

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Вінницький навчально-науковий інститут економіки
Кафедра економіки, обліку та оподаткування

Мазур В.А.

**Дослідження методів діагностування двигунів внутрішнього
згоряння за параметрами перехідних характеристик**

**Further investigation of methods for diagnosing internal combustion
engines based on the parameters of transient characteristics**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи

АТмвн-21

Кваліфікаційна робота

Допущено до захисту

_____ 2024 р.

Завідувач кафедри

_____ В.М.Пилявець

Вінниця 2024

АНОТАЦІЯ

Мазур В.А. Дослідження методів діагностування двигунів внутрішнього згоряння за параметрами перехідних характеристик. - Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», освітньо-професійна програма. - Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі дано визначення поняття діагностування несправностей систем двигуна, досліджено методи діагностування двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), запропоновано методи вдосконалення діагностування двигунів внутрішнього згоряння.

ANNOTATION

Mazur V.A. Further investigation of methods for diagnosing internal combustion engines based on the parameters of transient characteristics. - Manuscript.

Continuing to obtain the master's degree in specialty 274 "Automotive transport", educational and professional program. - Western Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work has given an important understanding of diagnosing malfunctions of engine systems, explored methods for diagnosing internal combustion engines (IHF), and established methods for thoroughly diagnosing internal combustion engines.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ (ДВЗ).....	7
1.1 Основні поняття діагностування бензинових ДВЗ з електронною системою управління.....	7
1.2 Діагностування несправностей двигуна за зовнішніми ознаками	11
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ ОБГРУНТУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ	21
2.1 Обґрунтування діагностичного параметра для визначення технічного стану ДВЗ	21
2.2 Діагностування несправностей систем двигуна за складом відпрацьованих газів.....	26
РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	36
3.1 Діагностування двигуна бортовою системою самоконтролю	36
3.2.Результати моторних випробувань при спільному впливі факторів	41
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Актуальність теми досліджень обумовлена широким використанням автомобілів малої і середньої вантажопідйомності в технологічних процесах для перевезення різноманітних вантажів, а також як машин технічної допомоги.

Виробники автомобілів пропонують програми, спрямовані на забезпечення сільськогосподарських організацій, лісопереробних підприємств, фермерських господарств, кооперативів та індивідуальних підприємців, які працюють у сільській місцевості.

Ефективність використання автомобіля значною мірою залежить від працездатності двигуна, який є одним із найбільш складних і дорогих компонентів у виробництві, ремонті та технічному обслуговуванні. Циліндропоршнева група (ЦПГ) двигуна визначає близько 80% ресурсу до першого ремонту. Техніко-економічна ефективність двигуна оцінюється за показниками зміни ефективної потужності, крутного моменту, коефіцієнта корисної дії (ККД), а також за рівнем витрати палива, обсягом шкідливих викидів тощо.

Для забезпечення довготривалого збереження досягнутих показників економічності двигуна під час експлуатації необхідно регулярно контролювати його технічний стан. На сьогоднішній день інтенсивно розвиваються методи та засоби безрозбірної оцінки технічного стану, як для діагностики окремих агрегатів, так і для комплексної оцінки стану машини в цілому.

Дослідженням удосконалення та підвищення ефективності методів і засобів динамічного діагностування технічного стану двигунів займалися багато відомих учених, серед яких В. В. Альт, А. Г. Арженовський, В. Н. Башмакова, Д. М. Воронін, А. В. Гриценко, А. С. Гребенников, І. П. Добролюбов, А. А. Долгушин, Н. С. Жданівський, А. Т. Клейн, В. І. Кочергін.

Їхні дослідження були спрямовані на оцінку таких параметрів, як ефективна потужність, максимальний крутний момент, коефіцієнт пристосовності, початок дії регулятора, щільність контуру горіння, нерівномірність роботи циліндрів, витрата палива, кут початку подачі палива.

У якості діагностичних параметрів часто використовували усереднені значення прискорення вільного розгону і вибігу. Аналіз робіт у цій галузі показав, що більшість досліджень зосереджено на дизельних двигунах внутрішнього згоряння. Через специфіку роботи карбюраторних двигунів можливості динамічного методу залишалися обмеженими. Наприклад, А. Т. Клейн розробив статико-динамічний метод контролю, який базується на вільному розгоні та вибігу при періодичному відключенні й включенні запалювання. Цей метод дозволяє працювати двигуну у вузькому інтервалі обертів в зоні номінальної частоти обертання колінчастого вала при фіксованому положенні дросельної заслінки.

Попри досягнення в цій галузі, на сьогодні недостатньо досліджень, спрямованих на вдосконалення динамічного методу оперативного контролю технічного стану циліндропоршневої групи і системи живлення бензинових двигунів з електронною системою управління.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління шляхом удосконалення динамічного методу діагностування.

Для досягнення мети визначено такі завдання: встановлення діагностичного параметра перехідної характеристики, який відображає зміну технічного стану бензинового двигуна з електронною системою управління; розробка способу та методики діагностування технічного стану бензинового двигуна за параметрами зміни характеристики вільного розгону-вибігу; проведення виробничої перевірки розробленого способу контролю технічного стану двигуна і оцінка його техніко-економічної ефективності.

Виконання поставленого завдання має важливе значення для створення методу контролю, який знижує трудомісткість і енерговитрати при діагностиці технічного стану двигуна внутрішнього згоряння.

Об'єкт дослідження: процес зміни технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління в умовах

експлуатації.

Предмет дослідження: закономірності зміни параметрів перехідної характеристики бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління залежно від технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) і системи живлення.

Наукова новизна роботи: встановлено діагностичний параметр перехідної характеристики, що відображає зміну технічного стану бензинового двигуна з електронною системою управління; визначено закономірності зміни параметрів перехідної характеристики вільного розгону-вибігу залежно від технічного стану ЦПГ і системи живлення бензинового двигуна; обґрунтовано мінімальну частоту обертання колінчастого вала, необхідну для переведення двигуна в режим розгону після вибігу; розроблено методику контролю технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління за параметрами перехідної характеристики вільного розгону-вибігу.

Практична значущість отриманих результатів полягає у розробці методики контролю технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) і системи живлення бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління. Методика базується на аналізі параметрів перехідної характеристики вільного розгону-вибігу, що забезпечує підвищення точності визначення технічного стану двигуна, зменшення трудомісткості процесу діагностування та скорочення загальних витрат на технічне обслуговування і ремонт в умовах експлуатації.

Розроблена методика може бути використана як на стаціонарних станціях і постах технічного обслуговування, так і для дистанційної діагностики двигунів у польових умовах. Результати теоретичних і експериментальних досліджень мають практичне значення для підприємств сільського господарства та інших галузей, які експлуатують транспортні засоби з бензиновими двигунами, оснащеними електронною системою управління.

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додаткі

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1 Основні поняття діагностування бензинових ДВЗ з електронною системою управління

В умовах експлуатації двигун здебільшого працює на несталих режимах, таких як пуск і прогрів, розгін і гальмування, різке навантаження, скидання навантаження та зупинка двигуна. Ці режими мають значний вплив на роботу двигуна: у міському русі вони складають 93-97% експлуатаційного часу, при русі по ґрунтових дорогах - 30-45%, а на заміських магістралях - 30-35%.

Використовувана потужність двигуна при цьому становить лише 13-78% від номінальної. Робота на таких режимах спричиняє зростання витрати палива на 5-7% та підвищує знос двигуна в середньому в 1,2-2 рази.

Параметри, які характеризують технічний стан двигуна, змінюються протягом його експлуатації через постійний знос рухомих сполучених деталей, таких як компоненти паливної апаратури, циліндропоршнева група (ЦПГ), газорозподільний механізм (ГРМ), а також через погіршення механічних властивостей пружних елементів, зокрема поршневих кілець і пружин.

За даними досліджень, загальна вага відмов і несправностей двигунів у структурі відмов автомобіля може сягати 35-55% залежно від моделі. Згідно з даними С.В. Клімова, двигун та електрообладнання займають перше місце за кількістю відмов серед систем і вузлів автомобіля.

За дослідженнями Е. С. Кузнєцова, відмови у системі управління бензинових двигунів внутрішнього згоряння розподіляються наступним чином: 35% припадає на окислення контактів і обрив проводів, 22% на паливний насос, 10% на регулятор холостого ходу, 9% на систему запалювання, 8% на електромагнітні форсунки, 7% на датчик кисню, 6% на датчики і реле, а 3% на електронний блок управління.

У роботі А. В. Гриценка наведено інший розподіл несправностей бензинових ДВЗ: 20% припадає на свічки запалювання, 17% на форсунки, 15% на датчик масової витрати повітря, 13% на регулятор холостого ходу, 9% на модуль запалювання, 7% на датчик кисню, 4% на датчик температури, 3% на регулятор тиску палива, а 2,5% на паливний насос.

У дослідженні Кіндєєва Е. А. визначено оптимальну періодичність діагностування основних елементів систем упорскування палива з електронним управлінням, яка відповідає другому технічному обслуговуванню. При цьому встановлено, що деякі елементи системи, такі як витратомір повітря, датчик частоти обертання колінчастого вала та датчики температури, мають періодичність діагностування понад 2 млн км пробігу і не потребують планових діагностичних робіт. Середній час безвідмовної роботи систем упорскування палива з електронним управлінням становить 30-35 тис. км пробігу.

Склад горючої суміші значно впливає на повноту згоряння палива і, відповідно, на темп зносу двигуна. Збагачення суміші спричиняє зростання зносу деталей двигуна через підвищення неповноти згоряння, розрідження масла паливом і змивання масляної плівки зі стінок циліндра. Якщо прийняти знос при роботі двигуна на найекономічнішому режимі за 100%, то при збагаченні суміші до рівня, що відповідає режиму максимальної потужності, знос деталей двигуна збільшується на 30-60% залежно від фракційного складу бензину.

Основними причинами збагачення суміші в двигунах із примусовим упорскуванням палива є негерметичність електромагнітних форсунок, несправність регулятора тиску палива, засмічення зливного трубопроводу, несправності датчиків системи управління та засмічення повітряного фільтра.

За даними Д. Д. Бабайкіна, у 40% двигунів із пробігом 15-30 тис. км зниження пропускної здатності електромагнітних форсунок становить 6%. Досвід експлуатації автомобілів із системою впорскування бензину без використання миючих присадок у паливі свідчить, що після 15 тис. км пробігу пропускна здатність інжекторів може зменшуватися на 5-15% [49].

У роботі [11] проведено порівняльні випробування двигуна ВАЗ 2111 з форсунками, що мають різний пробіг. Швидкісна характеристика знімалася в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1500 до 3500 об/хв. Форсунки з пробігом автомобіля 150 тис. км продемонстрували зниження ефективної потужності двигуна (N_e) на 3-9% і ефективного крутного моменту (M_e) на 4-6%. Питома витрата палива збільшилася на 2-6%, а викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах зросли: оксиду вуглецю (CO) на 15-25% і вуглеводнів (CH) на 15-45%.

Одним із ключових факторів, що впливає на довговічність деталей двигуна, є корозійний знос. На нього значно впливають такі чинники, як вміст неактивних сірчаних сполук і води в бензині, умови експлуатації, температура навколишнього середовища, ступінь завантаження двигуна, кваліфікація водія та своєчасність технічного обслуговування. За експериментальними даними, збільшення вмісту сірки в бензині з 0,05% до 0,10% спричиняє зростання зносу деталей двигуна у 1,5-2 рази.

Відповідно до технічних умов, у бензині не допускається наявність механічних домішок. Однак при транспортуванні та зберіганні паливо часто забруднюється пилом із навколишнього середовища. Механічні домішки присутні навіть у зовні чистому паливі, що разом зі смолистими та нагароутворюючими речовинами сприяє прискореному утворенню високотемпературних відкладень. Ці домішки потрапляють у зазори між поршневими кільцями та стінками циліндра, викликаючи їх підвищений знос.

Погіршення технічного стану деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ) спричиняє зниження індикаторної потужності, зростання механічних втрат, зменшення коефіцієнта надлишку повітря, збільшення витоків газу в картер і прискорене насичення масла продуктами розкладання та неповного згоряння палива. Граничний знос ЦПГ зменшує компресію на 20-25%, що у восьмициліндрових карбюраторних двигунах призводить до збільшення витрати палива на 10-12%, при пробігу 50 тис. км без проведення технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р), витрата палива може зрости на 10-20%.

ЦПГ визначає ресурс двигуна внутрішнього згоряння до першого ремонту на 80%. Потреба в технічній діагностиці ЦПГ зросла через поширення "безрозбірного відновлення" з'єднань ДВЗ.

За дослідженнями А.А. Гончарова, характеристики нових і бувших в експлуатації двигунів суттєво різняться: потужність (N_e) може зменшитися до 25%, питома витрата палива (g_e) зрости на 29%, а екологічність (Пекол СО) погіршитися на 63%.

Вплив стану газорозподільного механізму (ГРМ) на параметри двигуна вивчався Д.В. Федоровим. Його дані показують, що знос кулачків розподільного вала в межах допустимих величин знижує показники роботи ДВЗ на 3-15%, коефіцієнт наповнення циліндрів зменшується на 8% при низьких частотах обертання ($n = 1000-2000$ об/хв) і на 5% при номінальних частотах ($n = 2200-2500$ об/хв). При зносі кулачків на 0,7-1,2 мм ефективна потужність двигунів ЗМЗ зменшується на 5–9%, витрата палива збільшується, а екологічні показники погіршуються на 4%. [7].

Згідно з численними дослідженнями, довговічність як нового, так і капітально відремонтованого двигуна значною мірою залежить від технічного стану двох ключових з'єднань: «шийка колінчастого вала – вкладиш» і «поршневі кільця – гільза циліндра». Саме ці з'єднання найчастіше стають причинами капітального ремонту авто- і тракторних двигунів. Аналіз літературних джерел свідчить, що необхідність капітального ремонту зазвичай обумовлюється зносом циліндрів, а також потребою в заміні поршнів і поршневих кілець (іноді лише поршневих кілець). Паралельно з ремонтом циліндрів проводиться ремонт колінчастого вала і заміна інших деталей кривошипно-шатунного механізму. Ознаки необхідності ремонту двигуна включають збільшену витрату масла, димлення, що викликане проривом газів у картер, та інші симптоми.

За даними досліджень, кількість відмов двигуна після капітального ремонту зростає на 20-30%. Це підкреслює важливість якісного виконання ремонтних робіт і належного контролю стану двигуна в процесі експлуатації.

Система живлення двигуна відіграє значну роль у зносі циліндропоршневої групи, впливаючи на ефективність роботи двигуна і частоту необхідності діагностики.

Через випадковий характер виникнення відмов точно передбачити їх момент неможливо. Тому регулярний контроль технічного стану двигуна є доцільним. Періодична діагностика дозволяє вчасно визначити момент досягнення граничного стану деталей циліндропоршневої групи, після якого подальша експлуатація двигуна стає економічно невиправданою і має бути припинена.

1.2. Діагностування несправностей двигуна за зовнішніми ознаками

Системи діагностування, обслуговування та ремонту двигунів є постійним об'єктом уваги інженерних розробок і наукових досліджень. Як свідчить практика технічного обслуговування й ремонту автомобільних двигунів, методи технічної діагностики циліндропоршневої групи (ЦПГ) залишаються найбільш поширеними, доступними і надійними. Вони забезпечують загальну оцінку герметичності надпоршневого простору з вірогідністю до 50%, використовуючи такі засоби діагностування, як компресометр, компресограф та мотортестер.

Розроблений діагностичний стенд дозволяє проводити вимірювання тиску в циліндрі двигуна з частотою 3200 Гц при кожному градусі повороту колінчастого вала, забезпечуючи похибку, що не перевищує 1,67%.

Експериментальні дослідження показали, що темп наростання компресії в циліндрі залежить не лише від технічного стану ЦПГ, але й від початкового положення поршня та клапанів у момент старту. Для оцінки темпу наростання компресії в циліндрі запропоновано використовувати різницю між найбільшим за величиною сплеском компресії та другим за порядком. У справних циліндрах ця різниця не перевищує 0,25 МПа.

На основі вдосконаленого методу діагностування, який оцінює технічний стан циліндропоршневої групи (ЦПГ) та герметичність клапанів двигуна за

трьома діагностичними параметрами - різницею компресії між циліндрами, темпом наростання компресії та тиском картерних газів, - розроблено статистичну модель. Ця модель, на відміну від існуючих детермінованих підходів, має кілька переваг. Вона дозволяє локалізувати несправності ЦПГ та герметичності клапанів, формалізувати процес автоматизованої постановки технічного діагнозу, а також підвищити коефіцієнт безрозбірного діагностування на 25% у порівнянні з відомими аналогами.

Для оцінки якості діагностичних параметрів як випадкових величин стохастичного об'єкта, пропонуються наступні критерії: чутливість діагностичного параметра: оцінюється не через відносну зміну між граничним і номінальним значеннями, а через відносну зміну середньостатистичного значення випадкової величини в межах допустимих значень; стабільність діагностичного параметра: визначається умовою, за якої абсолютна величина допустимого відхилення від середньостатистичного значення не перевищує „трьох сигм”; інформативність діагностичного параметра: параметр вважається інформативним, якщо відношення різниці середньостатистичних значень випадкової величини параметра для справного та несправного стану об'єкта до різниці середньоквадратичних відхилень перевищує 1.

Таким чином, розроблена модель забезпечує точнішу діагностику, формалізує процес постановки технічного діагнозу, і значно покращує можливості автоматизованого контролю технічного стану двигуна.

Діагностика електронних систем автомобіля тісно пов'язана з поширенням транспортних засобів, оснащених електронними системами управління. Однак цей процес часто стикається з низкою проблем, оскільки виявлення несправностей двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) не завжди можливе з мінімальними витратами часу та ресурсів.

Складність діагностики значно ускладнюється через велику кількість модифікацій електронних блоків управління (ЕБУ), які використовуються навіть на одній моделі автомобіля. Це створює необхідність розробки нових засобів діагностики, адаптації діагностичних протоколів, роз'ємів, а також

розробки нових методів роботи з різними типами ЕБУ. Наприклад, для автомобілів марки ГАЗ створено широкий асортимент модифікацій ЕБУ, таких як Мікас 5.4, Мікас 7.2, Мікас 10.3, Мікас 11, Мікас 11ЕТ, Мікас 11СR, Мікас 12.3, МО 17.9.7, різновиди ЕБУ BOSCH тощо.

Аналіз концепцій удосконалення методів і засобів технічного діагностування основних систем ДВЗ свідчить, що сучасний рівень конструктивного розвитку систем двигунів суттєво випереджає розвиток засобів технічної діагностики. Це створює розрив між можливостями діагностичних засобів і вимогами до обслуговування сучасних автомобілів.

На основі літературних джерел можна виділити сучасні типи діагностики систем автомобіля: бортову, стаціонарну та дистанційну, кожна з яких має свої переваги та обмеження, залежно від конкретних умов і потреб.

Відповідно до нормативних вимог OBD II, мікропроцесорна система управління (МПСУ) повинна здійснювати діагностування не лише системи управління, а й роботи інших важливих систем двигуна. Дослідження, проведені за кордоном щодо причин забруднення навколишнього середовища автомобілями, показали, що підвищений рівень викидів шкідливих речовин найчастіше пов'язаний із несправністю двигунів внутрішнього згорання.

Для зменшення негативного впливу автомобілів на довкілля, поряд із посиленням вимог до токсичності вихлопних газів, передбачено обов'язковий контроль таких систем: системи подачі палива; діагностування пропусків запалювання в циліндрах; перевірка ефективності системи рециркуляції відпрацьованих газів; діагностування ефективності роботи нейтралізатора; перевірка системи уловлювання парів палива; контроль системи подачі вторинного повітря у випускну систему.

Діагностування може виконуватися як на непрацюючому двигуні, так і під час його нормальної роботи. Методи діагностування базуються на таких принципах: перевірка правильності роботи електричних ланцюгів; вимірювання характеристик сигналів у певних точках схеми під час заданих режимів роботи;

порівняння отриманих характеристик із нормативними значеннями; аналіз відгуків системи на подачу тестових сигналів.

Ці підходи забезпечують комплексну перевірку стану двигуна та його систем, сприяючи зниженню токсичності викидів і підвищенню ефективності роботи транспортного засобу [3].

Однією з особливостей бортового діагностування двигуна є прагнення максимально використовувати дані, отримані від датчиків системи управління. У разі необхідності введення нових датчиків вибір здійснюється на користь таких, які можуть одночасно вдосконалити роботу системи управління та діагностувати кілька можливих дефектів. Це спричиняє постійний пошук нових методів і засобів діагностування, а також розробку алгоритмів, які використовують нові діагностичні параметри.

Однією з ключових функцій блоку управління є діагностика всіх елементів системи управління. Для цього апаратна частина блоку оснащена спеціальними драйверами, які забезпечують визначення помилок у ланцюгах управління, передачу інформації про ці помилки керуючій програмі, а також захист внутрішніх елементів і ланцюгів блоку управління.

Стан двигуна впливає на низку технічних, економічних і екологічних показників автомобіля, включаючи якість їзди, відсутність ривків і провалів (особливо в режимах змінного навантаження), динамічні показники розгону та максимальну швидкість.

Основні ознаки необхідності діагностики двигуна включають: помітне зниження потужності; підвищену питому витрату палива; збільшення витрати масла; падіння тиску масла; високий вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах; поява сторонніх стуків і вібрацій; димлення (зміна кольору диму) і нерівномірну роботу двигуна.

Під час первинної діагностики двигуна рекомендовано перевірити рівень масла, його стан і систему вентиляції картера, оскільки ці параметри можуть мати значний вплив на загальний технічний стан двигуна

Своєчасне обслуговування системи змащування двигуна є критично важливим для його надійної роботи. Забруднене масло, несправна система вентиляції картера або димний двигун на автомобілях, оснащених каталітичним нейтралізатором, можуть призвести до швидкого виходу нейтралізатора з ладу. Крім цього, необхідно перевіряти рівень і стан охолоджувальної рідини, оскільки система охолодження також відіграє ключову роль у безвідмовній роботі двигуна.

Холодний або перегрітий двигун може спричинити передачу неправильних сигналів від датчика температури охолоджувальної рідини до електронного блоку управління (ЕБУ), що може призвести до порушення кута випередження запалювання та збоїв у подачі палива.

Рекомендовані перевірки включають: рівень і стан рідини в автоматичній коробці передач; стан акумуляторної батареї, її кріплення, рівень електроліту, а також стан клем і дротів; стан і натяг ремня приводу допоміжних агрегатів; стан свічок запалювання, їхній іскровий зазор, відповідність типу свічок двигуну; стан кришки розподільника запалювання, наявність тріщин або слідів пробою високою напругою, а також герметичність кришки; стан ротора розподільника запалювання та вимірювання його опору; перевірка кришки котушки запалювання на наявність тріщин або слідів пробою; стан електричних рознімів, перевірка на корозію та механічні пошкодження.

Ці дії дозволяють вчасно виявити несправності та підтримувати оптимальну роботу систем двигуна, що запобігає серйозним поломкам і знижує витрати на ремонт.

Для забезпечення надійної роботи двигуна необхідно перевірити, чи штирки рознімів повністю входять у свої гнізда і забезпечують надійний контакт. Слід оглянути вакуумні шланги, впускний колектор, повітроводи, ущільнення кришки клапанного механізму та датчик витрати повітря на відсутність витоків вакууму. Повітряний фільтр має бути чистим, і його потрібно замінити, якщо в ньому є навіть незначне забруднення. Випускна

система, починаючи від колектора і до вихлопної труби, повинна бути перевірена на наявність пошкоджень чи витоків.

Паливна система вимагає уваги до можливих витоків палива або зношених і потрісканих деталей. Якщо є газоаналізатор, можна перевірити його щупом уздовж паливопроводів і трубок з парами палива. Якщо газоаналізатор фіксує витoki, це вказує на несправність елемента, що пропускає пальне або його пари. Корпус дросельної заслінки слід оглянути на наявність нагару, який може перешкоджати повороту заслінки і викликати проблеми з холостим ходом або роботою двигуна під змінними навантаженнями. Для очищення нагару рекомендується використовувати спеціальну рідину для чищення карбюраторів.

Система живлення може проявляти несправності через порушення роботи дозувальних систем карбюратора, що призводить до формування занадто багатой або бідної паливної суміші. Це впливає на зниження потужності двигуна, перевитрату пального і збільшення токсичності відпрацьованих газів. Несправності карбюратора зазвичай помітні за погіршенням їздових характеристик, таких як затримка чи недостатнє прискорення при дії на педаль управління дросельною заслінкою. Своєчасне обслуговування системи живлення забезпечує ефективну роботу двигуна і запобігає цим проблемам.

Несправності, які можуть бути наслідком несправностей карбюратора, проявляються у відсутності очікуваної зміни швидкості руху автомобіля при зміні положення дросельної заслінки. Якщо прискорення не відбувається або переходить у уповільнення при відкритті дросельної заслінки, це може свідчити про провал, який триває від 0,5 до 5 секунд і більше. Ривок є короткочасним провалом (0,1–0,4 секунди), а посмикування являє собою серію послідовних коротких ривків. Розхитування – це серія провалів, що слідує один за одним, а млявий розгін характеризується низькою інтенсивністю набору швидкості.

Підвищена витрата палива часто виникає через зношення поршневих кілець, поршнів і циліндрів, несправності або неправильне регулювання систем живлення і запалювання, а також через смолисті відкладення в системі

живлення та нагар на деталях двигуна. Іншими причинами можуть бути порушення регулювання зазорів у газорозподільному механізмі.

Двигун може не запускатися у разі несправностей у системах живлення або запалювання. Свічки запалювання вважаються придатними для експлуатації, якщо при безперебійному іскроутворенні тиск відповідає таким значенням: для зазорів 0,5 мм – 0,7 МПа, 0,6 мм – 0,6 МПа, 0,8 мм – 0,45 МПа, 0,9 мм – 0,4 МПа.

Якщо двигун не розвиває повної потужності, це може свідчити про недостатню компресію в циліндрах, пошкодження систем живлення або запалювання, а також перегрівання чи переохолодження двигуна. Витоки повітря через клапани двигуна свідчать про їх несправність. Це можна визначити за допомогою фонендоскопа або спостерігаючи коливання пушинок в індикаторі, встановленому у свічкових отворах сусідніх циліндрів. Витоки через прокладку головки циліндрів виявляються за появою бульбашок повітря у горловині радіатора або в порожнині рознімача, а також у стику головки з циліндром, змоченому мильним розчином.

Рівень масла в картері двигуна повинен підтримуватися біля верхньої мітки показчика. Інтенсивність змін рівня масла залежить від технічного стану двигуна. Витрата масла не повинна перевищувати 3,5% від витраченого палива для карбюраторних двигунів і 5% для дизельних. При перевірці рівня масла важливо оцінювати його якість, звертаючи увагу на прозорість і відсутність крапель охолоджувальної рідини. Об'єктивну оцінку якості масла проводять методом спектрального аналізу, спалюючи пробу масла у високотемпературному полум'ї та реєструючи продукти спрацювання за допомогою спектрографа, після чого результати аналізують. Перевірка системи змащування включає тестування масляного фільтру тонкого очищення. Для справної центрифуги ротор при температурі масла не нижче 70 °С повинен обертатися не менше 35 секунд. Угар масла визначають за кількістю доливань під час експлуатації, що залежить від стану поршневих кілець, герметичності

клапанів і можливих витоків масла. Допустима норма угару масла становить не більше 4% від витрати палива.

Підвищений угар масла супроводжується помітним димленням на вихлопі, особливо при прогрітому двигуні. Однак оцінка угару масла має свої недоліки, оскільки його величина залежить не лише від зносу поршневих кілець, але й від зношення напрямних втулок клапанів і витоків через нещільності з'єднань. Ознакою необхідності перевірки або заміни поршневих кілець є витрата масла, яка перевищує 100 г на 100 км пробігу. Зазор у замку поршневих кілець не повинен перевищувати 0,75 мм, а перевірку виконують за допомогою набору щупів. Розбирання двигуна після 60 000 км пробігу обов'язково вимагає заміни поршневих кілець.

Під час діагностики огляд і тестування двигуна за допомогою пуску дозволяє візуально виявити підтікання масла, палива чи охолоджувальної рідини, оцінити легкість пуску, рівень димлення, прослухати роботу двигуна для виявлення сторонніх шумів чи стуків, а також оцінити рівномірність і стійкість його роботи. Ці процедури допомагають виявити очевидні несправності та визначити необхідність технічного обслуговування або ремонту перед поглибленою діагностикою.

Процес діагностування включає ознайомлення з обліковими даними, огляд і тестування пуском, визначення ефективної потужності двигуна, а також перевірку кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів. Якщо всі параметри знаходяться в межах допустимих значень, двигун придатний для подальшої експлуатації. У разі виявлення відхилень виконують поелементну діагностику для визначення конкретної несправності. За результатами діагностування здійснюють регулювальні, кріпильні чи ремонтні роботи, необхідні для відновлення роботи двигуна.

Облікові дані двигуна включають інформацію про пробіг автомобіля, ресурс роботи двигуна, проведені ремонти, показники паливної економічності та заявки водія про несправності. Перед проведенням діагностики двигуна необхідно відрегулювати його механізми і системи, оскільки навіть у

справного, але невідрегульованого двигуна потужність може знизитися на 20–30% від номінальної, тоді як у спрацьованого, але відрегульованого зниження потужності може становити лише 5-7%.

Перед пошуком причин і усуненням несправностей карбюратора слід переконатися, що проблеми пов'язані саме з карбюратором, а не із системою паливоподачі чи системою запалювання. Характерною ознакою сильного порушення дозування паливної суміші карбюратором є хлопки («стрільба»): у карбюратор при перезбідненій суміші та в глушник при перезбагаченій. Перегрів двигуна також може свідчити про роботу на перезбідненій суміші, тоді як темний колір відпрацьованих газів є ознакою значного перезбагачення.

Однією з поширених причин несправностей карбюратора є встановлення жиклерів із невідповідною пропускною здатністю. Причини перезбагачення паливної суміші можуть включати високий рівень палива в поплавковій камері, вивертання або випадання жиклерів, засмолення повітряних жиклерів, втрату герметичності клапаном економайзера, порушення регулювання його приводу, а також неповне відкриття повітряної заслінки. Правильне регулювання і своєчасне усунення таких несправностей сприяють стабільній роботі двигуна і зниженню витрат пального.

Перезбіднення паливної суміші може виникати як через зменшення подачі бензину, так і через підсмоктування повітря в місцях кріплення карбюратора або впускного трубопроводу до головки блока циліндрів. Воно також можливе через недостатню подачу бензину в карбюратор, пошкодження мембрани підкачувального насоса, нещільне прилягання його клапанів, слабе кріплення паливопроводів до штуцерів чи низький рівень бензину в поплавковій камері. Такі проблеми спричиняють «мляве» згоряння палива, що супроводжується зниженням потужності двигуна та його перегрівом.

У деяких випадках полум'я від паливної суміші, яка догоряє, може потрапляти через впускний клапан, що вже відкривається, у впускний колектор. Це може викликати хлопки або вибухоподібне згоряння, а в підкапотному просторі- пожежу.

Система живлення також може страждати від засмічення паливозабірника чи фільтра тонкого очищення паливного насоса. Такі несправності зазвичай порушують нормальну роботу двигуна і стають причиною «провалів», особливо за умов підвищеного навантаження. Водночас на малих навантаженнях або в режимі холостого ходу, коли споживання палива незначне, його може вистачати для нормальної роботи, навіть якщо подача пального порушена.

Ці проблеми вказують на необхідність своєчасної діагностики і технічного обслуговування системи живлення для запобігання серйозним несправностям і забезпечення стабільної роботи двигуна.

Під час перевірки системи живлення важливо насамперед переконатися у відсутності витoku палива через з'єднання та в справності бензонасоса, оскільки ці несправності можуть стати причиною пожежі. Перевірку бензонасоса починають безпосередньо на двигуні, а за потреби його знімають для подальшої діагностики.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДУМОВ ОБГРУНТУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ

2.1 Обґрунтування діагностичного параметра для визначення технічного стану ДВЗ

Діагностичний параметр є ключовим індикатором технічного стану двигуна внутрішнього згоряння, який відображає функціональний стан його вузлів, агрегатів і систем. Основою вибору діагностичного параметра є аналіз фізичних процесів, що впливають на роботу двигуна, і їх залежності від зношення або несправностей компонентів.

Компресія в циліндрах є одним із найінформативніших параметрів, оскільки вона характеризує герметичність циліндропоршневої групи, стан клапанів і прокладки головки блока циліндрів. Зниження компресії може вказувати на зношення поршневих кілець, клапанів або порушення герметичності. Темп наростання компресії, як динамічний параметр, дозволяє оцінити не тільки герметичність, але й вплив зношення деталей на ефективність двигуна.

Тиск картерних газів є ще одним важливим параметром, який вказує на прорив газів через зношені поршневі кільця. Високий тиск свідчить про втрату герметичності і можливе зношення стінок циліндра. Аналіз витрати палива та складу відпрацьованих газів дозволяє визначити ефективність роботи систем живлення і запалювання, а також ступінь неповного згоряння паливної суміші. Витрата палива зростає при несправності дозувальних систем, зношенні поршневих кілець і несправності клапанів.

Динамічні характеристики роботи двигуна, такі як ривки, провали і нерівномірність, також можуть бути діагностичними показниками, що вказують на несправності в системах запалювання, живлення або дозування паливної суміші. Склад відпрацьованих газів є важливим індикатором, який дозволяє

виявити неповне згоряння палива, порушення у дозуванні суміші та несправності системи запалювання.

Таким чином, обґрунтування діагностичного параметра базується на його здатності інформативно відображати стан компонентів двигуна. Компресія в циліндрах є універсальним і ефективним параметром, оскільки залежить від більшості ключових елементів ДВЗ і може бути легко виміряна за допомогою стандартних методів, забезпечуючи високу точність діагностики.

Режим вільного розгону представляє окремий випадок, що характеризується відсутністю зовнішніх опорів і навантаження на вихідному валу двигуна. На підставі цього:

$$M_i - M_t - M_\varepsilon = 0 \quad (2.2)$$

або

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_i - M_t, \quad (2.3)$$

де J - приведений до осі колінчастого вала момент інерції всіх рухомих елементів двигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$;

$d\omega/dt$ - кутове прискорення колінчастого вала, рад/с^2 .

Оскільки момент інерції залишається майже незмінним для конкретного типу двигуна, оцінку його ефективної потужності можна звести до вимірювання прискорення обертання колінчастого вала при його номінальній частоті. Це означає, що надлишок індикаторного моменту $M_i - M_t$ спрямовується на збільшення кінетичної енергії рухомих мас двигуна M_ε .

Аналіз рівнянь динаміки двигуна показує, що зміни у величині та характері індикаторного моменту призводять до змін у прискоренні під час вільного розгону. Оскільки індикаторний момент і момент механічних втрат визначаються технічним станом двигуна, ці характеристики можуть бути використані для діагностики.

Дослідження, виявили, що найбільший вплив на динамічні швидкісні характеристики двигуна мають такі параметри: циклова подача палива, яка

впливає на енергію згоряння; кут випередження впорскування, який забезпечує ефективність роботи; а також герметичність циліндропоршневої групи (ЦПГ). Крім того, на характеристики вибігу впливають герметичність ЦПГ і взаємодія клапанів у фазах газорозподілу, що позначається на тиску стиснення [16].

На підставі цього прискорення можна представити наступною функцією:

$$\varepsilon(\omega) = f(x_1; x_2 \dots x_k; x_1 x_2; x_1 x_3; \dots x_k x_i) \quad (2.4)$$

де $\varepsilon(\omega)$ - залежність кутового прискорення колінчастого вала від кутової швидкості;

x_1 - кількість палива, що подається в циліндри двигуна;

x_2 - нещільність циліндропоршневої групи;

x_3 - кут випередження запалювання.

Використання прискорення вільного розгону як діагностичного параметра має певні труднощі, зокрема через необхідність чисельного диференціювання функції зміни кутової швидкості обертання колінчастого вала.

Час робочого циклу двигуна відображає характер процесів, що відбуваються в його циліндрах [35]. Зі збільшенням потужності та крутного моменту двигуна зменшується час, необхідний для розгону від мінімальних до максимальних обертів. При цьому відомо, що час вільного розгону значно коротший порівняно з часом вільного вибігу.

При вільному розгоні-вибігу час циклу $t_{\text{ц}}$, визначається як сума часу розгону і швидкодії (рисунок 2.1):

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_{\text{в}} = \frac{\Delta\omega}{\varepsilon_p} + \frac{\Delta\omega}{\varepsilon_{\text{в}}} = \Delta\omega \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_{\text{в}}}{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_{\text{в}}} \quad (2.5)$$

де t_p - час розгону, с;

$t_{\text{в}}$ - час вибігу, с;

$\Delta\omega$ - зміна частоти обертання колінчастого вала, об/хв;

ε_p - прискорення вільного розгону, рад/с²;

$\varepsilon_{\text{в}}$ - прискорення вільного вибігу, рад/с².

ДВЗ позначимо час циклу $t_{ц}$ як $t_{ц0}$, при несправному стані $t_{ц0\alpha}$, і $t_{ц0\beta}$ тоді :

$$t_{ц0} = \Delta\omega \frac{\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}}{\varepsilon_{p_0} \cdot \varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.6)$$

де "0" - індекс нормального стану.

$$t_{ц\alpha} = \Delta\omega \frac{\alpha\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}}{\alpha\varepsilon_{p_0} \cdot \varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.7)$$

$$t_{ц\beta} = \Delta\omega \frac{\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}}{\beta\varepsilon_{p_0} \cdot \varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.8)$$

де " α " - індекс значення відхилення осі нормального стану по ε_p ;

" β " - індекс значення відхилення осі нормального стану по $\varepsilon_{\varepsilon}$.

Позначимо відношення часу циклу нормального стану $t_{ц0}$ до часу циклу при зміненому стані $t_{ц\alpha}$ як $Kt_{ц}$ тоді:

$$Kt_{ц} = \frac{t_{ц0}}{t_{ц\alpha}} = \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_{\varepsilon}}{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_{\varepsilon}} \cdot \frac{\alpha\varepsilon_{p_0} \cdot \varepsilon_{\varepsilon_0}}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{\alpha(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.9)$$

Аналіз виразу (2.9) показує, що при значеннях $1 < \alpha < 1$ змінюється значення часу $Kt_{ц}$, тобто відображає зміну технічного стану ДВЗ. Аналогічно можна зробити висновок, що при зміні $1 < \beta < 1$, $Kt_{ц}$ також є діагностичним параметром.

При зміні одночасно $\alpha \neq 1$ і $\beta \neq 1$ вираз (2.9) набуде вигляду:

$$Kt_{ц} = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.10)$$

Розглянемо можливі поєднання " α " і " β ":

1. $\beta < 1$ практично виключає стан $\alpha = 1$, таке можливо при зношеній циліндропоршневій групі (ЦПГ) або прогарі днища поршня. Згідно з даними [5] β може приймати крайні значення від 0,7 до 0,75. Відповідно, при зношеній ЦПГ і справній паливній системі, двигун не зможе розвивати задану потужність, і значення α буде знаходитися в діапазоні від 1,1 до 1,2.

2. $\beta > 1$, $\alpha > 1$, при дотриманні технології варіант $\beta > 1$ виключає проведення контролю. Такий варіант можливий у разі заклинювання двигуна.

3. $\beta = 1$, $1 < \alpha < 1$, такий варіант можливий при справній механічній частині двигуна, але з несправною системою живлення (завищена або занижена топлівоподача). Значення α буде знаходитися в діапазоні від 0,95 до 1,8. Розрахунок значення Kt_u виконували за виразом 2.9. Перший варіант:

$$Kt_u = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{1,2 \cdot 0,7(558 + 123)}{1,2 \cdot 558 + 0,7 \cdot 123} = 0,85$$

Прискорення розгону двигуна ЗМЗ 4062.10 в діапазоні частоти обертання від 1000 до 5000 об/хв, розраховувалося за відомим залежностям 2.11-2.12:

$$\varepsilon_p = \frac{C}{J}(a + bc_n) \left[\frac{z\eta_m - z_\varepsilon}{z(1 - \eta_m)} \right] \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_\varepsilon = \frac{C}{J}(a + bc_n) \left[\frac{z_\varepsilon - z\eta_m}{z(1 - \eta_m)} \right] \quad (2.12)$$

$$C = \frac{716,2V_h z}{225\tau};$$

де

J - приведений момент інерції двигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$;

z - число циліндрів двигуна;

V_h - робочий об'єм циліндра, м^3 ;

τ - тактність двигуна;

η_m - механічний ККД;

a, b - постійні коефіцієнти, що залежать від типу двигуна;

c_n - середня швидкість поршня, м/с .

Розрахункове прискорення розгону 558 рад/с^2 , прискорення вибігу 123 рад/с^2 .

За другим варіантом:

$$Kt_u = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{1,8 \cdot (558 + 123)}{1,8 \cdot 558 + 1 \cdot 123} = 1,09$$

За розрахунковими даними видно, що значення Kt_u змінюються при зміні технічного стану, проте встановити взаємозв'язок між діагностичним параметром і технічним станом ЦПГ і системи живлення, можливо тільки експериментальним способом.

2.2. Діагностування несправностей систем двигуна за складом відпрацьованих газів

Повністю справний автомобіль витрачає менше палива та має менший негативний вплив на довкілля. На рівень токсичності відпрацьованих газів (ВГ) значно впливають стан систем живлення, запалювання та їхнє регулювання. Для дизельних двигунів основними токсичними компонентами ВГ є оксиди азоту та сажа, тоді як для бензинових двигунів це оксид вуглецю та оксиди азоту. Загалом токсичність ВГ дизельних двигунів є нижчою, ніж бензинових, за винятком викидів сажі та оксидів азоту.

Токсичність ВГ залежить від режиму роботи автомобіля, конструктивних і експлуатаційних чинників, а також технічного стану двигуна й автомобіля загалом. Навіть у разі відмінного технічного стану та правильно налаштованих механізмів і систем двигуна, кількість токсичних речовин у ВГ може досягати значних значень.

У сталому русі автомобіля спостерігається найменший рівень забруднення повітря, проте саме в цьому режимі, при постійному навантаженні двигуна, відбувається значне утворення оксидів азоту. Їхній обсяг може зрости у 30–35 разів порівняно з режимом холостого ходу.

Гальмування двигуном спричиняє зростання вмісту альдегідів у ВГ у 10 разів, що також підвищує рівень токсичності. Таким чином, дотримання оптимальних режимів роботи та своєчасне технічне обслуговування є важливими факторами для зниження шкідливого впливу автомобіля на довкілля.

Для визначення токсичності відпрацьованих газів (ВГ) застосовуються газоаналізатори для бензинових двигунів і димоміри для дизельних. Газоаналізатори можуть бути як автономними, так і вбудованими в мотортестери. Серед них виділяють інфрачервоні та каталітичні. Інфрачервоні аналізатори працюють на принципі поглинання газовими компонентами інфрачервоних променів певної довжини хвилі. Каталітичні аналізатори

засновані на допалюванні оксиду вуглецю (CO), що викликає підвищення температури, яке фіксується електричним мостом.

Газоаналізатори класифікуються за кількістю компонентів, які вони аналізують, наприклад, три- або п'ятикомпонентні. Вони вимірюють вміст CO, CH, CO₂, O₂, NO_x та можуть автоматично розраховувати коефіцієнт λ (лямбда), що показує відхилення складу паливно-повітряної суміші від стехіометричного.

Дослідження складу ВГ дозволяє діагностувати технічний стан двигуна і виявляти несправності в системах живлення та запалювання.

Сучасні п'ятикомпонентні тестери відрізняються високою точністю вимірювань відповідно до стандартів OIML, здатністю порівнювати результати з еталонними значеннями, довговічністю з мінімальною потребою в калібруванні, інтеграцією функції бортової діагностики (OBD) і простотою у використанні. Вони оснащуються датчиками для контролю параметрів роботи двигуна, наприклад, частоти обертання колінчастого вала, напруги лямбда-зонда і моменту запалювання, а також можуть бути дооснащені для вимірювання оксидів азоту (NO) та підключення до мережі AWM. Ці прилади забезпечують всебічний аналіз токсичності ВГ і дозволяють створювати повнокомплектні станції контролю як для бензинових, так і для дизельних двигунів.

Прилади для вимірювання складу відпрацьованих газів (ВГ) використовуються як у дорожніх умовах для перевірки дотримання граничних значень токсичних викидів, так і на станціях автосервісу для оптимального регулювання систем впуску та впорскування палива і діагностики двигуна. Вони забезпечують контроль токсичності вихлопу бензинових автомобілів як без каталітичного нейтралізатора, так і з нейтралізатором без зворотного зв'язку.

Перевірка вихлопу бензинового автомобіля включає кілька етапів: прогрівання двигуна до робочої температури та підключення газоаналізатора до вихлопної труби, встановлення режиму холостого ходу та вимірювання вмісту CO (%) і рівня HC, якщо значення CO або HC перевищують допустимі межі,

автомобіль не проходить перевірку. При цьому слід орієнтуватися не лише на встановлені норми, але й на рівні, які характерні для даного автомобіля, порівняння отриманих результатів із допустимими значеннями, аналіз результатів вимірювань: підвищений вміст СО і НС вказує на багату суміш, низький СО і підвищений НС свідчать про забруднені свічки, збої запалювання або бідну суміш, низький рівень СО і НС може бути ознакою забруднення форсунок або витоків у випускній системі.

Такий підхід дозволяє виявляти та усувати несправності систем живлення і запалювання, забезпечуючи оптимальні характеристики роботи двигуна

Перевірка вихлопу бензинового автомобіля, оснащеного каталітичним нейтралізатором, передбачає дотримання послідовності дій для оцінки рівня токсичності відпрацьованих газів. Спочатку двигун прогрівають до робочої температури, після чого до вихлопної труби підключають газоаналізатор.

Двигун розкручують до 2500-3000 об/хв на 3 хвилини для прогрівання кисневого датчика та каталізатора, а потім переводять у режим холостого ходу для вимірювання вмісту СО. Якщо рівень СО перевищує допустимі межі, автомобіль вважається таким, що не пройшов перевірку. Після цього процедуру прогрівання датчика та каталізатора повторюють, і рівень СО вимірюють повторно. Якщо результат знову не відповідає нормативам, перевірку вважають невдалою.

Під час перевірки на прискореному режимі холостого ходу вимірюють рівень НС. Перевищення допустимих меж НС також означає, що автомобіль не пройшов перевірку. Крім того, аналізується склад робочої суміші на прискореному режимі. Якщо співвідношення повітря до палива виходить за межі, встановлені виробником, або перевищує значення 1,03, перевірка вважається невдалою.

Діагностика автомобіля з каталітичним нейтралізатором і кисневим датчиком у системі зворотного зв'язку є складнішою порівняно з автомобілями без каталізатора, оскільки кисневий датчик у поєднанні з електронним блоком управління регулює склад паливно-повітряної суміші. За відсутності збоїв у

роботі двигуна діагностичний процес є досить зрозумілим і дозволяє оцінити ефективність роботи каталізатора та дотримання екологічних норм.

При наявності несправностей, пов'язаних зі згорянням палива, несправними датчиками, витоками вакууму або вихлопних газів, а також порушеннями в системі запалювання чи механічними проблемами, кисневий датчик намагатиметься компенсувати ці несправності. Це може спричинити помилки у визначенні складу робочої суміші. Тому витоки вихлопних газів, несправності в механічній частині двигуна та системі запалювання слід усунути перед корекцією складу суміші.

Перед заміною каталітичного нейтралізатора необхідно переконатися, що усунуті всі механічні несправності, а також несправності систем запалювання і подачі палива, щоб уникнути передчасного виходу з ладу нового каталізатора. Важливо також переконатися, що пальне для двигуна не містить свинцю, оскільки автомобілі з каталітичними нейтралізаторами повинні працювати виключно на пальному без свинцю. У паливній горловині таких автомобілів встановлений фільтр, який запобігає заправці паливом зі свинцем.

Причини порушення складу вихлопних газів можуть бути різноманітними. Для повного аналізу необхідно підключити до кисневого датчика вольтметр або осцилоскоп. Після цього двигун розкручують до 2500-3000 об/хв на 3 хвилини для прогрівання кисневого датчика та каталізатора. Потім встановлюють прискорену частоту обертів на холостому ходу і проводять запис даних: склад робочої суміші, верхню і нижню напругу перемикачів кисневого датчика, вміст CO, HC, O₂ та CO₂ у вихлопних газах. Отримані дані дозволяють точно визначити джерело проблеми та виконати необхідні корекції чи ремонт.

Несправність каталітичного нейтралізатора можна визначити за такими ознаками: перевищення рівня CO або HC порівняно з допустимими межами, встановленими виробником; відношення повітря до пального перевищує встановлені межі або становить більше 0,97; вміст O₂ у вихлопних газах

перебуває в межах 0,5-1,5%; кисневий датчик перемикається із заданою частотою.

Якщо під час випробувань каталітичний нейтралізатор загорівся всередині, це є ймовірною ознакою його несправності. Для підтвердження цього діагнозу необхідно провести додаткові вимірювання. Наприклад, якщо у вихлопній системі передбачене вікно для відбирання газів перед каталізатором, слід виміряти вміст CO і HC у цій точці та на кінці вихлопної труби. Якщо показники в обох точках однакові, це свідчить про те, що каталізатор більше не виконує функцію нейтралізації шкідливих газів.

Впровадження систем бортової діагностики (OBD) забезпечує постійний моніторинг усіх елементів і систем, які впливають на зниження токсичності ВГ. Періодична перевірка токсичності ВГ (AU) дає змогу оцінити, чи система OBD працює належним чином і відповідає встановленим вимогам протягом усього терміну служби автомобіля. Це гарантує контроль над дотриманням екологічних норм та ефективною роботою систем нейтралізації шкідливих викидів.

Процес перевірки автомобіля, оснащеного системою бортової діагностики (OBD), включає кілька етапів. Спочатку вводяться ідентифікаційні дані автомобіля, такі як номерний знак, виготовлювач, показання лічильника пробігу тощо. Параметри випробувань для конкретного автомобіля завантажуються з бази даних (подібна база існує, наприклад, у Німеччині) або вводяться вручну.

Далі здійснюється візуальний контроль системи випуску для перевірки наявності всіх необхідних елементів, їх стану, пошкоджень і герметичності. Контролюється робота лампи-індикатора несправностей при ввімкненому запалюванні та працюючому двигуні. Зчитування статусу цієї лампи здійснюється через інтерфейс OBD, а також оцінюються коди, що зберігаються в пам'яті пристрою управління. Якщо автомобіль не проходить перевірку на токсичність ВГ, у пам'ять несправностей записується відповідний код.

У разі, якщо не виконані один або кілька тестів готовності до випробування, додатково перевіряється напруга лямбда-зонда. Вимірюються напруга двоточкового зонда, а також напруга, струм або концентрація кисню у ширококутовому зонді. Якщо отримані дані виходять за межі встановленого діапазону, вважається, що автомобіль не пройшов випробування. Така процедура забезпечує точний контроль стану системи нейтралізації ВГ та дотримання екологічних норм.

При діагностуванні паливної апаратури за параметрами відпрацьованих газів необхідно враховувати, що їх хімічний склад, температура і колір залежать від повноти згоряння палива. Ці показники визначаються як справністю систем повітропостачання і газообміну, так і технічним станом циліндропоршневої групи. Через це параметри відпрацьованих газів дозволяють лише непрямо оцінити роботу паливної апаратури.

Вуглеводні (СН) є залишками незгорілого палива. У нормальних умовах роботи двигуна в циліндрах спалюється практично все пальне, і допустимий рівень СН у відпрацьованих газах не повинен перевищувати 50 р.р.м. Підвищений вміст СН може бути викликаний збільшеним споживанням масла через зношені ущільнювальні кільця поршнів, але частіше це пов'язано з несправностями в системі запалювання. У таких випадках слід перевірити свічки запалювання, високовольтні проводи, кришку і ротор розподільника (за наявності), синхронізацію запалювання та котушки запалювання.

Оксид вуглецю (СО) є нестійкою хімічною сполукою, яка легко вступає в реакцію з киснем, утворюючи двооксид вуглецю (СО₂). СО - це токсичний газ без кольору, смаку та запаху, що при вдиханні блокує надходження кисню до мозку людини. Для сучасних автомобілів із системою впорскування палива вміст СО у вихлопних газах не повинен перевищувати 0,5%.

Основні причини підвищеного вмісту СО включають несправності у системі вентиляції картера, засмічення повітряного фільтра, порушення обертів двигуна на холостому ході, підвищений тиск палива та інші несправності, що спричиняють роботу двигуна на збагачених паливно-повітряних сумішах.

Двооксид вуглецю (CO_2) є продуктом реакції з'єднання вуглецю з палива з киснем повітря. Його допустимий вміст у вихлопних газах становить 12–45%. Високий рівень CO_2 свідчить про ефективну роботу двигуна, тоді як низький рівень вказує на збіднену або збагачену паливно-повітряну суміш. Підвищення концентрації CO_2 в атмосфері сприяє розвитку парникового ефекту. Вміст CO_2 залежить від режиму роботи двигуна і прямо пропорційний витраті палива.

Кисень (O_2) також відіграє важливу роль у процесі згоряння. У повітрі його вміст становить 21%, і більша частина цього кисню в циліндрах двигуна вступає в реакцію з паливом. Рівень O_2 у вихлопних газах повинен залишатися низьким — не більше 0,5%. Вищі значення, особливо на холостому ходу, можуть свідчити про витоки у впускному тракті.

Кількість вуглеводнів (CH) у вихлопних газах є показником повноти згоряння паливно-повітряної суміші. Після усунення основних несправностей, що призводять до підвищеного вмісту CH , досягається максимальне заощадження палива та поліпшення експлуатаційних характеристик двигуна. Для зниження кількості вуглеводнів необхідно забезпечити правильне згоряння палива в камері згоряння, що залежить від її форми, правильного регулювання запалювання і догоряння під час вихлопу (за допомогою каталітичного нейтралізатора).

Джерелами викидів вуглеводнів можуть бути вентиляційні відводи паливного бака, витоки з поплавкової камери карбюратора, системи фільтрації повітря і картер двигуна. Постійний контроль цих механізмів забезпечує зниження шкідливих викидів у відпрацьованих газах. Екологічні пристрої, такі як адсорбери з активованим вугіллям, дозволяють зібрати пари вуглеводнів з паливного бака, поплавкової камери карбюратора та картера двигуна, повертаючи їх у систему живлення, що також сприяє зменшенню викидів.

Для вимірювання кількості незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах використовується одиниця «частини на мільйон» (р.р.м.), яка дозволяє точно визначити концентрацію речовини. Якщо не згоряє 0,1% паливно-повітряної суміші, утворюється приблизно 20 р.р.м. CH , а якщо 1%, то близько

200 р.р.т. У реальних умовах концентрація вуглеводнів зазвичай становить від 5 до 500 р.р.т., залежно від конструкції двигуна та його технічного стану. Старі карбюраторні двигуни зазвичай мають вищу концентрацію СН, наприклад, до 300 р.р.т., тоді як сучасні двигуни з впорскуванням палива і нейтралізатором можуть мати рівень СН у межах 60–100 р.р.т. Конкретні нормативні значення визначаються виробником автомобіля.

Підвищений рівень СН часто свідчить про несправності в системі запалювання, наприклад, слабку іскру, несинхронізований момент запалювання або коротку тривалість іскри. Це призводить до того, що частина палива не згорає і потрапляє у вихлопну систему у вигляді вуглеводнів. Також неправильно відрегульована паливно-повітряна суміш, яка є занадто багатою або бідною, може спричинити підвищений рівень СН у вихлопних газах.

Збільшення кількості вуглеводнів у відпрацьованих газах може бути викликане низкою типових несправностей. До них належать проблеми із системою запалювання, такі як неправильна напруга на виході вторинної обмотки котушки запалювання, підвищена напруга на розподільнику, дефекти кабелів, невідрегульований зазор між електродами свічок, забруднені або спрацьовані свічки, а також надто великий кут випередження запалювання.

У системі підготовки паливно-повітряної суміші основними причинами можуть бути порушення стехіометричного співвідношення. Занадто «багата» суміш призводить до недостатнього окиснення через брак кисню, що спричиняє викид вуглеводнів у відпрацьовані гази. Занадто «бідна» суміш може викликати пропуски запалювання, і незгоріле пальне також потрапляє у вихлоп. Інші можливі несправності включають потрапляння додаткового повітря у впускний колектор, несправність системи вловлювання парів палива, дефекти форсунок (наприклад, крапання замість розпилення), низька якість розпилення палива, неоднорідність суміші в циліндрах, значні відмінності в пропускній здатності форсунок окремих циліндрів, надто великий час впорскування, негерметичність пускових або робочих форсунок.

Також проблеми можуть бути спричинені несправностями термочасового реле, датчиків температури охолоджувальної рідини або всмоктуваного повітря, а також неправильним тиском палива. Ці чинники впливають на точність формування паливно-повітряної суміші і, відповідно, на її повноту згоряння, що спричиняє збільшення вмісту СН у вихлопних газах.

Несправності двигуна можуть включати неправильно відрегульовані клапани або фази газорозподілу, підвищене споживання масла через зношення маслоснімних кілець або ущільнень клапанів, низьку компресію, а також негерметичність поршневих груп чи клапанів. Основною причиною підвищеного виділення незгорілих вуглеводнів найчастіше є проблеми у системі запалювання. Зазначено, що рівень емісії шкідливих речовин у бензинових двигунах легкових автомобілів може бути знижений на 99%, якщо коефіцієнт надлишку повітря дорівнює $\alpha=1$.

Досвід експлуатації автомобілів демонструє, що 10-15% несправних або невідрегульованих транспортних засобів спричиняють до 40% усіх забруднюючих викидів у навколишнє середовище. Це підкреслює важливість правильного вибору та дотримання періодичності регулювання систем і елементів електрообладнання, що визначає економічність, токсичність і ресурс роботи агрегатів автомобілів.

Розподіл несправностей у електрообладнанні бензинових двигунів виглядає наступним чином: свічки запалювання - 38%, механізм переривання розподільника - 21%, проводи високої напруги - 7,5%, котушки запалювання - 3,4%, датчики комп'ютерних систем - 7-16%. Це вказує на основні елементи, які потребують регулярного обслуговування для забезпечення належної роботи системи запалювання та мінімізації викидів шкідливих речовин.

Вимірювання концентрації токсичних компонентів у відпрацьованих газах, таких як оксид вуглецю (СО), здійснюється методом інфрачервоного випромінювання, який базується на здатності окремих газів поглинати випромінювання в залежності від їх спектру поглинання. Джерелом інфрачервоного випромінювання є нагрітий елемент із температурою близько

700 °C. Промені проходять через вимірювальний елемент перед потраплянням у приймальну камеру. Оксид вуглецю поглинає частину випромінювання, що викликає підвищення температури газу і створює потік, який датчик перетворює у змінний електричний сигнал. Зміна концентрації CO визначає зміну енергії, поглинутої інфрачервоним випромінюванням, пропорційно об'ємному вмісту CO у газі.

Концентрація вуглеводнів (C_nH_m) у відпрацьованих газах вимірюється плазменно-іонізаційним методом, що базується на іонізації атомів вуглеводнів у водневому полум'ї при температурі 2000 °C. Чутливість цього методу прямо пропорційна кількості вуглеводнів. Концентрація оксиду азоту (NO_x) визначається хемілюмінесцентним методом, який базується на хімічних реакціях із випромінюванням світла, пропорційного концентрації NO_x .

Аналіз вмісту CO_2 , CO та C_nH_m у відпрацьованих газах дозволяє оцінити технічний стан системи запалювання та системи впорскування палива, а також їхніх компонентів. Ці дані є ключовими для діагностики двигуна та налаштування його роботи.

РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

3.1. Діагностування двигуна бортовою системою самоконтролю

Сучасні тенденції розвитку пристроїв для обробки сигналів свідчать про поступове витіснення аналогових методів цифровими системами обробки й представлення даних. Це стало можливим завдяки впровадженню мікропроцесорної техніки, включаючи одноплатні та однокристальні мікроЕОМ, які активно застосовуються в засобах технічної діагностики. Мікропроцесори забезпечують виконання складних алгоритмів обробки даних, порівняння отриманих результатів з еталонними значеннями та представлення інформації у зручній для користувача формі.

Попри ускладнення структури таких пристроїв, їх функціональні можливості значно зросли. Цьому сприяло збільшення обсягу даних, що підлягають збиранню й обробці, розширення кількості каналів для накопичення інформації, а також зростання кількості параметрів сигналів, які надходять від датчиків.

Одним із ефективних підходів у створенні сучасної апаратури є магістрально-модульний метод. Відповідно до цього методу, вимірювальні прилади складаються з окремих конструктивно завершених модулів, сумісних між собою, які об'єднуються через спеціальні інформаційні системи зв'язку, або інтерфейси. Цей підхід дозволяє досягти високої гнучкості у побудові системи, адаптуючи її до різних завдань і вимог.

Сучасні системи діагностування широко використовують мікропроцесори, оперативні та постійні запам'ятовуючі пристрої, операційні підсилювачі, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, а також інші електронні компоненти. Зазвичай, об'єкт самоконтролю перебуває в пасивному стані, який не демонструє його внутрішніх характеристик чи несправностей.

Для того щоб об'єкт виявив свої властивості чи недоліки, його необхідно активізувати, тобто перевести у "прозорий" стан, що є зручнішим для аналізу.

Одним із найпоширеніших методів діагностування систем управління дизельним двигуном з автоматизованою системою подачі палива (АСПП) є використання вбудованої бортової системи самодіагностики. Цей підхід передбачає, що кожен блок управління транспортним засобом має вбудований алгоритм для діагностики датчиків, виконавчих елементів та електропроводки.

Особливу увагу приділяють системам, пов'язаним із дотриманням екологічних стандартів (електронним системам управління двигуном, ЕСУД) і аварійним системам (наприклад, подушкам безпеки), де можуть використовуватися багаторівневі алгоритми перевірки компонентів.

Блок управління постійно контролює стан електричних компонентів, фіксує несправності та зберігає їх у пам'яті. Ця інформація доступна через діагностичний рознімач і може бути зчитана за допомогою діагностичного сканера або тестера. Таким чином, система самодіагностики дозволяє ефективно і швидко виявляти несправності, спрощуючи процес технічного обслуговування.

Сучасні універсальні діагностичні сканери забезпечують багаторівневий підхід до діагностики, охоплюючи шість основних етапів: ідентифікація системи управління, зчитування кодів несправностей з пам'яті, аналіз фактичних параметрів (Data Stream), управління виконавчими механізмами, адаптація й навчання компонентів та підсистем, а також отримання результатів екологічних тестів, які виконуються системою самодіагностики під час руху.

Алгоритм постановки діагнозу передбачає кілька послідовних кроків. Спочатку зчитується область пам'яті несправностей. У разі наявності несправностей виконується перевірка параметрів системи, які пов'язані з елементом, що викликав помилку. Значення параметрів, отримані за допомогою діагностичного сканера, порівнюються з еталонними даними для відповідного режиму роботи двигуна. Якщо значення виходять за межі допустимих норм, визначається ймовірна причина несправності на основі технічної документації.

Зростаюча роль електронних систем у двигунах підкреслює важливість їх належного обслуговування. Оскільки функціонування двигуна все більше залежить від цих систем, вони мають відповідати жорстким вимогам щодо надійності. Одним із способів підвищення надійності є інтеграція функцій самоконтролю в електронні системи, що дозволяє виявляти несправності на ранніх стадіях та забезпечувати стабільну роботу двигуна.

Ефективність бортових систем самоконтролю має свої межі і не повинна переоцінюватися. Блок управління зазвичай контролює інші компоненти системи переважно за кінцевими результатами їх роботи. Існують випадки, коли при незадовільній роботі двигуна система самодіагностики не виявляє жодних несправностей або помилково визначає причину проблеми. Це особливо стосується гідродинамічних чи механічних несправностей, які система не здатна ідентифікувати. У таких випадках механік повинен проводити цілеспрямовані перевірки блоків, що виходять за межі компетенції самодіагностики.

У системі впорскування пального самодіагностика контролює переважно електричні компоненти, тому несправності гідравліки чи механіки залишаються поза її увагою. Наприклад, під час перевірки електросистеми важливо перевірити напругу живлення блоків управління паливного насоса високого тиску (ПНВТ) та двигуна. Якщо виникають проблеми із запуском двигуна, низькою потужністю чи димним вихлопом, механік має перевірити параметри, які не охоплюються системою самодіагностики, а саме: тиск подачі пального, компресію в циліндрах, фази газорозподілення, гідравліку системи впорскування шляхом вимірювання тиску у зворотній лінії та перевірки розпилювачів форсунок.

Для оцінки димності вихлопних газів використовується димомір, що дозволяє швидко отримати дані без необхідності розбирати елементи системи. Обмеженість системи самодіагностики добре ілюструється на прикладі датчика температури. Якщо датчик видає неправильні показання, блок управління може сприймати це як нормальний стан системи, що може ускладнити пошук

реальної причини несправності. Отже, комплексний підхід до діагностики, який включає ручні перевірки ключових параметрів, є необхідним для коректного визначення технічного стану системи.

Блок управління двигуном (ЕБУ) сприймає сигнали від датчиків, що відповідають допустимому діапазону температур, як справні, якщо напруга сигналу знаходиться в межах від 0,5 до 4,5 В. Помилки фіксуються лише у випадках, коли напруга сигналу виходить за ці межі, наприклад, при короткому замиканні ($U_s=0$ В) або обриві ($U_s=5$ В).

Однак, якщо через підвищений перехідний опір у рознімачі сигнал датчика показує занадто низьку температуру, але залишається в межах "зеленої області" напруг, блок управління вважає цей сигнал коректним. У такій ситуації ЕБУ використовує помилкові дані для розрахунків, наприклад, початку впорскування пального або величини пускової подачі. Це стосується будь-яких датчиків, де напруга сигналу є показником фізичних величин, таких як витрата повітря, тиск наддування чи положення педалі подачі пального.

З цього випливає, що повідомлення ЕБУ про відсутність несправностей не завжди означає повну справність системи. Навіть за відсутності записів про несправності в пам'яті, реальні проблеми можуть залишатися. Система самодіагностики блокує управління лише ті несправності, які виходять за межі допустимих значень.

Перед заміною датчика температури необхідно виконати додаткові вимірювання, щоб переконатися, що проблема дійсно пов'язана з самим датчиком, а не з несправністю джгута проводів чи блока управління. Такі перевірки особливо важливі, якщо вартість несправного компонента висока, оскільки це дозволяє уникнути необґрунтованих витрат.

Результати діагностування системи впорскування палива є ключовими для визначення обсягу технічного обслуговування (ТО) і ремонту (ТР) паливної системи. Це обумовлено високою технологічною складністю та значною вартістю робіт, пов'язаних із монтажем, демонтажем, розбиранням, складанням

і регулюванням компонентів системи впорскування. Часте розбирання з'єднань є недоцільним, оскільки може призвести до зносу або пошкоджень.

Сучасні системи впорскування обладнані вбудованими діагностичними функціями, які включають самодіагностику, функціональні та контрольні випробування. Процес виявлення несправностей здійснюється через безперервний цикловий аналіз, під час якого показники роботи датчиків і систем порівнюються із закладеними в електронному блоці управління (ЕБУ) матрицями допустимих значень для різних режимів роботи. Частота таких циклів може варіюватися залежно від виробника автомобіля.

Якщо отримані значення виходять за межі допустимих параметрів, це розпізнається як несправність. Водій отримує інформацію про це через відповідний сигнал на панелі приладів автомобіля. Такий сигнал вказує на необхідність оперативного зчитування даних про несправність і визначення її характеру. Це може бути виконано за допомогою вбудованої діагностичної системи автомобіля (якщо така передбачена конструкцією) або шляхом підключення зовнішнього діагностичного обладнання.

Таким чином, інтегровані функції діагностування забезпечують своєчасне виявлення несправностей, що дозволяє мінімізувати витрати на ремонт і знизити ризики подальшого пошкодження системи.

Доступ до діагностичної системи автомобіля здійснюється через рознімач на діагностичному блоці при ввімкненому запалюванні. Функція самодіагностики призначена для оперативного зчитування інформації про несправності та відмови, які накопичуються під час експлуатації автомобіля. Для цього в електронному блоці управління (ЕБУ) реалізовано систему запам'ятовування до 3-4 несправностей одночасно, при цьому загальна кількість можливих до виявлення несправностей становить 13-15.

Самодіагностика закладена в ЕБУ, через який здійснюється інформаційний обмін з іншими системами електронного контролю автомобіля. Коди несправностей запам'ятовуються в момент їх виявлення і можуть бути відображені натисканням випробувальної кнопки на діагностичному блоці. ЕБУ

має пам'ять, яка здатна зберігати коди несправностей і дані адаптивної програми протягом не менше 10 хвилин після припинення подачі електроенергії.

Функціональне випробування використовується для імітації послідовного виходу з ладу функціональних елементів, що дозволяє оцінити роботу системи впорскування палива за умов змінених параметрів. Контрольне випробування, у свою чергу, дає можливість перевірити стан і працездатність елементів системи впорскування як до, так і після проведення функціонального тесту.

Режими функціонального та контрольного випробувань активуються шляхом комбінації коротких натискань на випробувальну кнопку діагностичного блоку, розташовану в автомобілі. Ці випробування дозволяють ефективно виявляти несправності й забезпечувати діагностику системи без необхідності її розбирання, що значно спрощує процес обслуговування автомобіля.

3.2 Результати моторних випробувань при спільному впливі факторів

Результати моторних випробувань за спільного впливу кількох факторів дозволяють оцінити їхню взаємодію та вплив на характеристики двигуна, зокрема ефективну потужність, крутний момент, витрати палива, рівень токсичних викидів і загальну експлуатаційну надійність. Аналіз таких впливів допомагає виявити основні закономірності та залежності, що враховуються під час оптимізації роботи двигуна та підвищення його ефективності.

Спільний вплив якості палива, технічного стану паливної системи, параметрів запалювання та умов навколишнього середовища (температура, вологість, тиск) часто виявляє значний вплив на роботу двигуна. Результати випробувань також підтверджують вплив спрацьованості циліндропоршневої групи та системи запалювання на роботу двигуна. Зношення поршневих кілець або негерметичність клапанів у поєднанні з несправністю котушки запалювання

або свічок призводять до нерівномірної роботи двигуна, пропусків запалювання та підвищеного рівня незгорілих вуглеводнів у вихлопних газах.

Такі випробування є основою для вдосконалення методик діагностики, налаштування двигунів і систем їх живлення. Вони дозволяють розробляти рекомендації щодо оптимізації режимів роботи, планування технічного обслуговування, зниження рівня викидів шкідливих речовин, підвищення економічності та продовження ресурсу експлуатації двигуна.

Результати досліджень показують, що середній час циклу розгону-вибігу справного двигуна в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} становить 4,130 с. Частота обертання колінчастого вала, з якої двигун переходить у режим вільного розгону-вибігу, становить $370 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

Дослідження також виявили, що за однакової нещільності циліндропоршневої групи, але різного тиску в рампі системи живлення, час циклу змінюється від 4,5 с до 5,3 с у діапазоні частоти обертання колінчастого вала 1000–5000 хв^{-1} . Така зміна обумовлена зменшенням циклової подачі палива, що впливає на час вільного розгону двигуна.

Час виконання заданої кількості циклів розгону-вибігу збільшується, що свідчить про зниження потужності двигуна. При цьому час вибігу залишається незмінним, що вказує на однаковий стан механічної частини двигуна під час випробувань. Якщо зменшується циклова подача палива через несправність системи живлення, частота обертання колінчастого вала, за якої можливий перехід у вільний розгін після вибігу, становить не менше $950 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

Дослідження показують, що перехід двигуна з режиму розгону в режим вибігу має однаковий характер, однак перехід з вибігу в розгін відрізняється. У разі несправного стану двигуна на початковій ділянці розгону після вибігу спостерігається монотонна зміна частоти обертання колінчастого вала в діапазоні від 1000 до 1500 хв^{-1} .

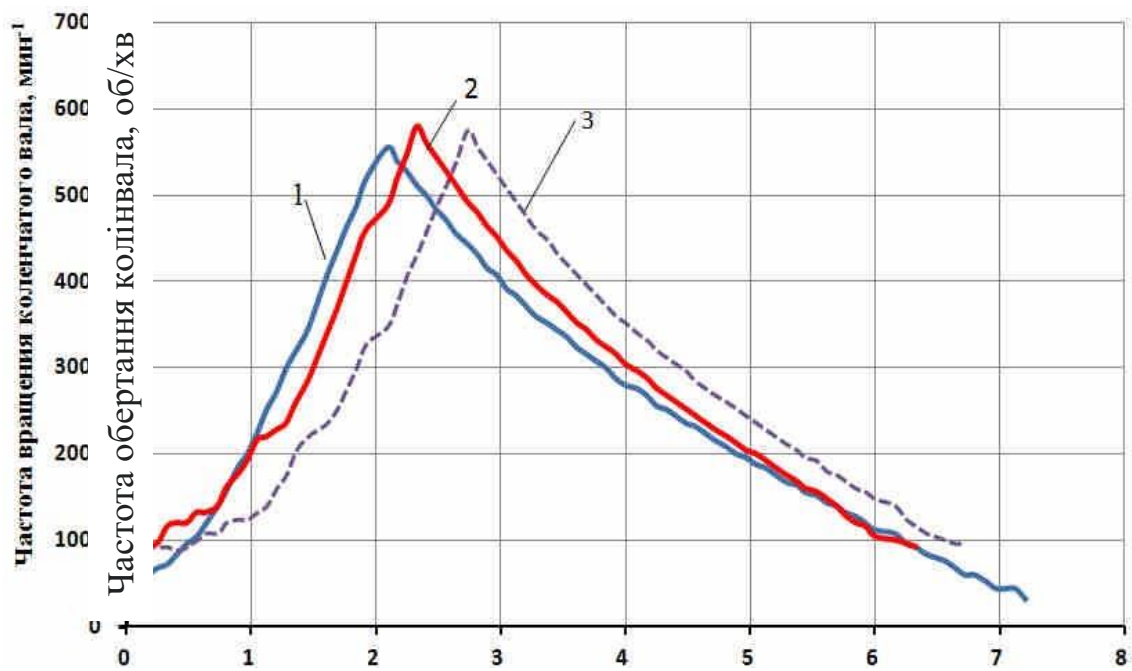
На суміщених характеристиках при різному стані циліндропоршневої групи і тиску в паливній рампі системи живлення, зображених на рисунку, показано, що при граничній нещільності ЦПГ і тиску в системі живлення 200

кПа, час циклу розгону-вибігу в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} становить 5,3 с. У цьому випадку частота обертання колінчастого вала, за якої двигун переходить у режим вільного розгону після вибігу, не нижча за $950 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

Порівняння часу вибігу при справному стані ЦПГ із часом при граничному стані показало, що в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} різниця становить 0,52 с. Час розгону змінюється практично на таку ж величину, а діагностичний параметр $K_{\text{тц}}K_{\text{тц}}$ приймає значення від 1 до 0,94.

Розпізнати при цьому стан двигуна дозволяє початкова частота обертання колінчастого вала з якою двигун виходить в розгін після вибігу, так як вона чутлива до зміни циклової подачі і до нещільності ЦПГ. Тому можна зробити висновок: частота обертання з якою двигун виходить в розгін, може служити додатковим діагностичним параметром, отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні припущення.

Метою обробки характеристик вільного розгону-вибігу, отриманих в результаті експерименту, є отримання функціональної залежності $t_{\text{ц}} = f(P, S)$. Для побудови математичної моделі використовується регресійний аналіз (таблиця 3.1). Так як початкове значення частоти обертання виходу двигуна у вільний розгін після вибігу, відрізняється для різних станів двигуна. Діапазон частоти обертання колінчастого вала в якому можлива апроксимація - від 1000 до 5000 хв^{-1} .



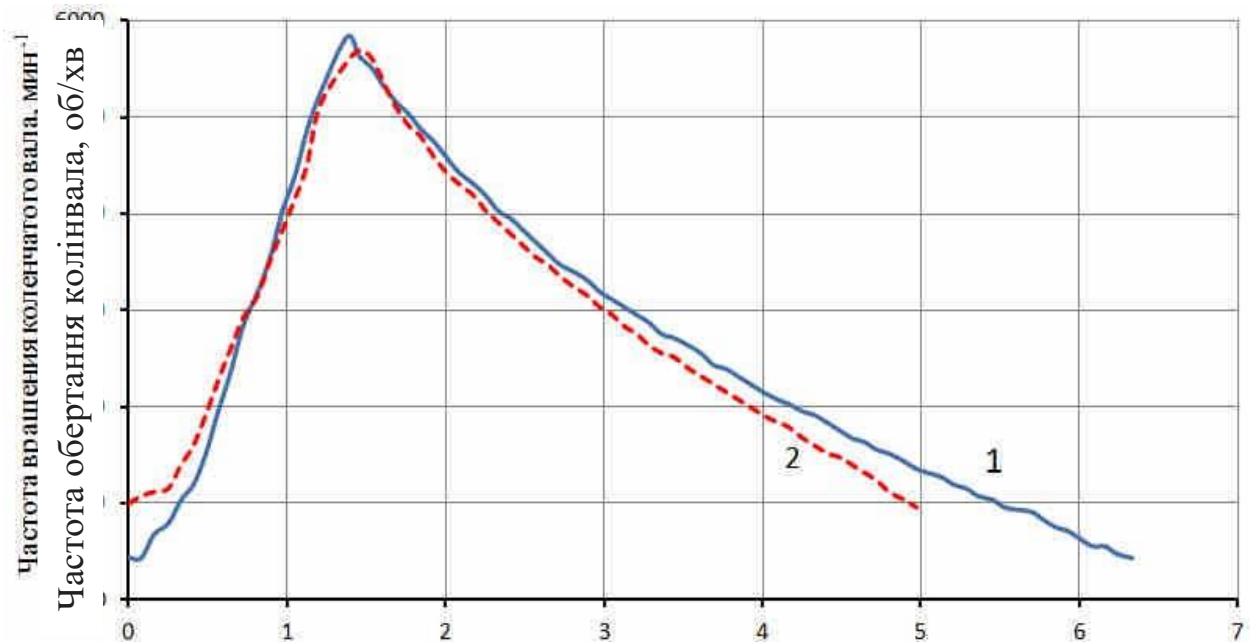
Час, с

1 - Нещільність ЦПГ 0,75мм², тиск 300 кПа;

2 - Нещільність ЦПГ 2,35 мм², тиск 250 кПа;

3 - Нещільність ЦПГ 2,35мм², тиск 200 кПа

Рис. 3.5 Залежність часу циклу розгону-вибігу двигуна ЗМЗ-406.10 з блоком управління МІКАС 7.1 при різних станах ЦПГ і системи живлення



Час, с 1 - Нещільність ЦПГ 0,75мм², тиск 300 кПа;

2 - Нещільність ЦПГ 2,35 мм², тиск 300 кПа

Рис. 3.6 Залежність часу циклу розгону-вибігу двигуна ЗМЗ-406.10 з блоком управління МІКАС 7.1 при різних станах ЦПГ

Значимість коефіцієнтів перевіряли по t-критерію Стьюдента. Адекватність отриманих залежностей оцінювалася коефіцієнтами Фішера. В роботі отримана регресійна залежність, яка відображає зв'язок функції відгуку з досліджуваними факторами, яка має вигляд:

$$t_{\eta} = 4,89 - 2,8 \cdot 10^{-5} P^2 + 4,61 \cdot 10^{-3} P - 0,106 S^2 + 0,555 S - 3,21 \cdot 10^{-4} PS$$

(3.1)

де P - тиск в рампі паливної системи, кПа;

S - нещільність циліндропоршневої групи (ЦПГ), мм².

Результати регресійного аналізу показали, що параметри SSS (нещільність циліндропоршневої групи) та PPP (тиск у паливній рампі), які визначають технічний стан двигуна, є статистично значущими для часу циклу t_{ct} . Це свідчить про те, що зміна цих факторів у процесі експлуатації безпосередньо впливає на діагностичний параметр t_{ct} , дозволяючи використовувати його для оцінки стану двигуна.

На основі рівняння регресії виконано розрахунок значень часу циклу вільного розгону-вибігу для різних комбінацій параметрів нещільності ЦПГ та тиску в паливній рампі, в межах яких модель залишається адекватною. Аналіз показав, що найбільший вплив на t_{ct_ctc} має спільна дія факторів стану системи живлення та ЦПГ. Це підкреслює важливість інтегрованого підходу до діагностики технічного стану двигуна, з урахуванням взаємодії основних систем.

За результатами отриманих значень часу циклу вільного розгону-вибігу, розраховували значення діагностичного параметра Kt_{η} за формулою 2.9.

В результаті аналізу можна сказати, що при збільшенні нещільності ЦПГ до значення граничного стану, але справній системі живлення значення Kt_{η} становитиме 0,94 - 0,95. При граничному стані ЦПГ і зниженні продуктивності електробензонасоса, значення Kt_{η} складе менше 0,77. Для справного двигуна знаходитися в межах від 1,0 до 0,94 при частоті обертання колінчастого вала, з якої можливий вихід в розгін після вибігу рівній 370 ± 20 хв⁻¹.

В теоретичній частині було висунуто припущення, що частота обертання колінчастого вала двигуна з якої можливий вихід у вільний розгін, після вільного вибігу, буде змінюватися від технічного стану ЦПГ і системи живлення, підтвердилося. Результати представлені на таблиці 3.2 показують, що при справному стані двигуна розгін здійснюється з 350 хв^{-1} , а при граничному стані ЦПГ і системи живлення не нижче 970 хв^{-1} . При цьому, зміни пускових якостей двигуна в стартерному режимі помічено не було.

На основі отриманих результатів дослідження розроблено методику діагностування технічного стану двигуна, яка враховує чутливість початкової частоти обертання до змін технічного стану бензинового двигуна з електронним управлінням. Ця методика рекомендована для виконання під час щоденного технічного обслуговування або за необхідністю відповідно до керівництва з експлуатації для двигунів ЗМЗ з електронною системою управління. Планові операції з обслуговування спрямовані на усунення течі в системах охолодження, мащення, живлення та вентиляції картерних газів. Діагностичні роботи з систем живлення та циліндропоршневої групи не включені до переліку робіт під час ТО-1 та ТО-2, тому запропонована методика виконується окремо під час щоденного технічного обслуговування або за потребою. Для виконання використовується бортовий комп'ютер із програмним забезпеченням, яке дозволяє провести динамічний тест.

Контроль технічного стану двигуна виконується після завершення операцій при щоденному технічному обслуговуванні шляхом запуску і прогрівання двигуна, примусового включення вентилятора системи охолодження (за наявності електродвигуна), проведення тесту в межах частоти обертання від 370 до 5000 хв^{-1} із натиснутою педаллю дросельної заслінки до завершення тесту. Отримані результати зберігаються в архіві, після чого двигун глушиться, а отримані дані порівнюються з еталонними значеннями для оцінки технічного стану. Наприкінці вимикається примусове управління вентилятором системи охолодження.

Ця методика забезпечує оперативну та ефективну оцінку технічного стану двигуна без необхідності додаткового розбирання, що значно скорочує час і витрати на діагностування.

Розроблений спосіб контролю технічного стану бензинових двигунів з електронною системою управління був перевірений за допомогою діагностичного обладнання, зокрема мотор-тестера МТ-10 із блоком АМД-4А. Процес перевірки включав кілька етапів: перевірку електронної системи управління, зняття характеристик вільного розгону-вибігу для кожного двигуна, а також оцінку стану системи живлення і циліндропоршневої групи.

Результати проведеної перевірки підтвердили ефективність запропонованої методики. Зокрема, вона дозволяє оперативно і точно виявляти двигуни, які не відповідають вимогам технічної документації, що свідчить про її придатність для практичного використання. Запропонований спосіб є зручним у застосуванні та забезпечує високу точність оцінки технічного стану двигуна.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі аналітично обґрунтовано діагностичний параметр $Kt_{\text{ц}}$, який відображає зміну технічного стану двигуна внутрішнього згоряння і визначається відношенням часу циклу вільного розгону-вибігу справного стану двигуна, до зміненого.

Отримано регресійну модель, яка характеризує залежність часу циклу розгону-вибігу від технічного стану ЦПГ і системи живлення. Модель дозволяє оцінювати величину часу циклу в залежності від тиску в паливній рампі і нещільності ЦПГ з похибкою, що не перевищує 5%. Найбільший вплив на величину часу циклу розгону-вибігу, надає спільна зміна стану системи живлення і ЦПГ. Для справного двигуна ЗМЗ-4062.10 в діапазоні частоти обертання від 1000 до 5000 хв^{-1} , час циклу $t_{\text{ц}} = 4,13$ с, з граничним станом ЦПГ і системи живлення $t_{\text{ц}} = 5,23$ с, діагностичний параметр визначає вплив на двигун $Kt_{\text{ц}} = 0,77$. Діагностичний параметр, при якому допускається експлуатація двигуна, має значення від 1 до 0,94 і частоту обертання колінчастого вала двигуна, з якої можливий розгін після вибігу не більше $600 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

Встановлено вплив нещільності ЦПГ і системи живлення на мінімальну порогову частоту обертання колінчастого вала в режимі вільного розгону-вибігу. Частота обертання колінчастого вала, з якої можливий вихід справного двигуна у вільний розгін складає $370 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$, з несправною системою живлення і ЦПГ - не нижче $970 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

На основі проведених досліджень було розроблено спосіб оцінки технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) і системи живлення бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління. Цей спосіб базується на роботі двигуна в режимі вільного розгону-вибігу і дозволяє оцінювати загальний технічний стан як при стаціонарному, так і при бортовому або дистанційному діагностуванні, виконуючи процедуру одним робітником.

Методика включає вимірювання часу виконання заданої кількості циклів вільного розгону-вибігу за умови фіксованого положення дросельної заслінки в

постійному діапазоні кутової швидкості колінчастого вала. Додатково визначається частота обертання, з якої двигун здатен переходити в режим розгону після вибігу. Ця методика дозволяє точно оцінювати технічний стан основних компонентів двигуна, таких як герметичність ЦПГ і ефективність системи живлення.

Запровадження розробленої методики на станціях технічного обслуговування забезпечує значне скорочення трудомісткості процесу діагностування у 2,5–4 рази за рахунок виключення необґрунтованих операцій. Це дозволяє оптимізувати процес діагностики, підвищуючи ефективність технічного обслуговування.

Під час проведення вимірювань компресії було виявлено, що граничний стан ЦПГ відповідає тиску 0,95 МПа у кінці такту стиснення. При цьому значенні тиску двигун зберігає здатність до переходу в режим розгону після вибігу, що свідчить про його експлуатаційну придатність за умови своєчасного технічного обслуговування.

Подальші дослідження показали, що однаковий час розгону справного та несправного двигунів може бути спричинений перепрограмуванням електронного блоку управління (ЕБУ), що впливає на карту подачі палива та кут випередження запалювання. Ці зміни впливають на точність оцінки технічного стану двигуна за часом розгону, що слід враховувати під час діагностики.

Виробничі випробування також виявили, що у випадку реального зносу циліндропоршневої групи час вибігу двигуна збільшується порівняно з лабораторними умовами. Це пов'язано з більшим моментом від сил тертя, який виникає через зношення компонентів, і перевищує ті значення, які фіксуються у контрольованих експериментальних умовах.

Таким чином, перепрограмування ЕБУ та реальні експлуатаційні умови мають суттєвий вплив на результати оцінки стану двигуна. Ці фактори необхідно враховувати під час розробки та застосування методик оцінки технічного стану двигунів, щоб забезпечити їхню точність і надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Паладійчук Ю.Б. Методи та засоби при експлуатаційній обкатці машин та механізмів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. Серія: Технічні науки. Вінниця: ВНАУ, 2012. Випуск 10 (59). Т. 2. С. 110-113.

2.Пришляк В.М. Аналіз показників роботи двигуна Д-240 за розрахунками комп'ютерної програми DIESEL-RK. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця : ВНАУ, 2015. Випуск 2 (90). С. 28-32.

3.Гулько І.В. Транспорт - актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця : ВНАУ, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.

4.Пришляк В.М. Визначення ефективності роботи автотракторних двигунів адаптованих для часткових режимів навантаження. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця : ВНАУ, 2016. Випуск 3 (95). С. 57-62.

5.Барановський В.М. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця : ВНАУ, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.

6.Анісімов В.Ф. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. 41 с.

7.Паладійчук Ю.Б. Методичні вказівки до виконання курсового проекту і розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Ремонт машин та обладнання» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальностей 7.091902. та 8.091902 «Механізація сільського господарства» ОКР «Спеціаліст», «Магістр». Вінниця: ВЦ ВДАУ, 2007. 43 с.

8.СП(ПТ)О 7241.G.45.20-2017 Майстер з діагностики та налагодження електронного устаткування автомобільних засобів. Стандарт професійної (професійно-технічної) освіти. Видання офіційне. Київ. 2017. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/pto/standarty/2017/08.02%20-1/mayster-iagnostiki-ta-nalagodzheniya-elektronnogo-ustatkuvannya-avtomobilnikhzasobiv.doc>.

9. Клімов С.В. Організація технічного сервісу машин [Інтернет]. Рівне : НУВГП, 2010 [цит. за 28, Лютий 2017]. 120 с. Доступний у: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5650/>

10. Клімов С.В. Експлуатація і обслуговування машин [Інтернет]. Рівне : НУВГП, 2010 [цит. за 16, Лютий 2017]. 218 с. Доступний у: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5573/>

11. Левкович М.Г., Босюк П.В., Тесля В.О. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерна діагностика» [Інт]. Тернопіль : ТНТУ, 2016. Доступний у: <http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18163/1/%D0%9A%D0%94.pdf>

12. Основи технічної діагностики автомобілів [Інтернет]. [цит. за 14, Червень 2019]. Доступний у: <https://www.twirpx.com/file/282884/>

13. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. Підручник [Інтернет]. 6-те вид. вид. Київ : Либідь, 2006. 400 с. Доступний у: https://www.yakaboo.ua/budova-j-ekspluatacija-avtomobilivpidruchnik.html?gclid=EAIaIQobChMI44aJvDo4gIVCsKyCh3OngPqEAQYASABEgJl8PD_BwE

14. Пойда А. М. Технічна експлуатація автомобілів з мікропроцесорними системами керування: лабор. практикум. Харьков : ХНАДУ. 2012. 172 с.

15. Головобородько О. О. Мехатронні системи автомобільного транспорту : навч. посібник. Харьков : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 300 с.

16. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобіля : навч. посібник. / за ред. М. Б. Копитчука. Одеса : Наука і техніка, 2012. 392 с.

17. Ремонт автомобілів: Навч. посіб. пвд. ред. В.Я. Чабанний. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

18. Сафонов В.В. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навч. посіб. К.: Основа, 2011. 480 с. ISBN 978-966-699-615-3.

19.ДСТУ 3649-2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. К.: «Держспоживстандарт України», 2011. 32 с.

20. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навч. посіб. В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. Вінниця: ВНТУ, 2012. 118 с.

21. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ. За редакцією А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ. ХПІІ, 2004. С. 1.

22. Діагностика мехатронних систем автомобіля [Текст] : підручник / Ю. М. Бороденко, О. А. Дзюбенко, О. М. Биков; Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. - Харків : ХНАДУ, 2016. 319 с.

23. Isermann R. Combustion Engine Diagnosis: Model-based Condition Monitoring of Gasoline and Diesel Engines and their Components Springer, 2017. 313 p.

24. Концепції синтезу і особливості реалізації алгоритмів електронного керування дизельним двигуном. А. О. Прохоренко Кравченко, С. С., Таланін, Д. С., Краснокутський М. В. Marine power plants and operation 2021 (MPP&O2021) : матеріали 3-ї Міжнар. наук.-практ. мор. конф. каф. СЕУ і ТЕ навч.-наук. ін-ту мор. флоту Одес. нац. мор. ун-ту, квітень 2021 р., м. Одеса. Харків : Іванченко І. С., 2021. С. 192-197.

25. Біліченко, В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів. Навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2012. 118 с.

26. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. та ін. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. К.: Основа, 2002. 312 с.

27. Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. та ін. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. К.: Основа, 2002. 312 с.

28. Канарчук В.Е., Лудченко О.А., Чигринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Кн. 1. К.:Вища шк., 2014. 358 с.

29. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. К.: Знання-Прес, 2003. 511 с.

30. Крижанівський В.І. Довідник по нормуванню праці на ремонтних роботах. - 2-е вид., перероб. і доп. К.: Урожай, 2008. 264 с.

31. Bodnar B. E., Ochkasov O. B., Decyura O. Ya., Chernyaev D. V. (DIIT) Metodi nerozbiernogo diagnostuvannya dizeliv pri ekspluatacii ruhomogo skladu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana, 41, D. Vid-vo Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana, 2012. 321 s.

32. Zadvornov Ya. M., Ryazancev V. V. Osoblivosti vibroakustichnogo diagnostuvannya tekhnichnogo stanu spryazhen' detalej dizel'nih dviguniv. Mekhanizaciya ta elektrifikaciya sil's'kogo gospodarstva, 2016, 4, 175-185.