку 3.3.

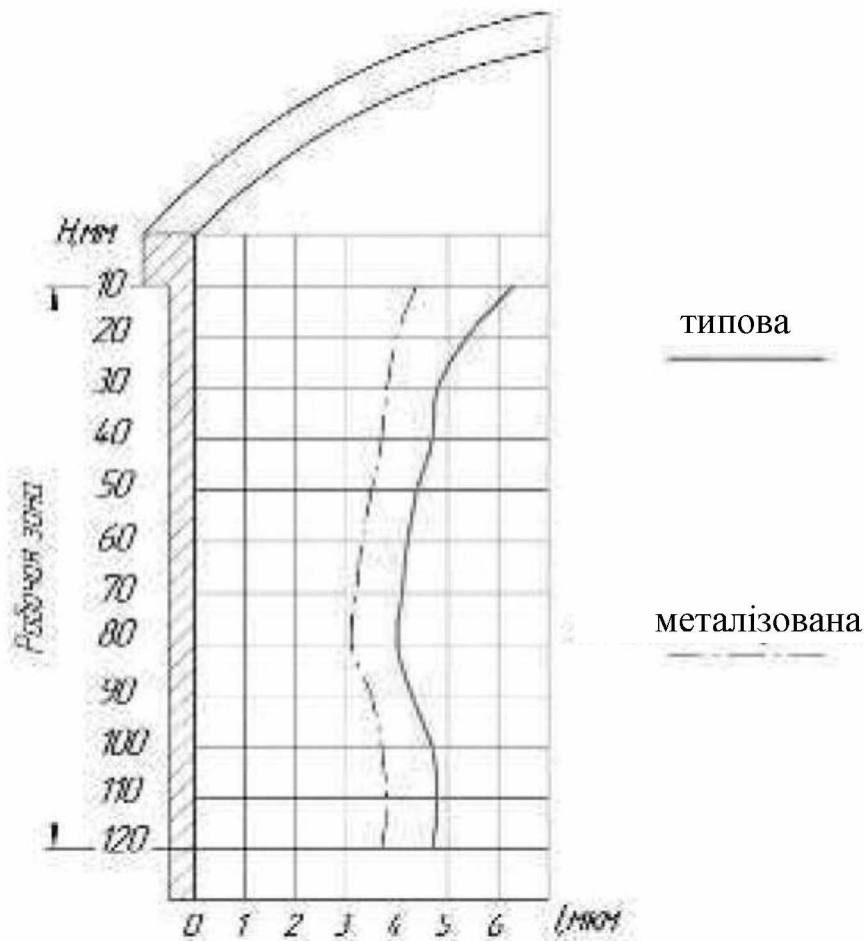


Рисунок 3.3 – Знос (I) гільзи циліндрів по висоті (H)

За отриманими результатами (Додаток А, табл. А.1-А.3) можна зробити наступний висновок: металізація гільзи циліндрів міддю дозволяє підвищити антифрикційні властивості поверхні тертя гільзи циліндра і знизити знос гільзи циліндра в зонах верхньої та нижньої мертвих точках в 1,35 рази, а в середній частині гільзи в 1,3 раз.

Також для оцінки та підтвердження результатів зносу гільз циліндрів по висоті проводили зважування (рисунок 3.4) типових і металізованих гільз циліндрів. За отриманими даними побудовані гістограми результатів зважування зразків (рисунок 3.5) і середнього зносу зразків в період припрацювання і задиру (рисунок 3.6).

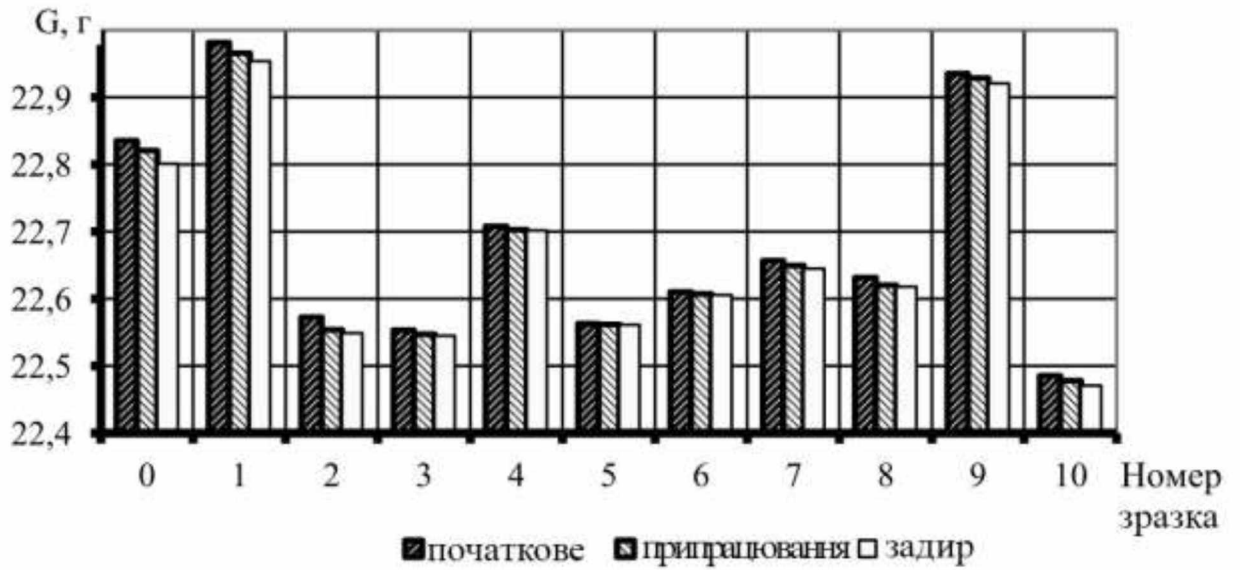


Рисунок 3.4 – Результати зважування дослідних зразків

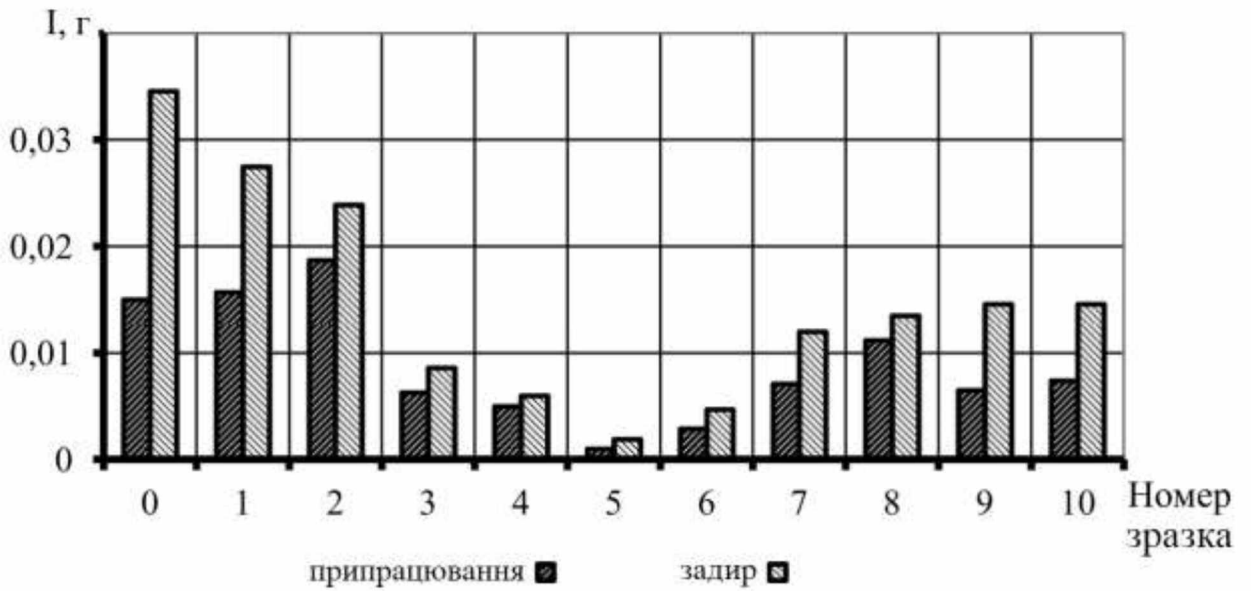


Рисунок 3.5 – Середнє значення зносу зразків (I) в період припрацювання і до виникнення задир

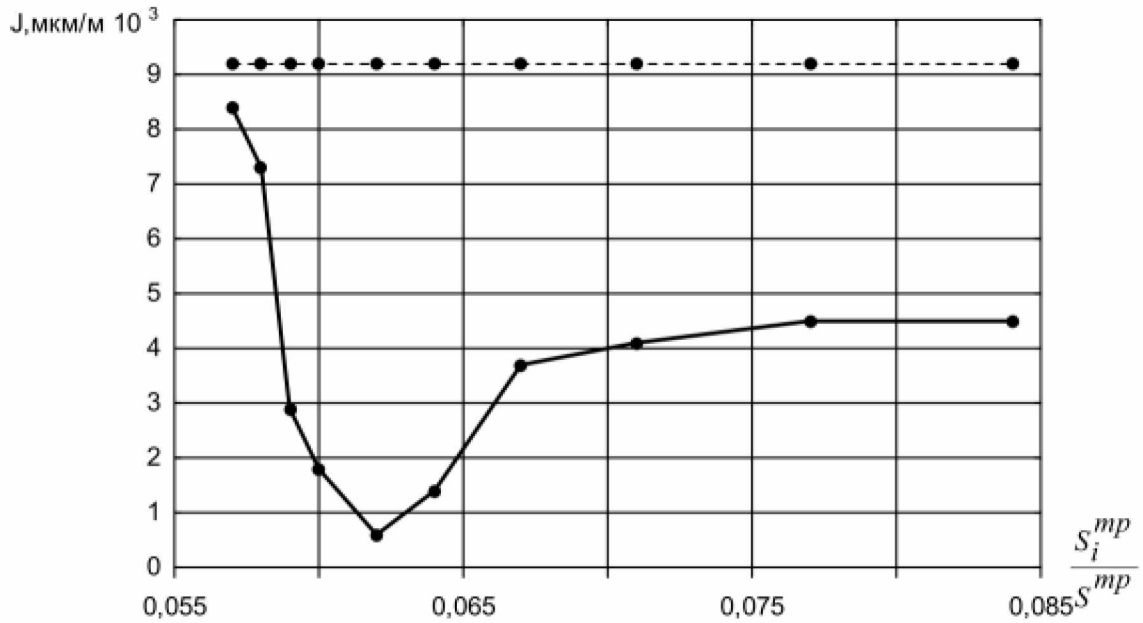


Рисунок 3.6 – Інтенсивність зношування (J) досліджуваних дослідних зразків

Результати зважування показують, що зразки з поверхнею металізованої міддю мають менший знос, ніж зразок без міді. При цьому найменше значення зносу в період припрацювання і до виникнення задиру мають зразки з кутами нахилу вставок 15° , 20° і 25° (номера 4, 5 і 6). А інтенсивність зношування залежить від кута нахилу вставки до ширини досліджуваного зразка (рисунок 3.6).

3.3. Результати визначення властивостей робочої поверхні тертя

Шорсткість робочої поверхні тертя гільз циліндрів визначали профілографуванням з висновком результатів вимірів на дисплей ПК. В результаті обробки отриманих профілограм встановлені наступні характеристики шорсткості (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати оцінки шорсткості внутрішньої робочої поверхні гільз циліндрів

Параметри шорсткості, мкм	Гільзи	
	Штатна	Металізована
R_{max}	2,59	1,98
R_z	0,93	0,66
R_a	0,46	0,28

Аналіз отриманих результатів таблиці 3.2 показує, що R_a – середнє відхилення профілю поверхні у металізованих гільз циліндрів (0,28 мкм), зменшилася в 1,6 рази, в порівнянні з типовою гільзою (0,46 мкм). Отримані дані підтверджують формування оптимальної мікрогеометрії металізованої поверхні, що дозволить підвищити ресурс роботи трибовузла.

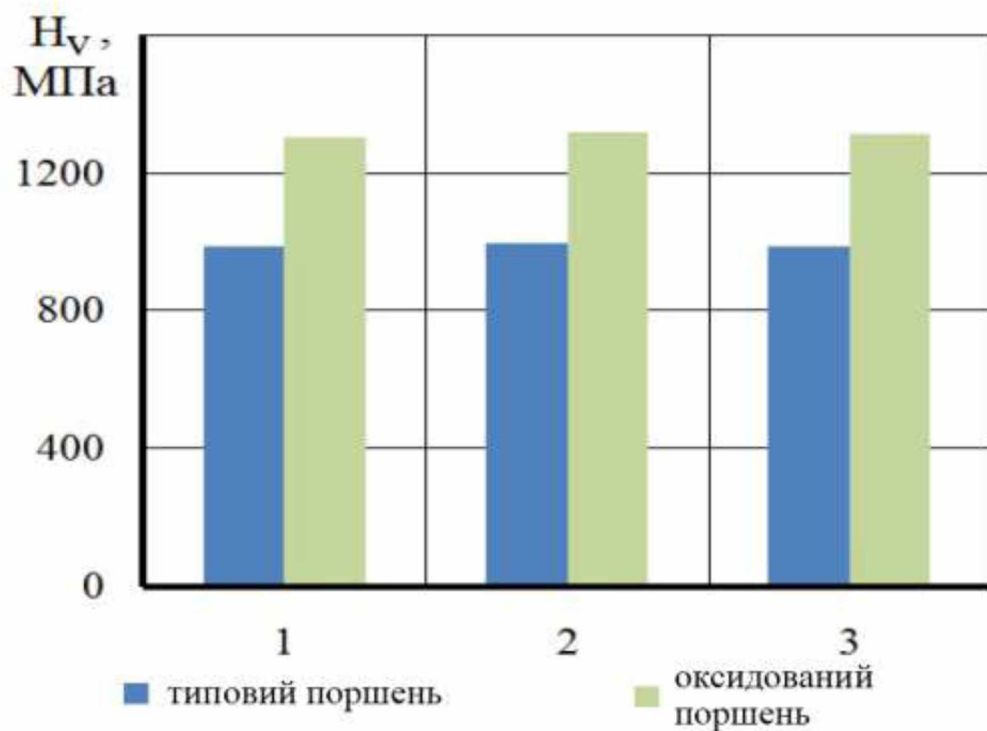
Визначення впливу тривалості оксидування на товщину і мікротвердість оксидованого шару проводилися на дослідних зразках шліфів фрагмента поршня сплаву АК12ММгН (Ал30), отриманого з використанням наступних параметрів режиму МДО: щільність струму - 4 А/дм², температура електроліту - 25°С, концентрація електроліту - 180 г/л і напруга - 250 В зі зміною часу оксидування від 30 до 80 хв. з кроком 10 хв.

В результаті досліджень встановлено, що товщина і мікротвердість оксидованого шару, який формується на поверхні дослідних зразків шліфів фрагмента поршня, залежать від часу оксидування. При часі оксидування 60 хв. формується оксидований шар товщиною 26 ... 30 мкм з мікротвердістю оксидованого шару 1274 ... 1326 МПа (таблиця 3.3).

При меншому часі оксидування і часу, що перевищує 60 хв., оксидований шар має меншу товщину і мікротвердість (відповідно 16 ... 24 мкм і 1127 ... 1263 МПа). Таким чином, оптимальне співвідношення товщини і мікротвердості оксидованого шару формується при часі оксидування 60 хв.

Таблиця 3.3 – Результати дослідження товщини і мікротвердості окисованого шару дослідних зразків шліфів фрагмента поршня

Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4	Зразок №5	Зразок №6
					
Тривалість окисування t , хв.					
30	40	50	60	70	80
Товщина окисованого шару δ , мкм					
8...10	14...17	20...23	26...30	21...24	16...19
Мікротвердість окисованого шару H_V , МПа					
1062...1121	1138...1161	1195...1259	1274...1326	1229...1263	1127..1174



В результаті аналізу мікрошліфів визначено, що фактична мікротвердість робочих поверхонь головки типового поршня склала 984 ... 987 МПа (рисунок 3.7).

Висновки

1. На підставі теоретичних досліджень описаний процес фрикційної взаємодії пари тертя «поршневі кільця – гільза циліндра», що враховує властивості поверхонь тертя, їх вплив на процес зношування, коефіцієнт тертя і величину механічних втрат в ЦПГ.

2. Шорсткість внутрішньої робочої поверхні гільзи циліндрів після металізації міддю знизилася в 1,6 рази, а середньосумарний знос, визначений методом зважування, в 4,9 рази менше, в порівнянні з типовими гільзами.

3. Формування оксидованого шару на робочих поверхнях поршня дозволило збільшити мікротвердість поверхневого шару робочих поверхонь днища і головки поршня на 32,1%.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

4.2. Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших

державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Висновки щодо підвищення стану охорони праці

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;

- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Економічну ефективність визначали шляхом порівняння витрат на виготовлення експериментальної ЦПГ та подальшої експлуатації автомобіля в штатному (при роботі двигуна з типовим ЦПГ) та експериментальним (при роботі двигуна з металізованими гільзами циліндрів і поршнями з окисдованими днищем) комплектацій.

Для визначення економічного ефекту від застосування експериментальної ЦПГ необхідно розрахувати експлуатаційні витрати за рік [27]:

$$E_p = B_{ек.т} - B_{ек.пр.}, \quad (4.1)$$

де $B_{ек.т}$ – величина експлуатаційних витрат за рік при роботі двигуна в типовій комплектації, грн.;

$B_{ек.пр.}$ – величина експлуатаційних витрат за рік при роботі двигуна, оснащеного експериментальним ЦПГ, грн.

Експлуатаційні витрати в рік складають:

$$Г = T + A + P + П, \quad (4.2)$$

де T – витрати на паливо, грн.;

A – амортизаційні відрахування, грн.;

P – витрати на підтримку автомобілів в працездатному стані (ремонт и технічне обслуговування), грн.;

$П$ – прямі інші витрати (зберігання, експлуатаційні матеріали та ін.), грн.

Витрати на витрачене моторне паливо, що використовується на виконання транспортних робіт, складуть:

$$T = W_p \cdot ЦБ, \quad (4.3)$$

де W_p - обсяг витраченого моторного палива за рік, л;

$ЦБ$ - вартість одиниці моторного палива, грн./л.

Річний обсяг витраченого моторного палива:

$$W_p = q_{e.p.} \cdot K_{p.д.}, \quad (4.4)$$

$q_{e.p.}$ - витрата палива протягом зміни, л;

$K_{p.д.}$ - кількість відпрацьованих робочих днів (300 днів).

$$q_{e.p.} = \frac{L_e \cdot P_{p.л}}{100}, \quad (4.5)$$

де L_e - пробіг автомобіля за зміну, км;

$P_{p.л}$ - шляхова витрата палива 16,1 л/100 км.

Тоді витрати на моторне паливо для здійснення транспортної роботи в рік складуть:

а) для автомобіля з двигуном з типовою гільзою циліндрів:

$$L_e = \frac{4500}{300} = 150 \text{ км},$$

$$q_{e.p.} = \frac{150 \cdot 16,1}{100} = 24,3 \text{ л},$$

$$W_p = 24,3 \cdot 300 = 7290 \text{ л},$$

$$T = 7290 \cdot 33,4 = 243486 \text{ грн.}$$

б) для автомобіля з двигуном з експериментальною ЦПГ:

$$L_e = \frac{4500}{300} = 150_{\text{км}},$$

$$q_{e.p.} = \frac{150 \cdot 15,4}{100} = 23,1_{\text{л}},$$

$$W_p = 23,1 \cdot 300 = 6930_{\text{л}},$$

$$T = 6930 \cdot 33,4 = 231462_{\text{грн.}}$$

Амортизаційні відрахування річної експлуатації двигуна: $a = 14,7\%$ – норма амортизаційних відрахувань.

Витрати на підтримку автомобіля в працездатному стані: $p = 10\%$ - норма відрахувань на проведення ремонту, технічного обслуговування та зберігання автомобіля.

Інші прямі витрати [28]:

$$P_p = (T+A+P) \cdot n / 100, \quad (4.6)$$

де $n = 10\%$ - норма інших прямих витрат.

$$P_{p.1} = (243486+10069,5+6850) \cdot 0,1 = 26040 \text{ грн.}$$

$$P_{p.2} = (231462+10930,4+74356) \cdot 0,1 = 24983 \text{ грн.}$$

Загальні експлуатаційні витрати в рік складуть:

$$B_{ек.т} = 243486+10069,5+6850+26040 = 286445 \text{ грн.},$$

$$B_{ек.пр.} = 231462+10930,4+7435,6+24983 = 274811 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Економічна ефективність від застосування експериментальної ЦПГ

Показники	Вид ЦПГ	
	типова	запропонована
Середньорічний пробіг	45000	45000
Витрати на виготовлення одного запропонованого комплекту, грн.		
- металізована гільза	-	412
- окисдований поршень	-	294
Витрати на заміну ЦПГ, грн.	5151	5856
Витрата палива, л/рік	243486	231462
Річні експлуатаційні витрати, грн.	286445	274811
Приведені витрати, грн.	67074,7	72808,9
Річна економія коштів, грн.	-	11634

Висновки

Таким чином, використання на автомобілі двигуна, оснащеного модернізованими ЦПГ, дозволить отримати річну економію в розмірі 11634 грн., що формується в результаті зниження на 4,5% витрат на моторне паливо (без урахування підвищення експлуатаційної потужності і зниження токсичних речовин у відпрацьованих газах).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення експлуатаційних показників автомобілів може бути досягнуто модифікуванням робочих поверхонь тертя деталей циліндропоршневої групи металами з низьким коефіцієнтом тертя.

2. На підставі теоретичних досліджень описаний процес фрикційної взаємодії пари тертя «поршневі кільця - гільза циліндра», що враховує властивості поверхонь тертя, їх вплив на процес зношування, коефіцієнт тертя і величину механічних втрат в ЦПГ.

3. Шорсткість внутрішньої робочої поверхні гільзи циліндрів після металізації міддю знизилася в 1,6 рази, а середній знос в 4,9 рази менше, в порівнянні з типовими гільзами.

4. Формування окисованого шару на робочих поверхнях поршня дозволило збільшити мікротвердість поверхневого шару робочих поверхонь днища і головки поршня на 32,1%.

5. Використання на автомобілі двигуна, оснащеного модернізованими ЦПГ, дозволить отримати річну економію в розмірі 11634 грн., що формується в результаті зниження на 4,5% витрат на моторне паливо.