

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

НОВИЦЬКИЙ ОЛЕГ РУСЛАНОВИЧ

УДК 621.43

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ
БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ**

208 “Агроінженерія”

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

_____ О.Р. Новицький

Керівник роботи

Савченко В.М.

к.т.н., доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Новицький Олег Русланович. Підвищення зносостійкості гільз циліндрів бензинових двигунів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі на підставі проведених прискорених лабораторних випробувань гільз циліндрів на зносостійкість зроблено висновок, що біметалізація гільзи циліндра вставками міді дозволяє знизити інтенсивність зношування гільзи циліндра в мертвих точках в 3 рази, а в середній частині – в 4 рази порівняно з типовою гільзою.

Результатами порівняльних стендових досліджень двигуна УМЗ-417 встановлено, що середнє зношування біметалізованих міддю гільз циліндрів менше в 3,4 рази порівняно з типовими. Використання біметалізованих гільз циліндрів дозволяє підвищити ефективну потужність на 4,8 %, зменшити годину та питому витрати пального відповідно на 4,8 % та 9,1 %, а також знизити вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю на 10% та вуглеводнів на 8% в порівнянні з двигуном зі штатними гільзами.

Результати порівняльних експлуатаційних досліджень автомобілів УАЗ-3303, укомплектованих двигуном з біметалізованими гільзами циліндрів показують, що знижується лінійне зношування робочої поверхні тертя гільз циліндрів у 2,7 рази; зменшується середня витрата палива на 4% і збільшується тиск газів у камері згоряння наприкінці такту стиснення на 6,5% порівняно з двигуном, укомплектованим штатними гільзами циліндрів.

Ключові слова: двигун, гільза, біметалізація, тертя, зношування

ANNOTATION

Novitsky Oleg Ruslanovich. Improving the wear resistance of the cylinder liners of gasoline engines. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis on the basis of accelerated laboratory tests of cylinder liners for wear resistance, it was concluded that bimetallization of the cylinder liner with copper inserts reduces the wear of the cylinder liner at dead points by 3 times and in the middle part by 4 times compared to copper.

The results of comparative bench studies of the YM3-417 engine showed that the average wear of bimetallized copper cylinder liners is 3.4 times less than typical. The use of bimetallic cylinder liners can increase the effective power by 4.8%, reduce hourly and specific fuel consumption by 4.8% and 9.1%, respectively, as well as reduce the content of exhaust gases of carbon monoxide by 10% and hydrocarbons by 8% in compared with the engine with standard sleeves.

The results of comparative operational studies of cars YA3 -3303, equipped with an engine with bimetallic cylinder liners show that the linear wear of the working surface of the friction of the cylinder liners is reduced by 2.7 times; the average fuel consumption is reduced by 4% and the gas pressure in the combustion chamber at the end of the compression stroke is increased by 6.5% compared to the engine equipped with standard cylinder liners.

Key words: engine, sleeve, bimetallization, friction, wear

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БІМЕТАЛІЗОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ.....	43
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Підвищення надійності машин і збільшення їх ресурсу мають велике значення в сучасних економічних умовах. Енергетичною основою мобільних сільськогосподарських процесів є двигун внутрішнього згоряння, частка якого припадає до 36...52% від загальної кількості відмов.

Ефективні показники роботи двигуна тим вищі, чим досконаліше тепловикористання та нижчі механічні втрати і, зокрема, втрати на тертя. Чим менше втрати на тертя, тим менше знос основних пар, що труться, більше термін служби і менше число несправностей двигунів в умовах експлуатації, найбільші втрати викликаються тертям між поршнем з кільцями і дзеркалом гільзи циліндра. Отже, однією з ланок, що найбільше лімітують показники надійності роботи ДВЗ, є гільзи циліндрів - одна з основних частин ДВЗ, яка працює спільно з поршнями і кільцями, утворюючи об'єм, в якому тепла енергія процесу згоряння палива перетворюється на механічну енергію.

Основними дефектами гільз циліндрів є: знос дзеркала циліндра; знос, зміна форми та взаємного розташування верхнього та нижнього настановних пасків щодо осі циліндра; сколи та тріщини будь-якого розміру та розташування; відкладення накипу на поверхні, що омивається водою; відкладення накипу на поверхнях посадкових поясів; короблення, відколи, глибокі задири або втрата натягу вставки гільзи.

В даний час розроблено кілька способів відновлення та зміцнення внутрішньої поверхні гільз циліндрів автотракторних двигунів, які за своєю технологією діляться на розточування під ремонтний розмір та відновлення до номінального розміру.

Розточування під ремонтний розмір тягне за собою зниження твердості внутрішньої поверхні та необхідність організації виробництва поршнів і

поршневих кілець ремонтного розміру, і навіть призводить до скорочення ресурсу двигунів на 30...50 %.

Для відновлення гільз циліндрів до номінального розміру застосовують такі способи: металізація, гальванічні способи, запресування зносостійких пластин, наплавлення на внутрішню поверхню зносостійких порошків, відновлення нагріванням і т. п. Але вони не знайшли широкого застосування через те, що не відповідають вимогам стандарту якості і мають високу собівартість, крім того, практично всі ці технологічні процеси надають несприятливий вплив на екологію.

Тому розробка та вдосконалення способів відновлення та підвищення зносостійкості гільз циліндрів, що відповідають вимогам стандартів, є актуальними та практично значущими для сільськогосподарського виробництва.

По-перше, гільза має бути зносостійкою і мати низький коефіцієнт тертя. По-друге, зберігати в процесі роботи стабільні розміри і при цьому витримувати високі тиски, механічні і теплові навантаження, а також мати хорошу теплопровідність і корозійну стійкість в активних середовищах.

Для забезпечення перелічених технічних вимог до якості гільз циліндрів при формуванні поверхонь тертя необхідно забезпечувати отримання оптимальних триботехнічних характеристик поверхонь, що сполучаються, таких як низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, оптимальні фізико-механічні властивості.

Ефективним способом підвищення зносостійкості гільз циліндрів є біметалізація робочої поверхні тертя. Для цього на внутрішній поверхні гільзи циліндрів виконують вставки, шари, канавки, пази, отвори та інше з матеріалу з іншими фізико-механічними властивостями, як правило, у площині, непаралельній площині тертя та напрямку руху деталей.

Перевага даного способу полягає в тому, що при зворотно-поступальному русі поршня кільця, рухаючись поверхнею гільзи, пластичним деформуванням знімають шар кольорового металу (мідь, олово, латунь та ін.) з канавок і

«намазують» його по всій поверхні гільзи між НМТ та ВМТ, що призводить до утворення на робочій поверхні тертя гільзи антифрикційної плівки, яка знижує коефіцієнт тертя поршневих кілець об стінку гільзи циліндра.

Наприклад, канавки, виконані у вигляді окремих замкнутих кілець, сприяють точності глибини їх нарізки і, отже, збільшення рівномірності заповнення канавок кольоровим металом (міддю). Таке конструктивне виконання робочої поверхні гільзи циліндра дозволяє підвищити якість роботи циліндропоршневої групи та зносостійкість гільз циліндрів.

Мета та завдання дослідження. Метою цієї роботи є підвищення зносостійкості гільз циліндрів бензинових двигунів біметалізацією робочої поверхні тертя. Згідно поставленої мети необхідно виконаними наступні завдання:

1. Провести аналіз факторів, що впливають на зносостійкість гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання;
2. Розробити програму та методику експериментальних досліджень;
3. Провести експериментальні дослідження та дати інтерпретацію отриманих даних.

Об'єкт дослідження – процес зношування гільз циліндрів бензинових двигунів.

Предмет дослідження – закономірність впливу триботехнічних характеристик поверхні тертя гільз циліндрів бензинових двигунів на їх зносостійкість.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів трибо техніки та прикладної фізики. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., Кукал Д. А., **Новицький О. Р.**, Бугайчук В. В., Примак М. А. Обробка деталей сільськогосподарських машин наклепом Збірник тез доповідей XXII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки". 16–18 жовтня 2021 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут». Київ. Ніжин. 2021. С. 204-206.

2. Савченко В., Шклярчук Ю., Павлюк І., Літвінець В., **Новицький О.**, Бугайчук В. Механізми мікролегування конструкційних сталей бором. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 37.

3. **Новицький О. Р.** Аналіз факторів, що впливають на зносостійкість гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 215-218.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія зміцнення поверхонь тертя гільз циліндрів бензинових двигунів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп'ютерного тексту, містить 23 рисунки.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз факторів, що впливають на зносостійкість гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння

За ДСТУ зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною, зворотної швидкості зношування або інтенсивності зношування [1-3].

Зносостійкість виробу характеризують такі показники [4]:

- знос – зміна маси виробів, їх розмірів, кількості металу в оливі або зміна параметрів виробу, що залежать від зношування поверхонь або сполучень;
- швидкість зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник (миттєва - у певний момент часу, середня - за певний інтервал часу);
- інтенсивність зношування (миттєва, середня) – відношення значення зносу до обумовленого шляху, на якому відбувається зношування, або обсягу виконаної роботи.

Довговічність та ефективність роботи автотракторних двигунів значною мірою визначаються зносостійкістю деталей циліндропоршневої групи. Знос деталей ЦПГ призводить до зниження тягово-потужних показників роботи двигуна, зростання витрати паливно-мастільних матеріалів, забруднення навколишнього середовища. Порушення у роботі ЦПГ впливають на роботу інших складальних одиниць двигуна, прискорюючи їх зношування. Ресурс капітально відремонтованого двигуна становить 35...40% ресурсу нового двигуна. Однією з дорогих деталей ЦПГ, що швидко зношуються, є гільза циліндра. Інтенсивність зношування ГЦ після капітального ремонту в 2-3 рази вище, ніж у нових гільз. Тому розробка та вдосконалення способів відновлення та збільшення ресурсу гільз циліндра є актуальними [5].

Процес зношування гільзи циліндра відбувається наступним чином: на верхній торець поршневого кільця діє тиск газів p_{Hr} , що трохи відрізняється від тиску в камері згоряння двигуна, що притискає його до нижнього торця поршневої канавки (рис. 1.1). Знизу на кільце впливає тиск газів p_l , що пройшли через зазори між кільцем або гільзою, кільцем або нижнім торцем канавки. Цей тиск газів змінюється за шириною кільця і прагне відірвати його від площини з'єднання з канавкою. Проте тиск газів на нижній торець значно менше, ніж верхній, через його дроселювання в зазорах. В результаті кільце притискається до нижнього торця канавки різницею тисків, що діють на його верхній та нижній торці [1, 7-9].

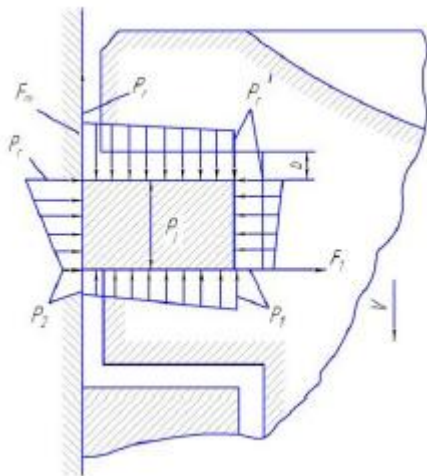


Рис. 1.1. Схема сил, що діють на поршневе кільце

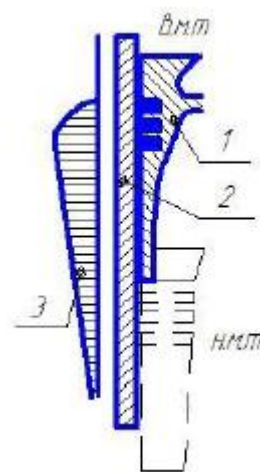


Рис. 1.2. Характер зносу гільзи циліндра по висоті.

1 – поршень; 2 – циліндр; 3 – епюри зносу

Тиск газів у канавках значно збільшує силу притискання кільця до гільзи; при цьому видавлюється мастило і зростає робота тертя. Між поверхнею кільця та гільзи при великих тисках за кільцем виникає граничне тертя, в умовах якого спостерігається підвищений знос, особливо верхніх кілець та верхнього пояса гільз. У бензинових двигунах робота тертя, що припадає на компресійні кільця, розподіляється так: перше кільце 60%, друге 30% і третє 10% [4].

Між кільцем та поверхнею ГЦ виникає сила тертя (F_{TP}), значення якої пропорційно тиску кільця на поверхню гільзи циліндра, що виникає внаслідок дії тиску газів та сили пружності кільця. Ця змінна за величиною сила спрямована у бік, протилежний руху поршня. Робота сил тертя викликає знос гільзи циліндра та робочої поверхні кільця. На роботу сил тертя впливають: співвідношення фізико-механічних властивостей матеріалів кільця та гільзи циліндра; стан мастила та наявність у ньому абразиву; температура деталей, що з'єднуються.

Робота сил тертя нижніх кілець завжди менша, ніж першого, що пояснюється, з одного боку, кращими умовами мастила, а з іншого – нижчим тиском газів у лабіринтному ущільненні [3-8].

Поблизу верхньої мертвої точки (в.м.т.), на тактах стиснення та робочого ходу, відбувається інтенсивне зношування гільзи циліндра, що посилюється дією високої температури газу, що призводить до вигорання мастильного матеріалу на поверхні циліндра. У міру руху поршня вниз робота сил тертя кілець у поєднанні зменшується. Кільця заходять у зону ГЦ, де є масло на поверхні, інтенсивність зношування ГЦ за висотою зменшується. Епюра зношування циліндра має форму конуса, більша основа якого розташована поблизу в.м.т. (рис. 1.2) [9-12].

У площині хитання шатуна знос циліндра дещо більше через дію нормальної сили. Ділянка гільзи циліндра, розташованого проти вогневого пояса поршня, при положенні його у в.м.т. зношується. Інтенсивність зношування ГЦ, крім перерахованих факторів, значною мірою визначається умовами експлуатації двигуна та досконалістю його технічного обслуговування.

Нерівномірне зношування гільз циліндрів по висоті призводить до радіальних переміщень кільця в канавці. Внаслідок переміщення кільця та дії нормального зусилля, що притискає його до нижнього торця канавки, між ними виникає сила тертя F_l (рис. 1.1). Робота сили тертя викликає знос першого поршневого кільця та канавки поршня, який прийнято оцінювати збільшення торцевого зазору b . Надмірне зношування цих деталей призводить до того, що

дроселююча дія кільця слабшає. Гази вільно проходять у картер, що прискорює старіння масла та зношування деталей ЦПГ двигуна[2, 6, 9] .

Вивчення процесів, що відбуваються при зношуванні різних пар тертя здійснюється в рамках науки, що швидко розвивається - трибології. Великий внесок у вивчення процесів та закономірностей зношування деталей двигуна внутрішнього згоряння зробили І.В. Крагельський, А.В. Чичинадзе, М.І. Хрущов, Ф.Д. Авдонькін, Б.М. Асташкевич, А.С. Денисов, В.І. Ципцин, І.Б. Гурвіч, М.М. Єрохін, В.В. Стрільцов, Є.А. Пучін, В.Ф. Карпенков, Д.М. Ведерніков, Н.С. Ждановський, Д.М. Гаркунов, А.А. Симдянкін та ін. [1-11].

Дослідження показують, що деталі ЦПГ працюють при нестационарних теплових, навантажувальних, швидкісних режимах, в умовах впливу абразивного та газового середовищ, які сприяють розриву плівок, що розділяють, і виникненню мікросхоплювання з різною інтенсивністю зношування. При цьому процес зношування змінюється з часом. Виділяють три етапи цього процесу: припрацювання, встановлений режим і катастрофічний знос [13]:

Перший етап – характеризується досить швидким збільшенням зносу, оскільки відбувається згладжування мікронерівностей на робочих поверхнях деталей. Цей період пов'язаний з приробіткою і відбувається при незначному пробігу двигуна. Закінчення цього етапу відбувається після обкатки нового двигуна та характеризується стабілізацією зазору між ними. Цей проміжок називається номінальним [14].

Другий етап – нормальна експлуатація двигуна. Цей етап характеризується малою швидкістю наростання зносу та значною тривалістю за часом. Називається також періодом природного зношування. Збільшення зносу залежить від багатьох параметрів. Будь-яке погіршення умов експлуатації підвищує темп зношування. Поліпшення умов експлуатації двигуна зменшує темп наростання зношування на даному етапі. Але в міру експлуатації зношування нарастають і досягають допустимих величин. Подальше

функціонування сполучення відбувається з гіршим мастилом і, отже, з підвищеною швидкістю зносу механізмів [12].

Третій етап – етап аварійного зношування. Робота пар на цьому етапі може викликати поломку і вимагає уважного контролю. Знос не повинен бути більшим за граничну величину. Чисельні значення номінального зносу (зазору) визначаються конструкцією двигуна. Значення допустимого та граничного зношування визначаються з теорії, виходячи з умов мащення [6].

У тракторних та автомобільних двигунах встановлюють гільзи мокрого типу з верхнім опорним буртом. ГЦ легкознімні «мокрого» типу відливаються із спеціального перлітного сірого чавуну із вмістом фериту до 5%. Графіт середньо- або дрібнозернистий прямої або завихреної форми. Твердість 170...241 HV. Для зниження зносу у верхню частину гільзи запресована з натягом 0,08...0,14 мм вставка із спеціального кислотоупорного легованого чавуну аустенітного типу. Твердість матеріалу вставки 74...92 HRC. Структура: аустеніт та карбіди у вигляді окремих включень або сітки та графіту, що складається з дрібних та середніх пластин прямої або завихреної форми [9].

Внутрішню поверхню гільзи обробляють до шорсткості Ra 0,32. Для збільшення маслоємності робочої поверхні частини гільз циліндрів внутрішню поверхню піддають плосковершинному хонінгуванню. При такій обробці на поверхні гільз формується рідкісна сітка з рисок (глибиною 3...6 мкм та відстанню між ними 0,3...0,6 мм) та опорних майданчиків між ними. Риски нахилені до вертикальної осі під кутом 45...65°. Сумарна площа опорних майданчиків становить 50...70% площі бічної поверхні циліндра [7-13].

Гільзи циліндрів під час роботи сприймають механічні та теплові навантаження, а також піддаються зносу. Умови в камері згоряння двигунів зумовлюють такі основні вимоги до гільз циліндрів [14]:

- а) міцність стінок при дії на них сил тиску газів;
- б) зносостійкість дзеркала циліндра при тривалій експлуатації двигуна;
- в) невеликі втрати на тертя при переміщенні поршня з кільцями у гільзі;

- г) антикорозійна стійкість внутрішньої та зовнішньої поверхонь гільзи;
- д) надійність ущільнення у місцях газового стику та стиків водяного охолодження;
- е) вільне розширення в осьовому напрямку для мокрих гільз циліндрів із верхнім опорним буртом.

У процесі експлуатації на зношування гільзи впливає безліч факторів. До основних факторів відносяться швидкісний, навантажувальний та тепловий режими роботи двигуна, ефективність очищення від пилу та інших механічних частинок, що надходять у двигун повітря та палива, ефективність очищення від продуктів зношування та механічних домішок картерної оливи, кількість холодних пусків та ін. При дотриманні встановлених заводом правил технічного обслуговування та експлуатації інтенсивність зношування гільз невелика і становить близько 0,7 мкм на 1000 км пробігу [5].

Під час роботи двигуна гільзи циліндрів зазнають значних змінних механічних і теплових навантажень, піддаються впливу корозійних речовин, абразивних частинок, високих температур і тиску. У момент спалаху максимальний тиск газів у циліндрі бензинового двигуна досягає 2,5...5 МПа, а температура газів у камері згоряння досягає 1800...2000 °С, біля нижньої мертвої точки тиск знижується до 0,3...0,5 МПа, а температура до 700 ...900°С, що викликає нагрівання центру днища поршня – у чавунних поршнів 400...500°С у алюмінієвих 200...250 °С у кромки камери згоряння, 200...220 °С у зоні верхнього компресійного кільця. Температура головки циліндрів сягає 400 °С. Температура гільзи циліндра в зоні верхньої мертвої точки досягає 250...300 °С і зменшується вниз по стінці гільзи [8].

Внаслідок нагрівання відбувається зниження механічних властивостей матеріалів з яких виготовлені деталі ЦПГ. При температурі понад 450 °С механічні властивості чавуну знижуються настільки, що нормальна тривала робота ГЦ за такої температури неможлива [9].

Попадання механічних твердих частинок в циліндри двигуна разом з повітрям і паливом призводить до значних зношування робочих поверхонь гільз і поршневих кілець. Так, спеціальні випробування показали, що при надходженні в циліндри двигуна з повітрям всього 7...9 г/год кварцового пилу зношування гільз збільшується приблизно в 10 разів (така кількість пилу може надходити в двигун при порушенні періодичності технічного обслуговування повітряного фільтра). Якщо з бензином у двигун надходить пилу 2 г/год, за 200 год роботи знос гільз та поршневих кілець досягає граничного значення. Істотно збільшується зношування гільз також при попаданні пилу або механічних твердих частинок в масляний картер [7].

Значний вплив на роботу двигуна має температура навколишнього повітря, що визначає температуру рідини у системі охолодження двигуна. Якщо двигун не охолоджувати, то гази, що мають високу температуру, сильно нагрівають деталі двигуна і вони розширюються. Масло на гільзах циліндрів і поршнях вигоряє, їх тертя і зношування зростають, а від надмірного розширення деталей відбувається заклинювання поршнів в циліндрах двигуна, і двигун може вийти з ладу. Щоб уникнути негативних явищ, що викликаються перегріванням двигуна, його потрібно охолоджувати [4].

Однак надмірне охолодження двигуна шкідливо відбивається на його роботі. При переохолодженні двигуна на стінках циліндрів конденсуються пари палива (бензину), змиваючи мастило, розріджують масло в картері. У цих умовах відбувається інтенсивне зношування поршневих кілець, поршнів, циліндрів і знижується економічність і потужність двигуна. Нормальна робота системи охолодження сприяє отриманню найбільшої потужності, зниженню витрати пального та збільшенню терміну служби двигуна без ремонту [2].

Величезна кількість холодних пусків і прогрівів, а також тривала робота двигуна з охолодною рідиною температурою нижче 55 °С значно збільшує знос гільз. Аналіз наявних даних показує, що при температурі рідини, що охолоджує, нижче 55 °С знос гільз збільшується більш ніж в 2 рази. Знос гільз і кілець у

період холодного пуску та прогріву також дуже високий. Порівняння зносу гільз за період пуску та прогріву і за той же відрізок часу при роботі при нормальному тепловому режимі показує, що один пуск та прогрів двигуна по зносу дорівнює приблизно 150 км пробігу. Передпусковий прогрів двигуна суттєво зменшує знос гільз [11].

На знос деталей ЦПГ впливають взаємне розташування та зазори деталей кривошипно-шатунного механізму. Непаралельність осей шатунних шийок щодо корінних, неперпендикулярність осі циліндра до осі колінчастого валу, неточність взаємного розташування осей верхньої та нижньої головок шатуна призводять до перекосу поршня в циліндрі, що погіршує припрацювання поршнів, кілець та корінних вкладишів. При перекосі погіршується контакт кілець з циліндром, підвищується витрата мастила на нагар, відбувається його швидке старіння та забруднення продуктами згоряння палива. Динамічні зусилля в ЦПГ при «перекладках» поршня значною мірою залежать від початкового зазору у поєднанні поршень-циліндр, який суттєво впливає на перекіс поршня.

Також встановлено, що зношування поверхні дзеркала ГЦ відбувається внаслідок руйнування втоми тонких поверхневих шарів і абразивного зношування твердими частинками, що потрапляють в зону тертя з масляного і повітряного трактів двигуна. Поверхневий шар, що утворюється на поверхні тертя, локалізує адгезійні, абразивні uszkodження, процеси крихкості та розпушування у мінімальних поверхневих обсягах. Цей шар повинен мати податливі обсяги металу з мінімальним зсувним опором та здійснювати деконцентрацію напружень на фрикційному контакті. Нижній несущий шар повинен володіти великою опірністю пластичному деформуванню, схоплюванню, втомним процесам і абразивним пошкодженням. Активні шари в процесі експлуатації двигунів повинні зберігати здатність до регенерації та постійного оновлення [10].

Високий тиск і температура призводять до вигорання та розрідження масляної плівки паливоповітряною сумішшю та посилює умови тертя. При

положеннях поршня у верхній та нижній мертвих точках завжди спостерігається майже повне руйнування масляної плівки і створюється напівсухе тертя. У зоні підвищених швидкостей ковзання поршня ближче до середньої частини гільзи товщина масляної плівки збільшується і можуть виникнути умови напіврідного тертя. Збільшення частоти обертання колінчастого валу, температури, підвищення тиску на поршневі кільця призводить до поширення зони напівсухого тертя. Гранична фаза масляної плівки, перебуваючи під двостороннім впливом молекулярних сил, набуває: квазитвердого стану з тиском, що розклинає, що чинить сильний опір утворенню металевому контакту; слизький стан, що нагадує мило, змочене водою. Зазначені властивості оберігають тертьові поверхні від руйнування [5-8].

Реверсування значною мірою впливає знос деталей у парі тертя. Порівняно з односпрямованим ковзанням при реверсованому ковзанні зношування деталей збільшується в 1,5-2 рази в результаті утворення зон, де практично відсутні внутрішні напруження і знижена мікротвердість [6].

Велике значення для зносостійкості пар тертя мають геометричні розміри та твердість деталей пари тертя. Поєднання "гільза-поршень" є зворотною парою тертя, як по геометрії, так і за матеріалами. У такій парі тертя твердість і площа рухомої деталі менше твердості та площі тертя нерухомої деталі. Дослідження показують, що сумарне зношування деталей пари зворотної по геометрії та матеріалам у 3,5 рази вище, ніж у прямої пари, що має зворотне співвідношення площі та твердості поверхонь тертя [5].

Гільзи циліндрів ДВЗ працюють в умовах високотемпературного зносу і повинні відповідати цілій низці важливих параметрів. По-перше, гільза має бути зносостійкою і мати низький коефіцієнт тертя. По-друге, зберігати в процесі роботи стабільні розміри і при цьому витримувати високі тиски, механічні і теплові навантаження, а також мати хорошу теплопровідність і корозійну стійкість в активних середовищах [4].

Для забезпечення перерахованих технічних вимог до якості гільз циліндрів при формуванні поверхонь тертя необхідно забезпечувати отримання оптимальних триботехнічних характеристик поверхонь, що сполучаються, таких як низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, оптимальні фізико-механічні властивості, що вимагає додаткових заходів щодо підвищення їх зносостійкості, особливо після ремонту.

1.2 Шляхи підвищення зносостійкості гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння

Проблема зносостійкості деталей машин – це проблема їх довговічності та надійності. Облік фізико-хімічних процесів, що протікають в поверхневих шарах тіл, що труться, призводить до перегляду традиційних уявлень про методи боротьби зі зносом. Раніше для підвищення зносостійкості прагнули підвищити твердість поверхонь, що труться. Цей спосіб частково забезпечував виконання поставленого завдання, однак він не зміг задовольняти всі вимоги через невелику площу фактичного контакту поверхонь тертя [3].

Зусилля захистити поверхневий шар від зношування поділом поверхонь, що труться, шаром мастильного матеріалу, за допомогою плівок хімічних сполук (окислів) і збільшенням твердості або міцності самого матеріалу виявилися недостатньо ефективними. Розглянемо найширше застосовувані (рис. 1.3) шляхи підвищення зносостійкості робочої поверхні тертя гільз циліндрів [2].

Д.М. Гаркунов та І.В. Крагельський запропонували принципово новий шлях боротьби зі зносом, що полягає в граничному зниженні міцності поверхневого шару та звільненні його від плівок, що заважають вільної формозміни [3].



Рис. 1.3. Способи підвищення зносостійкості робочої поверхні тертя гільз циліндрів [3,5, 7, 8, 8-11]

Вибірчий перенос реалізується при терті сталі за певними мідними сплавами (наприклад, за деякими бронзами або латунями) у ряді середовищ (насамперед у гліцерині, спиртогліцеринових середовищах, морській воді тощо) у певних інтервалах зміни умов роботи з'єднання. Під дією гліцерину (або іншого середовища) при терті починається виборче анодне розчинення легуючих бронзу елементів. Атоми цих елементів відносяться до мастильного середовища, а поверхня бронзи збагачується міддю. У відновлювальному середовищі, яким є гліцерин, ця мідь не окислюється і тому дуже активна. Вона легко схоплюється зі сталеву поверхнею, покриваючи її тонким шаром. У цьому шарі з'являється велика кількість вакансій, частина яких утворює пори, що заповнюються молекулами гліцерину. В результаті утворюється так звана сервовітна плівка товщиною 1...2 мкм, яка має низьку міцність на зсув і не наклепується при терті. Вона чудово адсорбує активні компоненти середовища, насамперед комплексні сполуки, що утворюються розчиненими елементами сплаву та продуктами механохімічних перетворень мастильного середовища. Крім того, маючи високу теплопровідність, вона сприяє зниженню температури поверхні тертя шляхом відведення теплоти в глибинні шари матеріалу [13].

Вибірчий перенос, на жаль, реалізується лише за певних поєднаннях матеріалів, тіл що труться і мастильних матеріалів у певному, досить вузькому інтервалі зміни діючих чинників (навантажувальних, швидкісних і особливо температурних).

Як відомо, зносостійкість залежить від остаточної (фінішної) технологічної обробки поверхонь деталей. До такого способу відноситься розроблена фінішна антифрикційна безабразивна обробка. Сутність ФАБО у тому, що поверхню тертя деталі покривається тонким шаром латуні, бронзи чи міді шляхом використання явища перенесення металу при терті. Перед нанесенням покриття поверхню, що обробляється, знежирюють і покривають гліцерином або сумішшю, що складається з двох частин гліцерину і однієї частини 10%-ного розчину соляної кислоти. В процесі тертя окисна плівка на поверхні сталі розпушується, поверхня мідного сплаву пластифікується, і створюються умови для його схоплювання зі сталлю. Товщина перенесеного шару бронзи або латуні 1-2 мкм. Перевага ФАБО перед іншими фінішними операціями полягає в тому, що цей метод є надзвичайно простим і не потребує складного обладнання. ФАБО надає сталевій або чавунній поверхні високих антифрикційних властивостей. Досвід використання ФАБО для циліндрів двигунів внутрішнього згорання дозволяє зменшити час припрацювання і збільшити зносостійкість гільз циліндрів у 1,6...1,75 рази, а поршневих кілець, що працюють у парі з ними, – у 1,35...1,4 рази [7-9].

Широке поширення підвищення зносостійкості деталей двигунів отримали спеціальні присадки, що застосовуються як у етапі обкатки двигуна, і у період експлуатації [3-7].

За своєю фізико-хімічною дією присадки можна розділити на ряд груп:

Присадки з використанням ПАР (ДФІ - 1; ОГМ - 1, 2, 3 та інші). Поверхнево-активні речовини утворюють на поверхнях тертя міцну адгезійну плівку, яка знижує тертя, перешкоджає підвищенням зношуванням під час роботи з великими навантаженнями. Необхідно відзначити, що дія ПАР погіршується

при високих температурах, що може спричинити зниження протизадирних властивостей.

Інактивні присадки (Градіс; АЛП - 1,2; Молікот - А; Ресурс; Ремол - 1; Деста - М; Гарант та ін.). Загальним недоліком інактивних речовин є те, що вони, заповнюючи западини мікрорівнин, не змінюють характер поверхні, поверхня під шаром присадки залишається незмінною, і при використанні надалі чистої оливи мікронерівності розкриваються і зішліфовуються. Крім того, ці присадки нерозчинні в моторних оливах і випадають в осад при зберіганні та фільтрації.

Хімічно-активні присадки (ОМ-2; ОКМ; ДК-8) інтенсифікують хімічні процеси на поверхнях деталей, що труться, що призводить до утворення шарів з продуктів хімічної взаємодії з металом, які поділяють контактуючі поверхні, тим самим, перешкоджаючи схоплюванню і задирам. Розглянуті хімічно- активні присадки за всієї їх ефективності мають такі недоліки: токсичність; хімічну активність присадок при збільшенні навантаження та температури, що призводить до підвищеного корозійно-механічного зношування деталей; проблема приготування за умов ремонтного виробництва.

До присадок, що реалізують ефект виборчого перенесення (ВП) - при доробці деталей, відноситься композиція КТЦМС. Явище ВП засноване на тому, що за певних умов спостерігається утворення плівок перенесення (антифрикційних плівок) металів зі складу присадок, що забезпечують низьке тертя та зниження зносу деталей. Нестача композиції – складність приготування в заводських умовах. Присадка характеризується загальнотоксичною дією.

В.І. Ципцин з учнями застосував для якісного припрацювання надтонкі порошки міді та цинку (0,1...0,25%) за масою, разом із поверхнево-активною олеїною кислотою (присадка ПМЦ-2). Внаслідок дії цієї присадки на поверхнях тертя утворюються плівки міді, що заповнюють мікронерівності та перешкоджають задиракам і схоплюванням [6].

В.В. Сафонов на основі ультрадисперсних порошоків розробив приробіткову присадку УДПЛ з активною речовиною латунь. В результаті

стендових випробувань було встановлено: момент механічних втрат знижується на 15...20%, зношування основних деталей ЦПГ і КШМ дизелів на 10...60% менше, ніж на базовому мастилі М-10-Г₂.

Підвищити зносостійкість гільз циліндрів можливо способом анодно-механічного хонінгування (АМХ) із застосуванням металевих хонінгувальних брусків з міді, латуні, сталі або чавуну, що дозволить використовувати не тільки електрохімічну, але й електроерозійну складові процесу, а також нанести антифрикційний шар [9].

При АМХ знімання металу відбувається за рахунок електроерозійних та електрохімічних явищ. У будь-якому режимі міжелектродному проміжку протікають відповідні електрохімічні процеси, оскільки робочою рідиною є електроліт. Електричні розряди, що виникають між електродами і зумовлюють електроерозію, можна розглядати як окремі джерела тепла, що швидко рухаються по поверхні електрода-заготовки. При цьому тепло поширюється углиб металу за законами теплопровідності. Глибина проникнення тепла залежатиме від потужності електричного розряду, швидкості руху електродів, властивостей доквілля тощо. Навколо точки, що швидко рухається, утворюються температурні зони сферичної форми. У тій зоні, де нагрівання досягає температури плавлення та вище, метал плавиться, частково випаровується і, віддаляючись потоком робочої рідини та електрод-інструментом, утворює лунки. У наступних нижче зонах відбувається зміна структури. У зоні, де температура досягає температури гартування і вище з'являється так званий «білий» шар, який характеризується низькою травністю, високою твердістю та зносостійкістю. Використовуючи ці властивості «білого» шару, можна збільшити ресурс гільз циліндрів [1,2, 5, 9, 10].

Однак «білий» шар має нерівномірну товщину і суцільність, а також має пори і тріщини. Тому отримання «білого» шару анодно-механічним методом виявилось недоцільним. Обробку гільз циліндрів слід проводити на режимах, що допускають появу «білого» шару невеликої товщини. Лабораторні та

експлуатаційні дослідження показали, що зносостійкість поверхні гільз циліндрів обробленої АМХ на 20...22% вище зносостійкості поверхні після алмазного хонінгування. Час приробітку поверхні також скоротився.

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) – ефективний спосіб підвищення зносостійкості поверхонь деталі, що труться, в умовах граничного тертя, заснований на використанні пластичних властивостей матеріалу. В результаті такої обробки видаляються риски та мікротріщини від попередньої обробки, збільшуються твердість, зносо- та корозійна-стійкість поверхні та її втомна міцність. Для підвищення зносостійкості гільз циліндрів застосовують зазвичай розкочування кульками або роликами, як у вигляді самостійної операції, так і поєднаної з операціями розточування, хонінгування, доведення.

Поверхневий шар, розкочений при оптимальних режимах, має підвищену (на 18-27%) мікротвердість. Товщина шару з підвищеною мікротвердістю коливається в межах 0,05-0,5 мм: чим більше діаметр деформуючого елемента, тим товщий шар з підвищеною мікротвердістю. Безперечним позитивним моментом слід вважати, що ППД є остаточною операцією і можлива як у промисловому, так і ремонтному виробництві [3].

В результаті поверхневого пластичного деформування межа витривалості підвищується на 40 ... 100%, період приробітку гільз знижується на 66%, зношування за період приробітку в 1,1 ... 1,8 рази менше, ніж у гільз без обробки.

Істотним недоліком цього є мала товщина антифрикційного шару (до 5 мкм), що у умовах провідного абразивного зношування буде недостатньо і, як наслідок, може викликати інші види зносу, зменшуючи ресурс гільзи [5].

З метою підвищення зносостійкості робочої поверхні гільз у сучасному автомобільному двигунобудуванні для більшості гільз циліндрів двигунів, у тому числі і зарубіжних, застосовується її загартування. Термообробка загартуванням сірого чавуну з перлітною структурою дозволяє перетворити його на чавун з мартенситною структурою. Загартування гільз, що проводиться струмами високої частоти (СВЧ), дозволяє отримати робочу поверхню, зміцнену

на глибину до 2,5 мм. Її твердість після гарту СВЧ досягає 38 ... 48 HRC в залежності від різних факторів. Питоме зношування таких гільз становить залежно від умов експлуатації автомобіля 0,5...2,0 мкм/1000 км. Достатня глибина загартованого шару дозволяє проводити перешліфування гільз під ремонтні розміри, що збільшує ресурс роботи [2].

Однак при загартуванні робочої поверхні гільз СВЧ існує велика ймовірність геометричної деформації, утворення тріщин на закаленій поверхні, отримання неоднорідної твердості як по колу, так і по висоті, неоднорідності структури (наявність відокремлених мікроділянок структурно-вільного фериту в структурі загартованого), що є причиною підвищеного зношування гільз циліндрів. Для запобігання цим небажаним дефектам дослідники підбирають оптимальні режими загартування (час нагріву під загартування, наявність підігріву перед загартуванням, інтенсивність зовнішнього та (або) внутрішнього охолодження тощо) для кожного певного хімічного складу чавуну [3].

При лазерному зміцненні гільзи циліндрів на її внутрішній поверхні лазером наносять окремі рівновіддалені смужки під кутом 45° до гільзи, що утворює так, що смужки утворюють на поверхні сітку. Глибина зони зміцнення становить 0,5...1,0 мм, товщина доріжки до 0,5 мм, припуск на остаточну механічну обробку становить 0,1...0,2 мм. В результаті обробки спостерігається зменшення інтенсивності зношування в 1,3...1,6 раз [14].

Слід зазначити, при обробці лазерним випромінюванням графіт, що знаходиться на робочій поверхні гільзи циліндра, вигоряє під дією високих температур, що призводить до збільшення шорсткості поверхні та інших, негативних при роботі деталі наслідків. Також необхідно дороге обладнання для проведення лазерного загартування, внаслідок чого використання лазерної обробки доцільно при потоковому та масовому виробництві у разі, коли інші способи зміцнення не дають бажаного результату.

У роботах [7] запропоновано спосіб біметалізації поверхні тертя шляхом створення в тілі основного матеріалу впорядкованих або неупорядкованих

вставок, краплень, шарів та ін. з матеріалу, що має відмінні від основного фізико-механічні властивості [11].

При зношуванні поверхні тертя зі зміненими фізико-механічними характеристиками відбувається руйнування основного матеріалу (чавуну гільзи) і пластичного кольорового металу (міді, латуні). Для міді та її сплавів характерні пластичні деформації при взаємодії мікронерівності. Пластичний кольоровий метал і частинки його зносу, перебуваючи безпосередньо в зоні тертя, взаємодіють з мікронерівностями, що труться, «намазуються» на кромки контакту мікронерівностей. Плівка, що утворюється між ними, має низький опір зсуву і утримується на поверхнях тертя за рахунок молекулярних («Ван-дер-ваальсових») сил. Таким чином, зниження зношування пов'язане з наступними процесами. Мікронерівності, присутні на поверхні тертя, потрапляючи в зону пластичних деформацій (мідь, латунь), заглиблюються на величину більшу, ніж це відбувається в зоні пружних деформацій. При виході із зони пластичних деформацій в зону пружних деформацій мікронерівність потрапляє на різучу кромку пружного шару і зрізається, а клин пластичного матеріалу, що знаходиться перед мікронерівністю, роз'єднує сполучені поверхні і захоплюється мікронерівністю, що рухається до найближчої западини. Одночасно відбуваються хімічні процеси утворення шпинелі, яка, потрапляючи до западини поверхні, підвищує її опір нормальним навантаженням [9].

Перевага даного способу полягає в тому, що відпадає необхідність постійного поповнення, як у випадку з мікропорошками, запасів міді, що бере участь у процесі тертя. Крім того, шпинель $ZnFe_2O_4$, що утворилася в результаті хімічних реакцій, є високотемпературним нейтралізатором відпрацьованих газів камери згоряння [8].

В результаті досліджень авторів було використано кілька варіантів зміни фізико-механічних характеристик поверхонь деталей шляхом прошаровування у поперечному напрямку кольоровими металами та сплавами (міддю, латунню, бронзою, міддю та цинком). Згідно з результатами їх досліджень встановлено,

що кращу зносостійкість мають зразки, прошаровані в поперечному перерізі міддю, порівняно з суцільним зразком і зразками, що прошаруються іншими кольоровими металами.

Інтенсивність зношування зразків залежить також від відношення площі тертя поперечного шару, що змінює фізико-механічні властивості поверхні тертя, до площі тертя зразка, яка в дослідженнях змінювалася залежно від кута нахилу поперечного шару ширини зразка α . Було встановлено, що інтенсивність зношування змінюється в залежності від кута нахилу поперечного шару до ширини зразка. Ця залежність має однаковий характер для зразків із поперечними шарами з міді та латуні [7].

Таким чином, на підставі наведених викладок можна зробити висновок, що спосіб біметалізації поверхні тертя вставками міді дозволить поліпшити змащувальні властивості поверхні, що труться, і підвищити її зносостійкість.

Однак у літературних джерелах відсутні дані з біметалізації робочої поверхні тертя гільз циліндрів бензинових двигунів для підвищення їх зносостійкості.

Висновки по розділу

Літературний та патентний огляд показує, що підвищення зносостійкості гільз циліндрів досягається різними способами.

Основними характерними недоліками наведених вище способів, внаслідок яких вони не набули широкого поширення в ремонтному виробництві, є: низька адгезійна міцність, використання дорогих матеріалів, складність обробки, висока вартість процесу та ін. Крім того, практично всі ці способи надають несприятливий вплив на екологію.

Найбільш перспективним способом підвищення зносостійкості внутрішньої поверхні гільз циліндрів є біметалізація робочої поверхні тертя шляхом створення в тілі основного матеріалу впорядкованих або

невпорядкованих вставок, вкраплень, шарів тощо з матеріалу, що має відмінні від основного фізико-механічні властивості.

Одним з переваг даного способу є те, що відпадає необхідність постійного поповнення мікропорошків, запасів міді, що бере участь у процесі тертя або елементів присадок, що діють протягом певного часу.

На підставі вищевикладеного метою роботи є підвищення зносостійкості гільз циліндрів бензинових двигунів біметалізацією робочої поверхні тертя.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика стендових досліджень

2.1.1 Обладнання та приладове забезпечення

Предметом порівняльних стендових експериментальних досліджень був бензиновий двигун УМЗ-417 у штатній (типові гільзи циліндрів) та експериментальній (біметалізовані гільзи циліндрів) комплектації. Всі системи та механізми двигуна були перевірені та відрегульовані відповідно до інструкції з експлуатації автомобілів УАЗ.

Моторна установка для дослідження роботи двигуна включала (рис. 2.1): бензиновий двигун УМЗ-417 з системою відведення відпрацьованих газів, стенд гальмівний КІ-5543 скомплектований вимірювально-реєструючий комплекс (ВРК).



Рис. 2.1. Загальний вигляд експериментальної моторної установки: 1 - стенд гальмівний КІ-5543; 2 - система відведення відпрацьованих газів; 3 - двигун УМЗ-417

Схема процесу визначення параметрів ЦПГ представлена на рисунку 2.2.

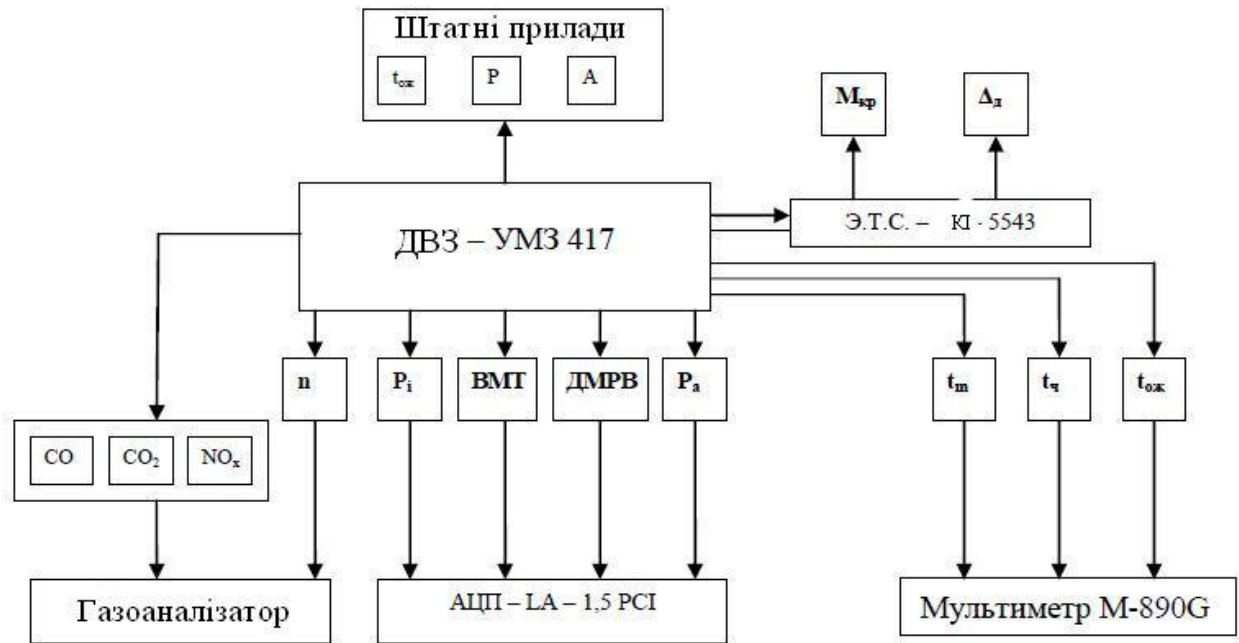


Рис. 2.2. Схема процесу визначення параметрів ЦПГ: газоаналізатор Інфракар М1-01; P_i – датчик тиску газів УДПС-001; n – датчик частоти обертання; ВМТ - датчик положення поршня; ДМРВ – датчик масової витрати повітря (BOSH 0280218037); P_a – датчик абсолютного тиску; t_m , $t_{год}$, $t_{ож}$ – термомпари; Електричний гальмівний стенд КІ-5543; Δ_{δ} – витратомір палива (вагового типу); штатні прилади; Аналога – цифровий перетворювач.

До складу ВРК входили (рис. 2.3): вимірювачі температури (тестер - мультиметр М 890 С) навколишнього повітря та експлуатаційних матеріалів (охолодної рідини, моторного масла в головній масляній магістралі, температуру вихлопних газів за допомогою термомпари ТХК), витратомір палива, датчики (ВМТ, позначок зубів маховика, тиску, масової витрати повітря, розрядження, температури охолоджуючої рідини та масла), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) ЛА-1,5РСІ, персональний комп'ютер на базі Pentium-III з монітором «SAMSUNG», стабілізуючий блок живлення, газоаналізатор Інфракар М1-01.



Рис. 2.3. Вимірювально-реєструючий комплекс: 1 – блок живлення; 2 – системний блок із монітором; 3 – АЦП; 4 – газоаналізатор Інфракар М1-01.

Вимірювання тиску газів при індикуванні четвертого циліндра двигуна (як найбільш теплонапруженого) здійснювалося п'єзоелектричним датчиком тиску газів УДПС - 001, що охолоджується (рис. 2.4). Датчик встановлювався у спеціальний перехідник, що повертається в головку циліндрів, і з'єднувався каналом із центральною частиною камери згоряння. Підведення охолодної рідини до датчика здійснювалося від водопровідної мережі. Для перетворення сигналу використовувався АЦП LA-1,5РСІ, який встановлювався в коло між датчиком і комп'ютером.



а)



б)

Рис. 2.4. П'єзоелектричний датчик тиску газів УДПС-001: а) загальний вигляд; б) місце встановлення.

Температура охолоджуючої рідини в системі охолодження, моторної оливи в головній масляній магістралі, вихлопних газів контролювали за допомогою термодатчиків (термопар типу ТХК), встановлених у місцях вимірювання температури (рис. 2.5).

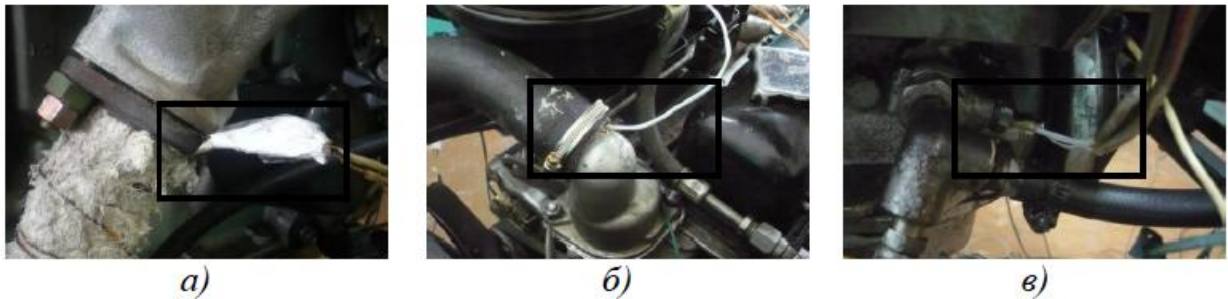


Рис. 2.5. Місця встановлення термодатчиків: а) температури вихлопних газів; б) температури охолоджуючої рідини; в) температури моторної оливи.

Датчик ВМТ (рис. 2.6) фотоелектричного типу включав фотодіод 3 і лампу розжарювання 4, світловий потік якої в момент знаходження четвертого циліндра ВМТ перекривався прапорцем 2, закріпленим на шківі 1 приводу вентилятора. Досліджувані аналогові сигнали від датчиків подавалися на входи каналів пристрою LA-1,5PCI, яке здійснює перетворення вхідних аналогових сигналів цифрову форму, для подальшої обробки комп'ютером.

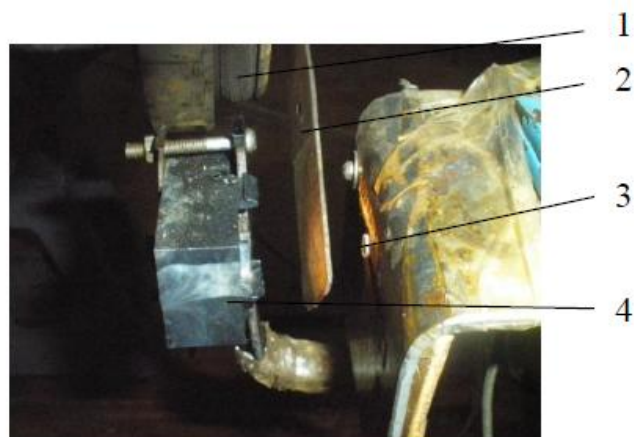


Рис. 2.6. Датчик ВМТ фотоелектричного типу (місце установки): 1 – шків; 2 – прапорець; 3 – фотодіод; 4 – лампа розжарювання.

Обмін даними аналого-цифрового перетворення між комп'ютером та пристроєм здійснюється через інтерфейс USB комп'ютера. Комп'ютер за

допомогою спеціальної програми, що входить в комплект (ADCLab), здійснює обробку даних аналого-цифрового перетворення і управління пристроєм через інтерфейс USB. При записі індикаторних діаграм роботи двигуна необхідна довжина кадру встановлювалася за допомогою програми ADCLab у відповідній системі координат, що забезпечує запис 4-х і більше індикаторних діаграм в залежності від ступеня стиснення осі ординат.

Контроль витрати обсягу повітря здійснювався за допомогою датчика масової витрати повітря BOSCH 0 280 218 037, який встановлювався безпосередньо на вхідний патрубок повітряного фільтра та датчика розрядження повітря BOSCH 4513829, встановлений за допомогою трійника у трубопровід, що з'єднує карбюратор із розподільником (рис. 2.7).

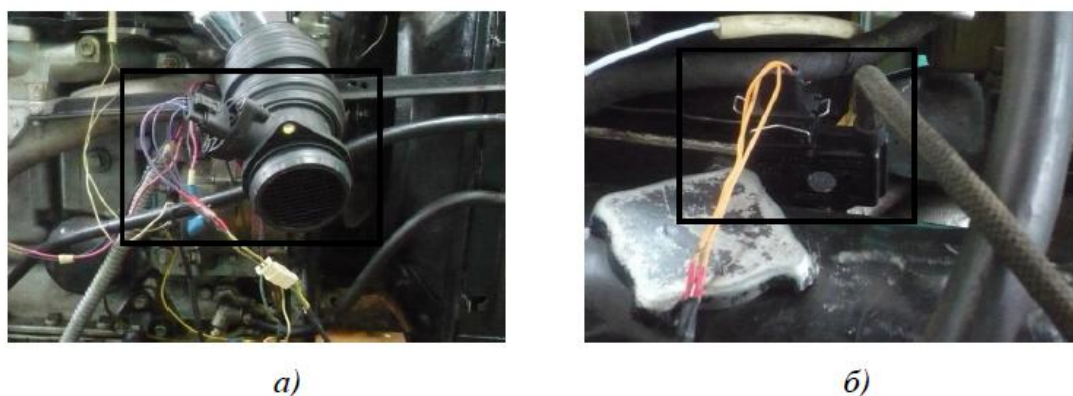


Рис. 2.7. Місця встановлення датчиків контролю витрат обсягу повітря: а) датчик масової витрати повітря; б) датчик розрядження.



Рис. 2.8. Способи тарування: а) датчик розрядження BOSCH 4513829; б) датчик масової витрати повітря BOSCH 0280218037.

Для перетворення сигналу використовувався АЦП LA-1,5PCI, який встановлювався в коло між датчиком і комп'ютером.

Візуальний контроль за наявністю сигналів досліджуваних процесів та їх формою здійснювався на дисплеї комп'ютера. Синхронний запис всіх параметрів, що реєструються, і позначок часу проводилася на жорсткий носій комп'ютера за допомогою програми-драйвера LA-1,5PCI.

Для визначення концентрації у газах, що відпрацювали, вуглеводнів (СН, %) і оксиду вуглецю (СО, %) використовувався газоаналізатор Інфракар М1-01.

Статичне тарування каналів реєстрації тиску газів у циліндрі двигуна проводили на приладі з поршневим манометром наскрізним методом, тобто, знаходився взаємозв'язок між точними значеннями параметрів, виміряних зразковим манометром і відповідним їм ординатам діаграми тиску, що відображається на дисплеї комп'ютера (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Тарування каналів реєстрації тиску газів

Динамічне тарування каналу реєстрації тиску газів в циліндрі здійснювалося методом прокручування двигуна на динамометричній машині КІ-5543 із записом сигналу тиску газів в циліндрі двигуна та позначок ВМТ на дисплей комп'ютера в інтервалі від максимальної до мінімально стійкої частоти

обертання к.в. на холостому ходу. Порівняння величин тиску стиснення, отриманих при статичному та динамічному таруванні на постійній частоті обертання, дозволили визначити помилку вимірювання тисків.

2.1.2 Методика вимірювання токсичності відпрацьованих газів бензинового двигуна

Вимірювання об'ємної частки оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (у перерахунку на гексан), діоксиду вуглецю (CO₂), кисню (O₂) у відпрацьованих газах бензинового двигуна проводили за допомогою газоаналізатора Інфрoкар М1 01, в якому є тахометр, призначений для вимірювання у цифровому вигляді частоти обертання колінчастого валу двигуна (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Прилад Інфрoкар М1 – 01: а) вид спереду; б) вид ззаду

Прилад складається із системи пробовідбору та пробопідготовки, блоку вимірювального та електронного блоку.

Система пробовідбору та пробопідготовки газоаналізатора включає газозабірний зонд, пробовідбірний шланг, бензиновий фільтр, трійник, пневмоопір, 2 насоси, краплевідбійник, фільтр тонкого очищення. Каплевідбійник у нижній частині з'єднаний зі штуцером ЗЛИВ для автоматичного зливу конденсату спонукачем витрати. Принцип дії датчиків об'ємної частки (CO, CO₂, вуглеводнів) оптико-абсорбційний. Принцип дії датчика вимірювання концентрації кисню електрохімічний. Принцип дії датчика

частоти обертання колінчастого валу ґрунтується на індуктивному методі визначення частоти імпульсів струму в системі запалення.

Блок вимірювальний містить оптичний блок, в якому є випромінювач, вимірювальна кювета, 4 піроелектричних приймача випромінювання, перед якими розмішені 4 інтерференційні фільтри. Випромінювання модулюються обтюратором. У вимірювальному блоці також розміщено електрохімічний датчик кисню.

Блок електронний призначений для вимірювання вихідних сигналів первинних перетворювачів газоаналізаторів Інфракар М, обробки та подання результатів вимірювання.

Газоаналізатор Інфракар М1-01 містить:

- комбінований блок живлення від постійного струму напругою (12+2,8 – 1,2) та змінного струму напругою (220+22/-33), частотою (50±1) Гц;
- блок попереднього посилення сигналу піроелектричних приймачів;
- мікропроцесорний контролер, у тому числі виконує функцію вимірювання частоти обертання колінчастого валу двигуна;
- 6 світлодіодних індикаторів;
- клавіатуру;
- датчик температури;
- цифровий вихід для зв'язку з комп'ютером через RS 232.

Підготовка та порядок роботи приладу. Встановили пристрій на горизонтальній поверхні. Підключили кабель живлення 220 В. До штуцера ЗЛИВ приєднали трубку для скидання конденсату. До штуцера ВХІД приєднали через коротку трубку з ПВХ бензиновий фільтр, до нього приєднали пробовідбірний шланг із газозабірним зондом. До гнізда на задній панелі підключили кабель з датчиком тахометра, датчик приєднали до високовольтного дроту 1 свічки. Встановили пробозабірник приладу у вихлопну трубу автомобіля на глибину не менше 300 мм від зрізу (до упору) та зафіксували його затискачем. Здійснили налаштування нулів усіх каналів натисканням кнопки ►0◄.

Забезпечили надходження чистого повітря, не забрудненого викидами CO_2 , CO , CH . Газоаналізатор готовий до роботи.

Автоматичне підстроювання нуля проводиться через 30 хв час підстроювання - 30 с. У процесі вимірювання (при натиснутій кнопці Насос (Вихід)) автопідстроювання не відбувається.

Показання фіксували через 40...60 с після початку вимірювання.

2.1.3 Методика стендових досліджень бензинового двигуна при роботі з типовою та біметалізованою гільзою циліндрів

Стендові дослідження бензинового двигуна за потужнісним, економічним та екологічним показниками проводилися за ДСТУ, при цьому визначали швидкісні характеристики, що встановлюють залежність показників двигуна від частоти обертання колінчастого валу та навантажувальні характеристики, що встановлюють залежність показників двигуна від його навантаження за постійної частоти обертання колінчастого валу.

Умови зняття швидкісної характеристики бензинового двигуна:

- основні регулювання двигуна нормативні (паспортні) відповідно до рекомендацій заводу-виробника;
- температурний режим двигуна нормальний (температура охолоджуючої рідини $t_{\text{ж}} = 75-85 \text{ }^\circ\text{C}$, моторного масла $t_{\text{м}} = 80-100 \text{ }^\circ\text{C}$);
- важіль управління дросельною заслінкою карбюратора встановлено на максимум подачі палива та закріплено;
- змінюється навантаження на гальмі та частота обертання колінчастого валу;
- оптимальний кут випередження для заданої частоти обертання колінчастого валу встановлюють у процесі випробувань дослідним шляхом, змінюючи положення диска переривника та спостерігаючи за показаннями тахометра.

Послідовність зняття швидкісної характеристики бензинового двигуна:

1) перший дослід проводять при мінімально стійкій частоті обертання колінчастого валу двигуна, яку задають збільшенням навантаження гальма. Вимірювання проводять після стабілізації мінімальної частоти обертання ($700 \dots 800 \text{ хв}^{-1}$). Під час дослідів вимірюють гальмівний момент, частоту обертання валу гальма, витрата палива за дослід, тривалість дослідів, витрата повітря і температуру рідини, що охолоджує, масла в картері і відпрацьованих газів.

2) у другому досліді навантаження гальма поступово зменшують і збільшують частоту обертання колінчастого валу двигуна на $100 \dots 200 \text{ хв}^{-1}$.

За потреби коригується оптимальний кут випередження запалення. Після досягнення стійкого швидкісного режиму виконують ті самі виміри, що й у першому досліді.

3) у третьому та подальших дослідів навантаження гальма зменшують, частоту обертання колінчастого валу двигуна збільшують. Інтервал зміни частоти обертання у кожному досліді приблизно однаковий. У зоні максимальних значень ефективної потужності інтервали швидкісних режимів між дослідів скорочують, що дозволяє чітко виділити екстремальні значення показників на швидкісній характеристиці.

4) останній дослід виконують при мінімальному навантаженні та частоті обертання колінчастого валу на $10 \dots 15\%$ більше, ніж номінальна. Після завершення останнього дослідів швидкісну характеристику знімають у зворотному порядку. У протоколі випробувань роблять позначки можливого детонаційного згоряння палива відповідних швидкісних режимах.

Умови зняття навантажувальної (дросельної) характеристики бензинового двигуна:

- основні регулювання двигуна нормативні (паспортні) відповідно до рекомендацій заводу-виробника;

- температурний режим двигуна нормальний (температура охолоджуючої рідини $t_{\text{ж}} = 75-85 \text{ }^\circ\text{C}$, моторної олії $t_{\text{м}} = 80-100 \text{ }^\circ\text{C}$)

- важіль управління дросельною заслінкою карбюратора встановлений на найбільше прикриття дросельної заслінки та закріплений;

- постійною залишається частота обертання колінчастого валу при різних ступенях відкриття дросельної заслінки;

- для виявлення моменту та характеру включення економайзера в роботу, а також годинної витрати палива, що відповідає найменшій питомій витраті палива, більшу кількість дослідів проводять у зоні дії економайзера.

Послідовність зняття навантажувальної характеристики бензинового двигуна:

1) перший дослід проводять при найбільшому прикритті дросельної заслінки, що забезпечує стійку роботу двигуна в режимі холостого ходу на заданій частоті обертання колінчастого валу. Через 2...3 хв після того, як стабілізується швидкісний режим, знімають показання та заносять у журнал випробувань наступні показники: навантаження на гальмі, частоту обертання валу гальма, витрата палива, витрата повітря, температуру масла, охолоджуючої рідини, відпрацьованих газів, кут випередження запалення, ступінь відкриття дросельної заслінки, час тривалості дослідів.

2) у другому досліді дросельну заслінку дещо відкривають і збільшенням навантаження гальма відновлюють задану частоту обертання.

Виконують ті самі виміри, що й у першому досліді.

3) третій і наступний дослідів проводять аналогічним чином, збільшуючи кожен раз на однакову величину ступінь відкриття дросельної заслінки та підтримуючи регулюванням навантаження гальма постійну частоту обертання.

4) останній дослід проводять при повністю відкритій дросельній заслінці. Для підвищення достовірності результатів випробувань навантажувальну характеристику карбюраторного двигуна знімають ще раз у зворотному порядку, прикриваючи дросельну заслінку в кожному наступному досліді приблизно на ту саму величину.

2.1.4 Обробка результатів стендових досліджень

Крутний момент двигуна M_K , розраховуємо за формулою:

$$M_K = P_{\text{ПВП}} I, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ПВП}}$ – показання вимірювального пристрою гальма, Н;

I – плече вагового пристрою гальма, м.

Ефективну потужність двигуна N_e , розраховували за формулою:

$$N_e = \frac{M_K n}{9550}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

де n – частота обертання колінчастого валу, хв^{-1} .

Витрата рідкого палива G_T кг/год визначали ваговим способом та розраховували за формулою:

$$G_T = \frac{3,6G}{\tau}, \quad (2.3)$$

де G – маса дози палива, витрачена за час виміру, г;

τ – тривалість вимірювання витрати палива, с.

Питома витрата палива g_e , г/(кВт·год) розраховуємо за такою формулою:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} 10^3, \quad (2.4)$$

де N_e – потужність, визначена при випробуваннях, кВт.

Визначення витрати повітря Q_B , $\text{м}^3/\text{год}$, розраховували за формулою:

$$Q_B = 3600 \frac{\Delta V_B}{\tau_B}, \quad (2.5)$$

де ΔV_B – вимірюваний об'єм повітря, м^3 ;

τ_B – тривалість виміру витрати повітря, с.

2.2 Методика експлуатаційних досліджень автомобілів, оснащених двигунами з типовими та біметалізованими гільзами циліндрів

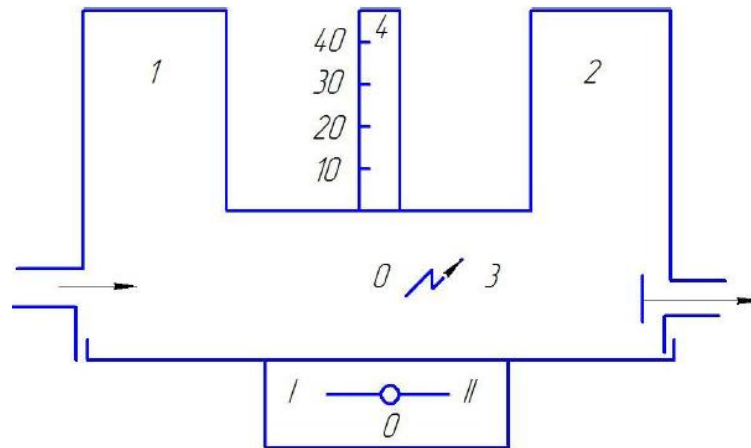
Для оцінки техніко-експлуатаційних показників двигуна УМЗ-417 (знос гільз циліндрів, витрата палива, компресія в циліндрах двигуна) на експлуатаційні випробування були направлені два капітально відремонтовані бензинові двигуни. На першому двигуні УМЗ-417 були встановлені гільзи

циліндрів оброблені під номінальний розмір згідно з технологією, що передбачає біметалізацію поверхні тертя. На другому двигуні було встановлено типові гільзи номінального розміру. Перед установкою на автомобіль двигуни проходили технологічну обкатку на режимах згідно з технічними вимогами на капітальний ремонт. Автомобілі використовувалися на різних сільськогосподарських та транспортних роботах за умов рядової експлуатації в Житомирській області.

Для визначення зносу гільз циліндрів виконувався їх мікрометраж за стандартною методикою нутроміром по індикатору з цифровим пристроєм ІЧЦ 12,5 і ціною поділу 0,001 мм. Вимірювання проводили з інтервалом пробігу через кожні 3200 км, що відповідає ТО-1. Інтервал вимірів вибирався відповідно до умов експлуатації автомобілів в Житомирській області (II категорія доріг), та відповідної їй періодичності обслуговувань.

Перевірку компресії (тиску) в циліндрах в кінці такту стиснення проводили компресиметром G-324. Перед вимірюванням регулювали тепловий зазор в клапанах. Компресію в циліндрах заміряли на прогрітому до 70...85° С двигуном при повністю відкритій дросельній заслінці карбюратора і вивернутих свічках, карбюратор при цьому повинен бути без палива. Гумовий наконечник компресометра вставляли в отвір свічки першого циліндра, забезпечуючи ущільнення кромки отвору, і колінчастий вал двигуна прокручували стартером доти, поки тиск в циліндрі не переставав збільшуватися (але не більше 10 ... 15 с). Акумуляторна батарея була справною та повністю зарядженою.

Вимір витрати палива проводили за допомогою приладу з мірним сосудом. При перетині межі мірної ділянки живлення двигуна перемикали з паливного бака на прилад і одночасно включали секундомір контролю дійсної швидкості автомобіля. Перед початком виміру та після зупинки автомобіля записували положення рівнів палива по мірній лінійці приладу та обчислювали обсяг витраченого палива, схема підключення приладу для виміру палива показана на рис. 2.11.



напрямок руху палива з бака →;

напрямок руху палива з мірного пристрою |→.

Рис. 2.11. Схема підключення приладу для вимірювання витрати пального

Контрольну витрату палива автомобіля визначали на четвертій передачі, при різних швидкісних режимах з інтервалом 10 км/год, починаючи з 50 км/год і закінчуючи на швидкості 100 км/год. Заїзди проводили на мірній ділянці завдовжки 1 км у двох протилежних напрямках. Необхідну швидкість у заїзді встановлювали та підтримували обережним впливом на педаль подачі палива. У кожному досліді вимірювали час проходження мірної ділянки та кількість витраченого палива.

Висновки по розділу

1. Розроблено загальну програму досліджень, яка включає лабораторні дослідження дослідних зразків, прискорені лабораторні випробування біметалізованих міддю гільз циліндрів на інтенсивність зношування по висоті, стендові дослідження бензинового двигуна УМЗ-417 та експлуатаційні дослідження автомобіля для порівняльної оцінки роботи бензинового двигуна у штатній комплектації (циліндрів) та в експериментальній комплектації (біметалізовані міддю гільзи циліндрів).

2. Лабораторні дослідження проводилися для оптимізації кута нахилу мідної вставки дослідних зразків та визначення елементного складу поверхні

тертя. При цьому використовували машину тертя СМТ-1, аналітичні ваги WA-31, бездифракційний аналізатор рентгенівський спектральний БАРС-3, профілометр ПРОФІ-130.

3. Для дослідження протизносних та антифрикційних властивостей матеріалів поперечних шарів, робочої поверхні тертя гільзи циліндрів було розроблено лабораторну установку для проведення прискорених лабораторних випробувань на інтенсивність зношування гільз циліндрів за висотою.

4. Порівняльні стендові дослідження бензинового двигуна в штатній комплектації та оснащеного біметалізованими міддю гільзами циліндрів проводилися на гальмівному стенді KI-5543 зі штатними контрольно-вимірювальними приладами, а також скомплектованого вимірювально-реєструючого комплексу, до складу якого входили вимірювачі температури (тестер-мультиметр М 890 С) навколишнього повітря, вихлопних газів та експлуатаційних матеріалів (охолодної рідини, моторного масла в головній масляній магістралі) за допомогою термопар типу ТХК, витратомір палива, датчики (ВМТ, позначок зубів маховика, тиску, масової витрати повітря, розрядження, температури охолоджуючої рідини та масла), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) ЛА-1,5РСІ, персональний комп'ютер на базі Pentium-III з монітором «SAMSUNG», стабілізуючий блок живлення, газоаналізатор Інфракар М1-01.

5. Порівняльні експлуатаційні дослідження автомобіля УАЗ 3303 проводилися для визначення техніко-експлуатаційних показників при роботі автомобіля з двигуном у штатній (типові гільзи циліндрів) та експериментальній (біметалізовані гільзи циліндрів) комплектації.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

БІМЕТАЛІЗОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

3.1 Результати порівняльних стендових досліджень двигуна УМЗ-417 у штатній комплектації та оснащеного біметалізованими гільзами

Аналіз стендових досліджень показує, що використання біметалізованих гільз циліндрів дозволить покращити потужнісні, паливно-економічні та екологічні показники, а також збільшити ресурс роботи двигуна за рахунок створення у тілі гільзи поперечних шарів із міді.

На рис. 3.1 представлена індикаторна діаграма двигуна, оснащеного типовими та біметалізованими гільзами при частоті обертання колінчастого валу $n = 800 \text{ хв}^{-1}$.

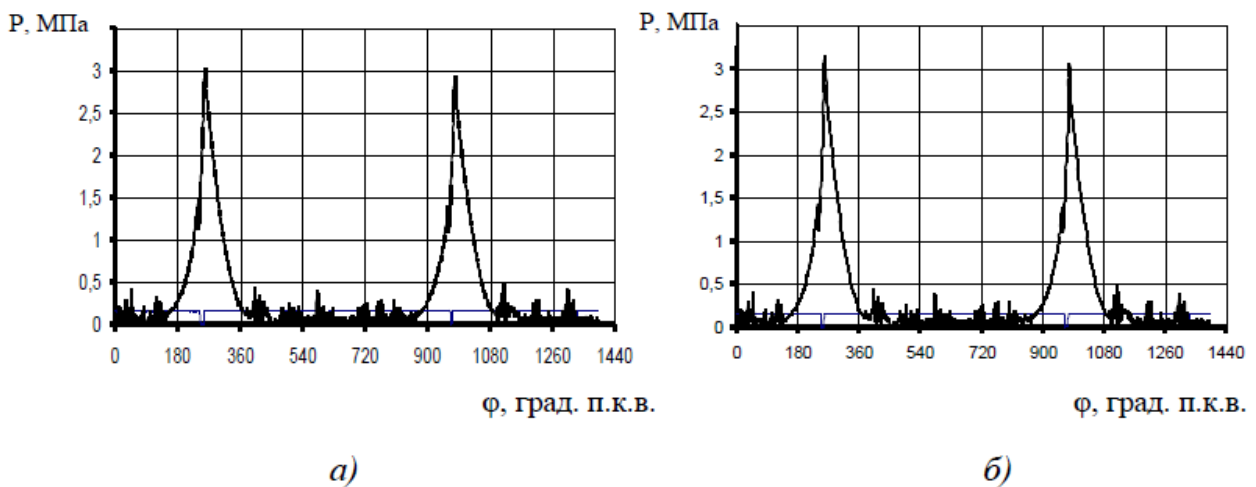


Рис. 3.1. Індикаторні діаграми двигуна, оснащеного типовими (а) та біметалізованими (б) гільзами.

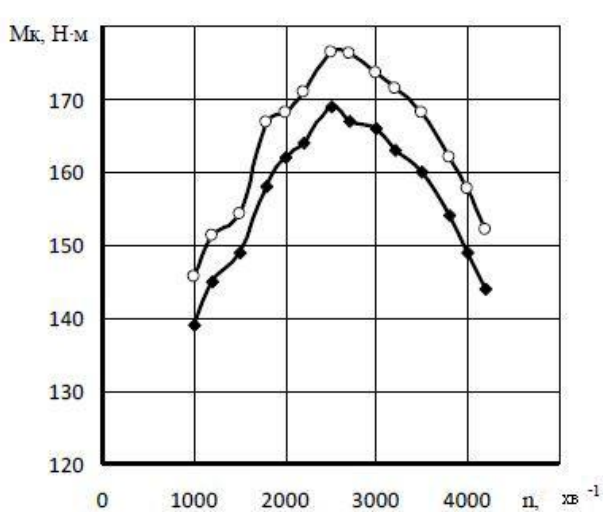
Аналогічні індикаторні діаграми знімалися при частоті обертання від 800 до 4200 хв^{-1} з інтервалом 200 хв^{-1} .

Аналіз діаграм показує, що з двигуна, оснащеного біметалізованими гільзами, максимальний тиск газів наприкінці згоряння на 2...5 % вище, ніж у двигуна, оснащеного типовими гільзами.

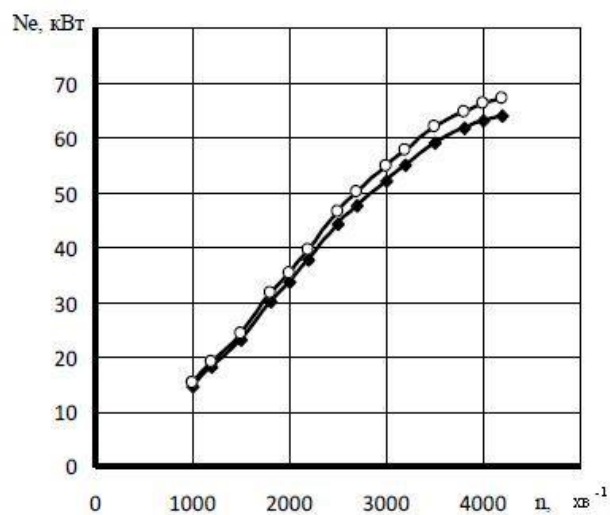
За отриманими даними були побудовані швидкісні (рис. 3.2) та навантажувальні (рис. 3.3) характеристики двигунів, оснащених типовими та біметалізованими гільзами циліндрів.

Аналіз швидкісних характеристик показує, що спостерігається зростання ефективної потужності двигуна (N_e), оснащеного біметалізованими гільзами у всьому діапазоні швидкісного режиму. Так, при частоті обертання колінчастого валу 4200 хв^{-1} потужність $N_e = 67,2 \text{ кВт}$, тоді як у двигуна, оснащеного типовими гільзами, $N_e = 64 \text{ кВт}$. Максимальний крутний момент (M_k) при частоті обертання 2500 хв^{-1} склав $176,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ у двигуна з біметалізованими гільзами і $169 \text{ Н}\cdot\text{м}$ у двигуна з типовими гільзами. Питома ефективна витрата палива (g_e) на номінальних оборотах 4200 хв^{-1} у двигуна з біметалізованими гільзами знизилася на $6,8 \%$ і склала $303,3 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$, тоді як у двигуна з типовими гільзами він дорівнює $321 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$, годинна витрата палива (G_T), склала відповідно $20,4 \text{ кг/год}$ і $20,8 \text{ кг/год}$.

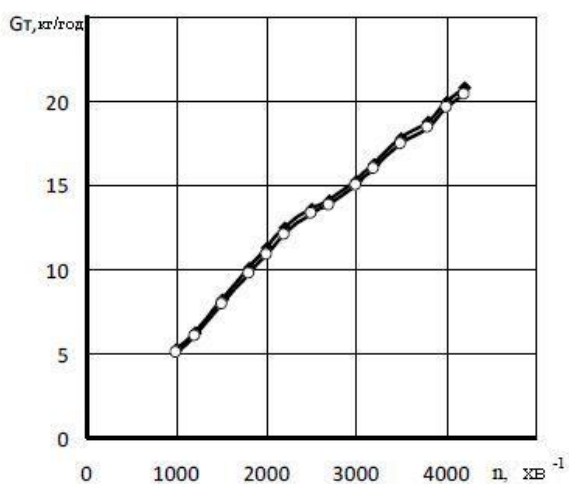
Показники навантажувальної характеристики двигуна визначали при частоті обертання колінчастого валу 2500 хв^{-1} , так як ця частота відповідає максимальному моменту, що крутить, за зовнішньою швидкісною характеристикою і рекомендована заводом-виробником при знятті контрольних точок (рис. 3.3).



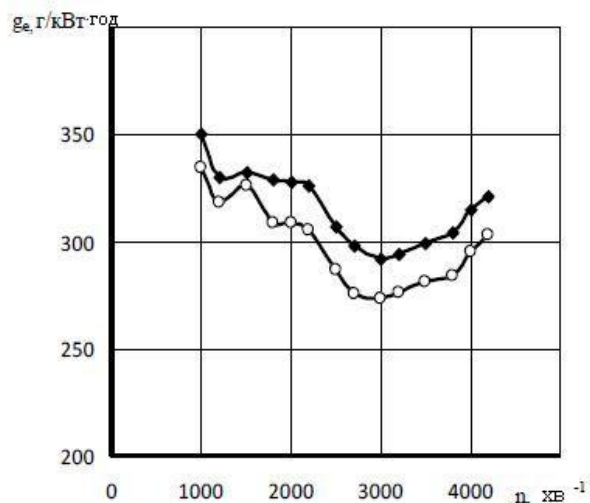
а) крутний момент (M_k)



б) ефективна потужність (N_e)



г) питома ефективна витрата палива (g_e)



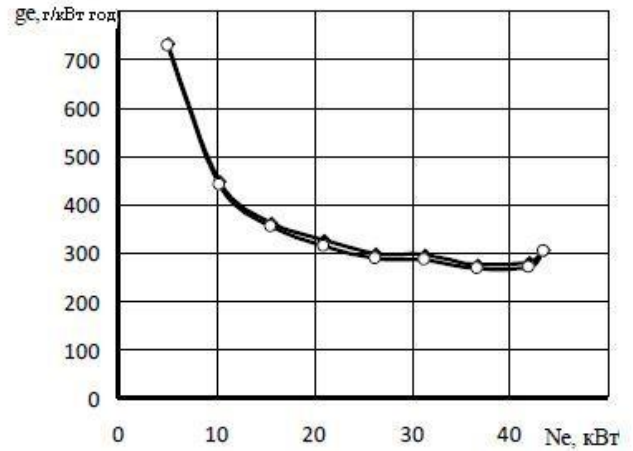
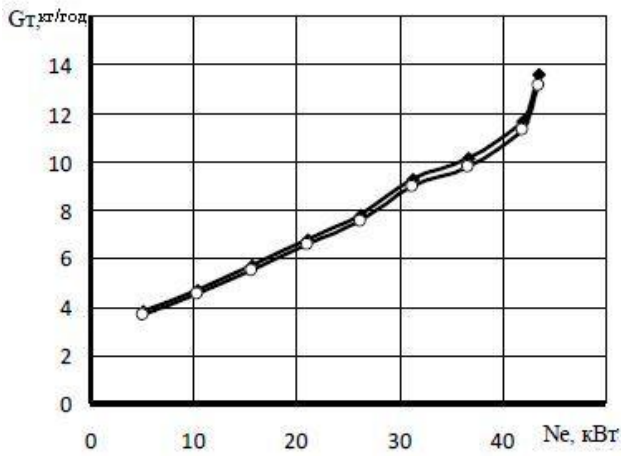
з) годинна витрата палива (G_T)

◆ – типова гільза; ○ – біметалізована гільза.

Рис. 3.2. Швидкісна характеристика двигуна, оснащеного типовими та біметалізованими гільзами.

Аналіз навантажувальних характеристик показує, що годинна витрата палива на режимі малих навантажень у двигуна з біметалізованими гільзами склала 3,7 кг/год при мінімальній потужності 5 кВт і оборотах 2500 хв⁻¹, проти 3,8 кг/год у двигуна з типовими гільзами. Питома ефективна витрата на тому ж режимі склала відповідно 729 і 735 г/кВт·год. Спостерігається і різний вміст оксиду вуглецю (СО) та вуглеводнів (СН) у відпрацьованих газах. У двигуна,

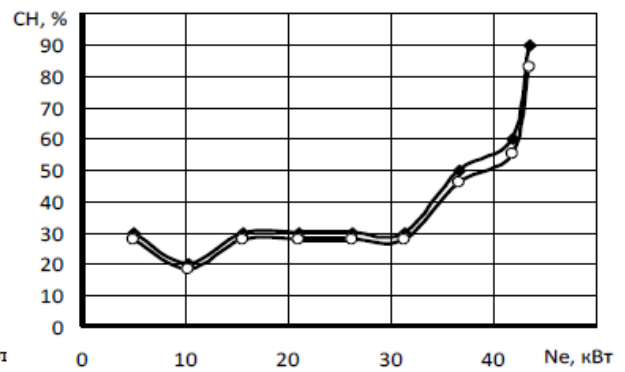
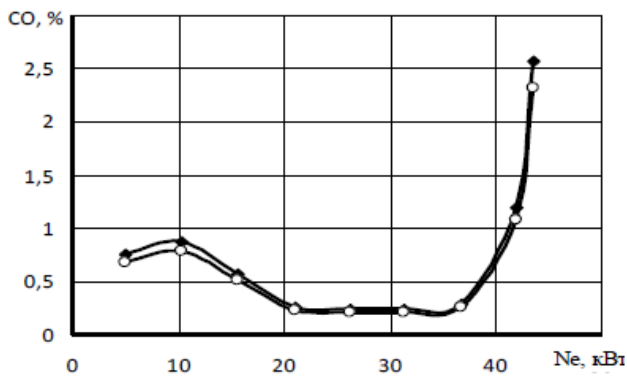
оснащеного біметалізованими гільзами, порівняно з типовими зниження CO складо в середньому 10%, а CH – 8%.



а) годинна витрата палива (G_T)

б) питома ефективна витрата палива

(g_e)



в) оксид вуглецю (CO)

г) вуглеводень (CH)

♦ – типова гільза;

о – біметалізована гільза.

Рис. 3.3. Навантажувальна характеристика двигуна, оснащеного типовими та біметалізованими гільзами

З проведених досліджень можна зробити такі висновки. Використання біметалізованих гільз циліндрів дозволяє підвищити ефективну потужність двигуна в режимі на номінальній частоті обертання колінчастого валу на 4,8 %, максимальний крутний момент на 4,1 %, зменшити в середньому годинну і питому ефективну витрати пального відповідно на 2,6 % і 5,6 %, знизити вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю та вуглеводнів відповідно на 10 % та 8 % порівняно з роботою двигуна, оснащеного штатними гільзами циліндрів.

Після проведення стендових досліджень ступінь зносу гільз циліндрів визначали лінійним та ваговим методом.

Середні значення зносу за висотою гільз циліндрів представлені рис. 3.4.

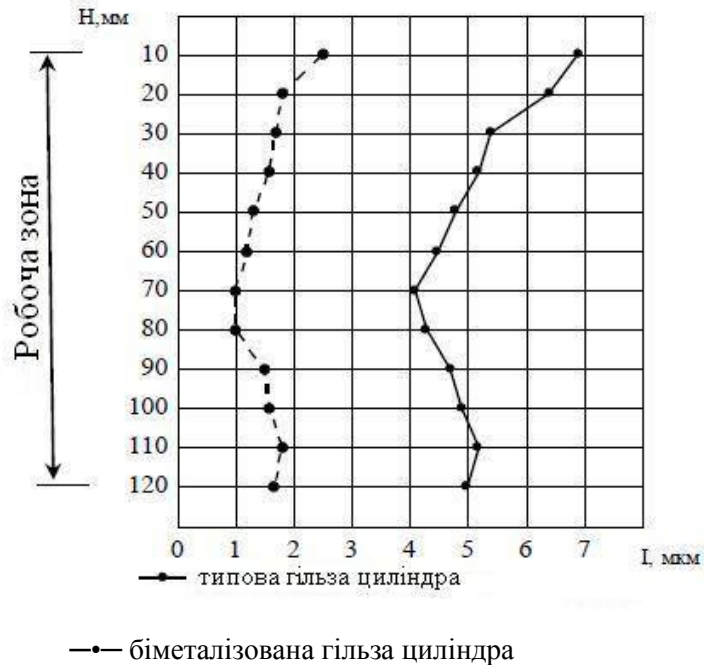


Рис. 3.4. Зношування (I) по висоті гільзи циліндрів (H)

Встановлено, що середнє максимальне зношування I типових гільз циліндра склало у верхній та нижній мертвих точках відповідно 6,9 мкм та 5,2 мкм, відповідних 10 мм від верхнього та 50 мм – від нижнього торця гільзи (рис. 3.4). Найменший знос склав 4,1 мкм на відстані 70 мм від верхнього торця гільзи, у верхній і нижній мертвих точках знос склав відповідно 2,5 мкм і 1,8 мкм, а в середній частині гільзи не перевищив 1,2 мкм.

За отриманими даними побудовані гістограми результатів зважування типових та біметалізованих гільз циліндрів (рис. 3.5).

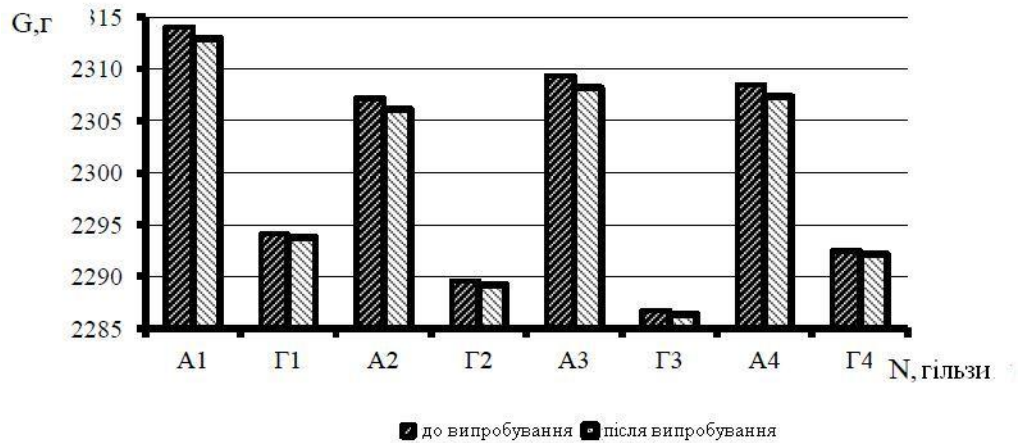


Рис. 3.5. Результати зважування (G) гільз циліндрів: А 1,2,3,4 типові гільзи; Г 1,2,3,4 біметалізовані гільзи

У ваговому відношенні середнє зношування типових гільз становило 1,12 г, а з біметалізованою поверхнею тертя 0,33 г, тобто в 3,4 рази менше (рис. 3.6).

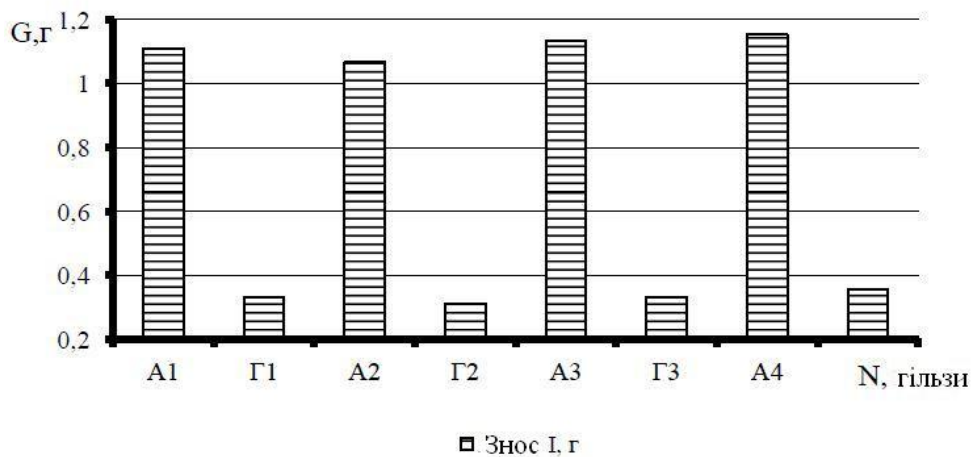


Рис. 3.6. Середнє зношування (I) гільз циліндрів: А 1,2,3,4 типові гільзи; Г 1,2,3,4 біметалізовані гільзи

Зменшення зносу біметалізованої гільзи циліндра обумовлено утворенням на поверхні тертя антифрикційної плівки та зниженням коефіцієнта тертя.

3.2 Результати експлуатаційних досліджень автомобілів УАЗ-3303, оснащених двигунами в штатній та експериментальній комплектації

Експлуатаційні дослідження проводили на двох автомобілях УАЗ-3303 випуску 2007 р. з пробігом 130 ... 150 тис. км в умовах рядової експлуатації в

господарстві Житомирської області, згідно з відомою методикою. На автомобілях були встановлені капітально відремонтовані двигуни УМЗ-417 у штатній (типові гільзи циліндрів) та експериментальній (біметалізовані гільзи циліндрів) комплектації. Спостереження за експлуатацією автомобілів та збирання інформації про їх напрацювання та технічний стан проводили безпосередньо в господарстві, де вони експлуатувалися. Інформацію про напрацювання автомобілів брали у бухгалтерії, про технічний стан – у водіїв та механіків господарства. Середній пробіг автомобілів під час досліджень становив 19200 км. За час проведення експлуатаційних досліджень відмов циліндро-поршневої групи не спостерігалось.

Проведені дослідження зношування гільз циліндрів двигунів УМЗ-417 в умовах рядової експлуатації показали наступні результати (рис. 3.7).

У автомобілів з типовими гільзами циліндрів спостерігалось інтенсивне зношування гільз до 9600 км пробігу, і становив 44 мкм. При подальшому пробігу зношування збільшилося незначно і склало при пробігу 12800 км в середньому 47 мкм по циліндрах двигунів. У автомобілів, оснащених двигунами з біметалізованими гільзами циліндрів, до 6400 км пробігу спостерігалось інтенсивне зношування до 15 мкм.

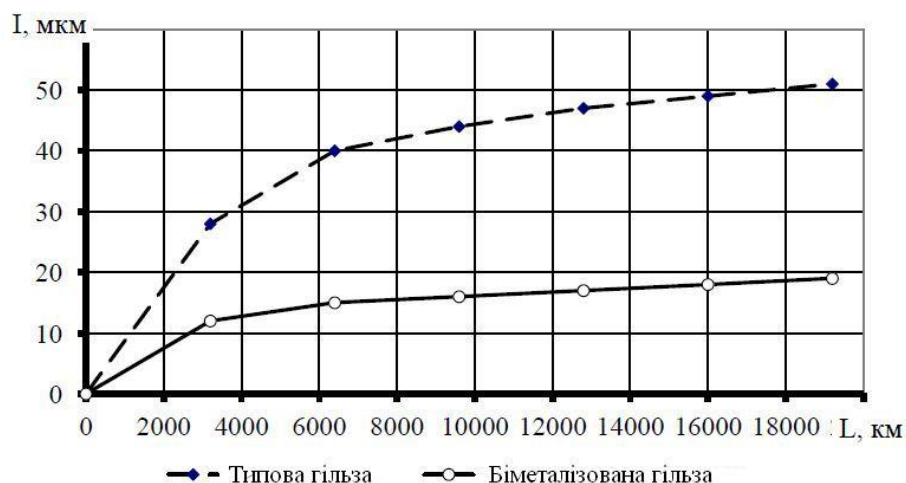


Рис. 3.7. Середнє зношування (I) гільз циліндрів від пробігу автомобілів (L)

При подальшому пробігу спостерігалось незначне збільшення зносу, що склало в середньому при 9600 – 16 мкм та 12800 – 17 мкм. Збільшення зносу в перші 6400 км пробігу пов'язане з приробітком третьових пар ЦПГ.

Стабілізування процесу зношування у біметалізованих гільз циліндрів при подальшій експлуатації, пов'язане з утворенням на поверхнях тертя антифрикційного, зносостійкого поверхневого шару та його відновлення у процесі тертя.

При подальшому пробігу, що становить 19200 км, знос типових гільз збільшився до 51 мкм, а біметалізованих до 19 мкм.

Мікрометраж гільз циліндрів показує, що зношування біметалізованих гільз циліндрів на 32 мкм менше, ніж у типових гільз.

Таким чином, експлуатаційні дослідження підтверджують теоретичні розрахунки та результати лабораторних досліджень зносостійкості гільз циліндрів з біметалізованою поверхнею тертя про зниження зносу гільз циліндрів двигунів, укомплектованих біметалізованими гільзами зі вставками міді в 2,7 разів порівняно з серійними гільзами циліндрів двигунів.

Мінімальна витрата палива автомобіля УАЗ-3303 з двигуном УМЗ-417, оснащеного типовими гільзами циліндрів, склала 15,7 л на 100 км пробігу, при швидкості 80 км/год, а у автомобіля, оснащеного двигуном з біметалізованими міддю гільзами зменшився на 4% і становив 15,1 л на 100 км пробігу за тієї ж швидкості (рис. 3.8).

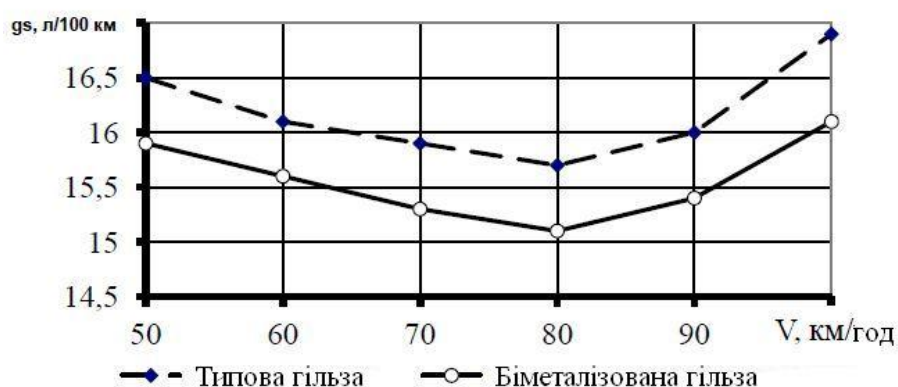


Рис. 3.8. Середня витрата палива (g_s) від швидкості (V) автомобілів

Тиск газів наприкінці такту стиснення по циліндрах двигунів вимірюється перед мікрометражем гільз циліндрів.

Зміна тиску в камері згоряння (компресії) з циліндрів досліджуваних двигунів показали наступні результати (рис. 3.9).

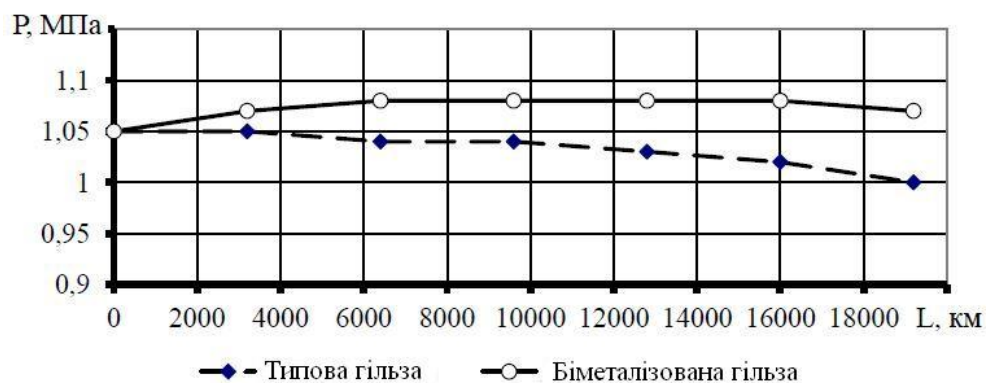


Рис. 3.9. Зміна тиску в кінці такту стиснення (P) у циліндрах двигуна від пробігу (L) автомобілів

Середнє значення тиску газів в кінці такту стиснення по циліндрах двигунів перед початком досліджень становило 1,05 МПа, як у двигунів у штатній (типові гільзи), так і в експериментальній (біметалізовані гільзи циліндрів) комплектації.

Висновки по розділу

Компресія в циліндрах двигунів з типовими гільзами почала знижуватися після пробігу 3200 км і становить 1,0 МПа при пробігу автомобіля 19200 км.

Зміна динаміки тиску в камерах згоряння двигуна оснащеного біметалізованими гільзами циліндрів, пояснюється наступним: при пробігу 3200-6400 км здійснювався процес припрацювання деталей циліндропоршневої групи, одночасно утворювалася антифрикційна плівка на робочій поверхні гільз металів вставок (міддю), що сприяло заповненню мікронерівностей на поверхні гільз, що труться, більш щільному приляганню поршневих кілець і, як наслідок, підвищенню тиску в кінці такту стиснення до 1,08 МПа. Надалі зі збільшенням

зносу робочої поверхні біметалізованої гільзи циліндрів спостерігалось незначне зниження тиску до 1,07 МПа, що відповідає пробігу 19200 км.

До кінця пробігу, 19200 км, тиск у камерах згоряння (наприкінці такту стиснення) двигунів з типовими гільзами становило 1,0 МПа, а біметалізованих – 1,07 МПа, тобто на 6,5 % вище.

ВИСНОВКИ

1. За результатами лабораторних досліджень можна зробити такі висновки:

- дослідні зразки з кутами нахилу вставки міді в інтервалі 15° ... 20° забезпечили зниження зносу в середньому 2,7 рази, інтенсивності зношування на 48...83%, моменту тертя на 14,7% порівняно з суцільним зразком;

- дані рентгенівського спектрального аналізу поверхонь тертя біметалізованих зразків свідчать про наявність поверхні, що труться міді;

- спостерігається зменшення шорсткості у біметалізованих зразків на 12,5% порівняно із суцільним.

2. На підставі проведених прискорених лабораторних випробувань гільз циліндрів на зносостійкість можна зробити висновок, що біметалізація гільзи циліндра вставками міді дозволяє знизити інтенсивність зношування гільзи циліндра в мертвих точках в 3 рази, а в середній частині - в 4 рази порівняно з типовою гільзою.

3. Результатами порівняльних стендових досліджень двигуна УМЗ-417 встановлено, що середнє зношування біметалізованих міддю гільз циліндрів менше в 3,4 рази порівняно з типовими. Використання біметалізованих гільз циліндрів дозволяє підвищити ефективну потужність на 4,8 %, зменшити годину та питому витрати пального відповідно на 4,8 % та 9,1 %, а також знизити вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю на 10 % та вуглеводнів на 8 % в порівнянні з двигуном зі штатними гільзами.

4. Результати порівняльних експлуатаційних досліджень автомобілів УАЗ-3303, укомплектованих двигуном з біметалізованими гільзами циліндрів показують, що знижується лінійне зношування робочої поверхні тертя гільз циліндрів у 2,7 рази; зменшується середня витрата палива на 4% і збільшується тиск газів у камері згоряння наприкінці такту стиснення на 6,5% порівняно з двигуном, укомплектованим штатними гільзами циліндрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Молодан А.О. Визначення потужності та роботи двигуна в процесі розгону колісної машини. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (технічні науки)*. 2019 С. 127-134.

2. Полянский А.С. Выбор диагностических параметров оценки технического состояния колесных машин. Збірник тез доповідей науково-практичної конференції *«Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення сил охорони правопорядку»*: 27 жовтня 2016 р. Харків: Національна академія національної гвардії України, 2016. С. 65-67.

3. Молодан А.О. Освоєння технічних дисциплін студентами за допомогою ІТ-технологій. Матеріали науково-методичних конференцій: *«Особливості викладання фахових дисциплін технічних спеціальностей – виклики часу та перспективи»*, 21 березня 2017 р. Харків: Харківський національний автомобільнодорожній університет, 2017. С. 45.

4. Молодан А.О. Ефективність нейронно-мережових моделей в системах діагностики технічного стану двигунів на основі функціональної адаптації *«Забезпечення функціональної стабільності автомобілів та тракторів»*: Матеріали всеукраїнського науково-практичного семінару. 22 травня 2019 р. Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2019. С. 78-81.

5. Молодан А.О. Контроль і діагностика технічного стану двигунів на основі інтелектуального аналізу даних. *«Забезпечення функціональної стабільності автомобілів та тракторів»*: Матеріали всеукраїнського науково-практичного семінару, 22 травня 2019 р. Харків: Харківський національний автомобільнодорожній університет, 2019. С. 94-98.

6. Дикевич А. В. Параметрические показатели, обеспечивающие функциональную стабильность систем автомобиля. *Альтернативные источники*

энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2015. С. 112-124.

7. Севрюгина Н. С. Информативность параметрического диагностирования в оценке энергетического равновесия элементной базы автомобильного транспорта. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. С. 234-239.

8. Комаров В. В. Оценка соответствия качества автомобилей. Москва : НПСТ «Трансконсалтинг», 2003. 345 с.

9. Гащук, П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля. Львов: СВІТ, 1992. 247 с.

10. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. Москва : Транспорт. 1990. 187 с.

11. Козлов А.В. Современные требования к уровню энергетической эффективности транспортных средств. *Журнал автомобильных инженеров.* 2014. С. 24-31.

12. Абрамов Д.В. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів: монографія. Харків : ХНАДУ. 2014. 267 с.

13. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Навчальний посібник. Харків : ХНАДУ. 2003. 189 с.

14. Абрамов Д.В. Оцінювання енергетичної економічності автомобілів за показниками питомого споживання енергії при його русі. Новітні технології – для захисту повітряного простору. Тези доповідей тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Коржедуба 12–13 квітня 2017 року. 2017. С. 62.

15. Тесля В.О. Підвищення безпеки використання автомобілів шляхом удосконалення методів оцінювання динамічних і енергетичних характеристик: Дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук: спец. 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». Харків, 2015. 289 с.