

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Технологічний процес діагностування систем живлення дизельних двигунів легкових автомобілів з визначенням основних параметрів величини зносу деталей двигуна*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Ігор БУКАТКА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Анатолій МАТВІЙШИН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

студенту Букатці Ігорю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Технологічний процес діагностування систем живлення дизельних двигунів легкових автомобілів з визначенням основних параметрів величини зносу деталей двигуна*

Керівник роботи Матвіїшин А.Й., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «12» листопада 2024 року № 4/7-1089.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Технологічний процес діагностування системи живлення дизельних двигунів. Устаткування та методи проведення діагностики

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Результати вимірів експериментальних досліджень - 2 листа А1

Схема структурно-наслідкових зв'язків електромагнітної форсунки - 1 лист А1

Результати розрахунку показника КСі та показників властивостей автомобіля - 1 лист А1

Залежності показників експлуатаційних властивостей від ступеня забруднення ЕМФ - 1 лист А1

Способи очищення форсунок - 1 лист А1

Можливі відмови елементів електромагнітного сопла - 1 лист А1

Технологічна карта діагностики забрудненості ЕМФ - 1 лист А1

[illegible]

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент

Ігор БУКАТКА
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Анатолій МАТВІЙШИН
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Технологічний процес діагностування систем живлення дизельних двигунів легкових автомобілів з визначенням основних параметрів величини зносу деталей двигуна» є актуальним дослідженням, яке спрямоване на підвищення ефективності технічного обслуговування сучасних дизельних двигунів, зокрема їх систем живлення. Робота базується на сучасних технологіях діагностування, які поєднують механічні, електронні та комп'ютеризовані методи аналізу стану двигунів.

У загальнотехнічному розділі висвітлено методи дослідження систем живлення дизельних двигунів, включаючи аналіз теплових характеристик, діагностику за допомогою комп'ютерних технологій, ендоскопування та аналіз відпрацьованих газів. Наведено сучасні підходи до оцінки зносу компонентів і визначення параметрів їх надійності.

Технологічний розділ акцентує увагу на детальному поелементному діагностуванні, перевірці датчиків і виконавчих механізмів, діагностиці насос-форсунок і паливних насосів високого тиску. Розроблено алгоритми перевірки тиску в системах живлення, що забезпечують високу точність визначення несправностей без необхідності демонтажу компонентів.

Конструкторський розділ містить розробку сучасного способу діагностування систем живлення дизельних двигунів із використанням комплексного підходу, що включає комбінування даних комп'ютерної діагностики, аналізу відпрацьованих газів та вимірювання параметрів тиску. Запропоновані методи дозволяють зменшити затрати часу та підвищити якість діагностики.

Науково-дослідний розділ досліджує знос двигунів на пускових режимах, вплив параметрів експлуатації на довговічність компонентів, а також питання точності вимірювань, необхідних для оцінки стану системи живлення.

Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях висвітлює аспекти безпечного використання високочастотних установок, а також організацію дій у випадках надзвичайних ситуацій.

Результати дослідження мають практичну значущість для автомобільних сервісів, оскільки дозволяють зменшити витрати на технічне обслуговування і ремонти, забезпечуючи своєчасне виявлення і усунення несправностей. Крім того, використання представлених підходів сприяє зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу, підвищуючи екологічність транспортних засобів.

Робота може бути корисною для інженерів-механіків, фахівців сервісних центрів і науковців, які займаються питаннями оптимізації процесів діагностики і технічного обслуговування дизельних двигунів.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ЗМІСТ	2
ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	5
1.1 Методи дослідження систем живлення дизельних двигунів	5
1.2 Комп'ютерна діагностика електронного блоку управління двигуном автомобіля	7
1.3 Шляхи пошуку несправностей дизельного двигуна з допомогою аналізу відпрацьованих газів	10
1.4 Діагностування несправностей дизельного двигуна з використанням датчиків тиску	12
1.5 Обґрунтування розробки способу діагностування	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	16
2.1 Методи діагностики систем живлення дизельних двигунів автомобілів	16
2.2 Методи діагностування дизельних двигунів автомобілів та їх характеристики	19
2.3 Поелементне діагностування і усунення несправностей двигуна	19
2.4 Перевірка датчиків і виконавчих механізмів систем живлення дизельних двигунів з електронним управлінням	23
2.5 Порядок перевірки тиску в системі живлення дизельного двигуна автомобіля	25
2.6 Характеристика несправностей насос-форсунки дизельних двигунів та способи їх діагностування.	27
2.7 Регулювання насос-форсунки після її установки	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	31
3.1 Розробка способу діагностування систем живлення дизельного двигуна	31
3.2 Обладнання та апаратура для діагностування форсунки	38

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	53
4.1 Методи визначення величин износу деталей двигуна на пускових режимах	53
4.2 Дослідження факторів, які впливають на затримку періоду займання палива	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАТЦІЯХ	60
5.1 Техніка безпеки при експлуатації установок високих, надвисоких і ультрависоких частот	60
5.2 Дії населення у надзвичайних ситуаціях при повенях	62
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Рівень розвитку автомобілебудування на сучасному етапі висуває підвищені вимоги до надійності та довговічності автомобілів під час експлуатації, забезпечення техніко-економічних характеристик та до зниження техногенного впливу, насамперед – викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Дизельні двигуни представляють собою складні технічні пристрої, які експлуатуються у жорстких умовах. Високі температури та тиски, вібрація, вплив абразиву, динамічний характер навантаження, реверсивний характер руху, тривала робота в екстремальних режимах неминуче приводять до руйнування поверхонь тертя і деформації елементів, у яких відбувається згоряння палива та циркуляція розпечених вихлопних газів.

В даний час відмовляється від використання недосконалих систем живлення дизельних двигунів автомобілів внутрішнього згоряння і переходить до використання більш сучасних, у тому числі й електронних систем живлення. Дослідження показали, що експлуатація автомобіля в жорстких умовах, а також ускладнення системи живлення двигуна призводить до збільшення функціональних та параметричних відмов. На систему живлення припадає біля 9% несправностей автомобілів з дизельними двигунами. Так як надійність сучасних дизельних двигунів достатньо висока, відмови рідко відбуваються спонтанно, а зазвичай є наслідком розвитку дефекту окремих деталей вузла двигуна.

Системи живлення дизельного двигуна призначені для розміщення, очищення та своєчасної подачі паливоповітряної суміші в циліндри в потрібній кількості та під достатнім тиском на всіх режимах його роботи за будь-якої температури навколишнього середовища, тому відхилення у її роботі миттєво відображаються на робочих показниках двигунів, і у існує необхідність в точному і своєчасному діагностуванні системи живлення.

Це зумовлює необхідність удосконалення існуючих та розробки нових методів і засобів діагностування системи живлення дизельних двигунів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Методи дослідження систем живлення дизельних двигунів

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) автомобіля являється одним із найбільш відповідальних силових агрегатів, який під час експлуатації автомобіля зазнає значних силових навантажень. До зменшення потужностей двигуна, суттєвого збільшення витрат палива призводить непередбачувана зміна регульованих параметрів, що призводить до появи несправностей під час експлуатації автомобіля.

Однією з основних причин, яка призводить до появи несправностей робочих деталей ДВЗ є інтенсивне зношування поверхонь тертя, що призводить до зміни їх геометричних параметрів, параметрів форми поверхні, внаслідок чого збільшуються величини зазорів між поверхнями деталей пар тертя. Серед основних факторів, які впливають на інтенсивність зношування поверхонь пар тертя слід відмітити: умови експлуатації автомобіля (якість покриття автошляхів, характер водіння, часті пуски та зупинки двигуна), рівень технічного обслуговування та ремонту двигуна та автомобіля в цілому, якісні показники паливно-мастильних матеріалів, вплив вібрації та детонації, несправність в роботі систем змащення та охолодження, вид запалювання.

Перелічені вище фактори призводять до зростання експлуатаційних витрат і появи проблем в роботі основних вузлів та агрегатів автомобіля. При експлуатації частково зношеного двигуна збільшуються його пошкодження, що призводить до значних капітальних витрат при ремонті двигуна. На зміну основних робочих характеристик двигуна значно впливає несправність паливної апаратури, що в середньому складає 35...45% від усіх відмов дизельного двигуна. Проводячи діагностичні роботи виявляють основні причини несправностей.

Розглянемо основні методи та способи, які використовуються для безрозмірної діагностики двигунів. Метод теплового контролю використовується для вимірювання та аналізу температури на поверхнях

деталей. Причиною зміни температури на поверхні деталі, відносно температури навколишнього середовища, являються процеси виділення, передачі та поглинання теплової енергії. При тепловому методі параметром, який містить інформацію про характер процесу теплопередачі, параметри внутрішньої структури та наявність внутрішніх дефектів деталі є характер розподілу температури по її поверхні.

Тепловізійні камери використовують для одержання детальних характеристик теплограм для працюючих двигунів. Комп'ютерне діагностування включає в себе підключення мотор-тестера і сканера до блоку управління комп'ютера, що дозволяє зчитувати відповідні коди помилок, інформацію із датчиків та процесорів управління. Для оцінки характеру та умов протікання процесів згоряння палива проводять відповідний аналіз хімічного складу та загальної кількості відпрацьованих газів, а для оцінки максимально допустимого зношування робочих поверхонь тертя деталей циліндро-поршневої групи визначають коефіцієнт надлишку повітря.

Для перевірки технічного стану деталей, вузлів та агрегатів двигуна із неналежним доступом до них через конструктивні особливості двигуна (свічки запалювання, камери згоряння палива) використовують метод технічного ендоскопування. Для оцінки та контролю величини компресії в блоках циліндрів ДВЗ легкових автомобілів проводять збір величини компресії при робочому, (прогрітому) двигуні використовуючи отвори для встановлення свічок запалювання. Метод аналізу хімічних елементів приміняється в основному для визначення вмісту твердотілих, порошкоподібних, розчинених хімічних елементів у паливі, а також елементів, які відклалися на фільтрах. За допомогою віброакустичного методу аналізується інформація про процеси вібрації та її вплив на роботу двигуна. Перелічені методи ефективні та не дороговартісні і до переваг яких можна віднести відсутність необхідності розбирання двигуна, а також їхню універсальність та оперативність.

Поряд з цим необхідно відмітити і деякі обмежені можливості щодо їх використання – низька інформативність контролюючих параметрів, складність у встановленні основної причини появи несправностей при роботі двигуна.

Враховуючи складність будови ДВЗ, умови та режими експлуатації окремих вузлів та агрегатів важко підібрати один універсальний метод контролю, чим пояснюється велика різноманітність використовуваних методів, які несуть відповідну інформацію з різною достовірністю.

Для об'єктивного та всестороннього контролю роботи ДВЗ необхідно поєднувати декілька методів при створенні спеціальних умов. Одним із найбільш інформативних і економічних варіантів є об'єднання методу комп'ютерного діагностування та методу аналізу хімічного та кількісного складу відпрацьованих газів.

1.2 Комп'ютерна діагностика електронного блоку управління двигуном автомобіля

Комп'ютерна діагностика блоку управління двигуна автомобіля на сьогодні є однією з найперспективніших для контролю параметрів системи живлення, сучасного способу перевірки основних вузлів та агрегатів при їх взаємодії з вибраною електронною системою для керування двигуна. Як показує практика експлуатації двигуна, його основні робочі вузли та агрегати взаємопов'язані між собою, як кінематично, так і параметрами навантаження, тому поява несправностей деталі або одного вузла в цілому впливає на появу відповідних несправностей інших деталей та вузлів. У зв'язку з цим, аналізуючи характер появи та механізм протікання несправностей одного вузла, дану інформацію можна використати для аналогічного аналізу інших деталей та вузлів.

Для комп'ютерної діагностики використовують, як правило сканери та мотор-тестери. Дилерський сканер (рисунок 1.1а). Професійний прилад, розрахований на технічне обслуговування певної марки автомобіля та споріднених із нею. Сканер має оригінальне програмне забезпечення, і як правило застосовується у дилерських сервісних центрах. Відрізняється високою точністю сканування, широким функціоналом, аж до можливості перепрошивки бортового комп'ютера. Перевага сканера в тому, що він не просто видає код помилки, а й дає докладну розшифровку пошкодження. Точно

визначає причини несправності і надає можливі варіанти рішення, а також визначає локацію несправності, коригуючи програмне забезпечення бортового комп'ютера. Вузька спеціалізація і багатофункціональність зумовлюють високу вартість таких приладів. Оскільки невірне налаштування і неправильне застосування сканера може привести до серйозних збоїв всієї електронної системи автомобіля;

- Портативний сканер. (рисунок 1.1.б) являється універсальним і компактним приладом, який видає код помилки і вказує місце поломки, маючи при цьому, невеликі габарити і задовільну вартість. Даний сканер підходить для індивідуального використання в невеликих автомайстернях;

- Мультимарочний сканер. (рисунок 1.1.в) на відміну від дилерського сканера має більш вузький набір діагностичних можливостей. Основна перевага сканера – універсальність із здатністю діагностувати практично всі сучасні марки автомобілів. Деякі моделі сканера дозволяють зробити безпечне налаштування бортового комп'ютера.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд сканерів : а - дилерський сканер концерну VAG; б - портативний сканер, в - мультимарочний сканер

Мультимарочні сканери мають переваги за рахунок їх універсальності і достатньої інформативності. Процес діагностування відбувається наступним чином: до бортової системи автомобіля через діагностичний роз'єм OBD2 підключається діагностичний прилад – сканер; сканер зчитує повну інформацію

про автомобіль і коди помилок. Поточні дані відображаються на одноканальному мультиметрі; показники транслуються на зовнішній комп'ютер. Комп'ютерна програма розшифровує отримані коди, і видає докладний звіт про реальний стан всіх електронних система втомобіля. Весь процес комп'ютерної діагностики займає від 10 хвилин до 2 годин.

Процес діагностування порівняно швидкий та досить ефективний спосіб визначення несправностей. На даний момент існує велика кількість мультимарочних діагностичних сканерів, у нашому випадку найбільш оптимальним є сканер Launch EasyDiag 3.0 (рисунок 1.2). Перевагами даного сканера є багатофункціональний інтерфейс, зв'язок з персональним комп'ютером за допомогою Bluetooth, можливість діагностування великої кількості моделей автомобілів.



Рисунок 1.2 Сканер Launch EasyDiag 3.0

Можливості комп'ютерної діагностики дають змогу оцінити загально-технічний стан двигуна, перевірити всі блоки управління, окремі вузли та агрегати. Сканер виконує багатоступінчасте обстеження двигуна, перевіряючи по черзі роботу паливної системи, а потім і керуючої системи.

У ході діагностування обов'язково аналізуються приведені дані: аналіз функціонування форсунок (їхньої електричної частини); зняття показників із всіх наявних датчиків температури; встановлення показників компресії в блоці двигуна (у циліндрах); замір величин вакуумних перетворювачів. Сканер оперативно здатний виявити більшість прихованих пошкоджень, невдаючись до розбирання двигуна і його агрегатів, що є перевагою даного типу діагностики.

Проте часто комп'ютерної діагностики недостатньо для локалізації і точного визначення несправності. Також складним завданням при

діагностуванні дизельних двигунів є визначення вузла, в якому відбулася поломка. На багатьох автомобілях відсутня єдина система електронного управління двигуном (ЕСУД), тому під час діагностування звертається увага на ознаки різних поломок, проводиться безліч складних операцій по діагностуванні. У зв'язку з цим фактором підтвердити та уточнити показники сканера можна при допомозі аналізу відпрацьованих газів автомобіля при допомозі газоаналізатора.

1.3 Шляхи пошуку несправностей дизельного двигуна з допомогою аналізу відпрацьованих газів

Одним із способів безрозбірного діагностування дизельних двигунів є аналіз відпрацьованих газів з допомогою газоаналізатора. У справного дизельного двигуна вихлоп газу має бути прозорим. Якщо дизельний двигун димить, це вказує про порушення у його роботі або несправності однієї або кількох систем двигуна. Залежно від їх походження, з'являється дим або пара з-під капота того або іншого кольору. Під час експлуатації автомобіля зустрічається дим трьох основних кольорів: сірий або чорний дим, який свідчить про неповне згоряння палива; блакитно-синій або сизий колір диму вказує на чадмастила та деякі інші причини; білі пухнасті хмари - попадання охолоджувача в камеру згоряння.

Короткочасний білий дим після запуску двигуна не є ознакою несправності двигуна. У цьому випадку відбувається випаровування конденсату, утвореного в глушнику при стоянці автомобіля. У таблиці 1.1 приведено параметри, які регламентують максимальний вміст шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, а також вказують на можливі несправності у системах дизельного двигуна.

Таблиця 1.1 - Норми хімічних елементів для дизельного двигателя та причини невідповідності

Хімічний елемент	Норма для дизельного двигуна	Причина невідповідності нормі
Азот (N ₂)	76 - 78%	Об'єднаний склад паливної суміші, перероблене паливо
Кисень (O ₂)	0.5% макс.	Негерметичність впускного колектора
Оксид вуглецю (CO)	0.01 - 0.5%	Засорення фільтрів, завищене тиснення палива в системі вприскування, перероблене паливо
Вуглекислий газ (CO ₂)	1.0 - 10%	Засмічення фільтрів, перевищений тиск палива, перероблене паливо
Вуглеводні (C _x H _y)	50 ppm макс.	Протоки запалення (нестійкість свічки запалювання),

Аналіз відпрацьованих газів повинен проводитися при допомозі газоаналізаторів, які визначають концентрації оксиду вуглецю (3I), діоксиду вуглецю (CO₂), вуглеводнів (C_xH_y), кисню (O₂), оксидів азоту (NO_x), азоту (N₂). Загальне призначення газоаналізаторів - вимірювання та аналіз газових сумішей для визначення їх кількісного та якісного (об'ємного та відсоткового) складу. Газоаналізатор використовується при вимірі кількості шкідливих викидів у вихлопних газах ДВЗ, які працюють на дизельному паливі Для вимірювання необхідних показників підходить переносний газоаналізатор Інфракар Д, показаний на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 Загальний вигляд газоаналізатора «Інфракар»,

Пошук несправності з газоаналізатором типу «Інфракар», як і перегляд пам'яті несправностей, добре підходять для попереднього визначення дефектів, так як в перебіг короткого часу дають напрямок для подальших перевірок. Сучасні газоаналізатори високого класу, крім надійності і зручності в роботі, мають безліч додаткових функцій. Вони можуть вимірювати частоту обертання колінчастого валу двигуна, температуру масла, а також запам'ятовувати проміжні протоколи вимірювань і передавати результати на персональний комп'ютер або друкувати їх на вбудованому принтері. Зв'язок із персональним комп'ютером має велике значення, оскільки це дозволить одночасно обробити дані з діагностичного сканера та з газоаналізатора, що дозволить набагато зручніше порівняти і проаналізувати отримані дані.

1.4 Діагностування несправностей дизельного двигуна з використанням датчиків тиску

При діагностуванні системи живлення двигуна вимірюють тиск в контурах низького та високого тиску палива, для того щоб перевірити достатність тиску палива, який створюється перед паливним насосом високого тиску, а також перевірити тиск у паливній рампі. Для вимірювань використовуються механічні тестери паливної системи (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Тестер паливної системи двигуна

На практиці більш зручним є використання електронних тензометричних датчиків (рисунок 1.5). Такі штатні датчики встановлюються на паливній рампі, а також в контурі низького тиску палива.



Рисунок 1.5 – Тензометричний датчик тиску

Тензометричні датчики тиску мають достатню точність вимірювань, а при комплексній діагностиці двигуна їх використання дозволяє порівняти отримані дані з іншими тестерами, оскільки дані одержуємо в електронному вигляді. Таким чином можна порівняти результати, отримані зі штатних датчиків зняті за допомогою комп'ютерної діагностики та показання з діагностичних датчиків. Через великі пробіги або жорсткі умови експлуатації штатні датчики тиску можуть виходити з ладу і видавати невірні показники.

Конструктивну основу датчика становить сенсорний елемент, який поєднує сталеву мембрану та тензорезистори. Схема конструкції датчика показано на рисунку 2.6. Товщина сталеві мембрани відповідає вимірюваному

тиску (чим товстіша мембрана, тим більший тиск).

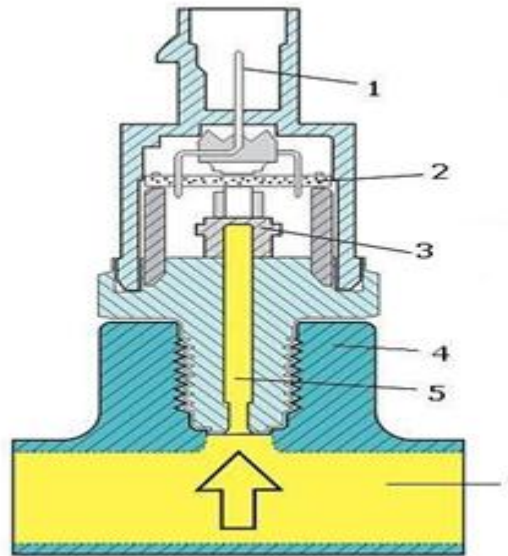


Рисунок 1.6 Конструктивна схема датчика тиску: 1 - електричний роз'єм, 2- електронна схема, 3 - сенсорний елемент, 4 - паливна рампа, 5 – штуцер, 6 – паливо.

Тензорезистори перетворюють деформацію сталевих мембран на зміну електричного опору. Тензорезистори з'єднані і до них через підсилювач подається напруга. Робота датчика тиску палива здійснюється в такий спосіб. Через штуцер паливо потрапляє до сталевих мембран, яка прогинається пропорційно до величини тиску. Відповідно змінюється величина опору тензорезисторів. Так як тиск у контурі низького та високого тиску сильно відрізняється, необхідні датчики з граничним тиском до 7 бар для контуру низького тиску та для контуру високого тиску до 2000 бар. Встановлюються датчики у паливопровод за допомогою переходників залежно від марки та моделі автомобіля.

1.5 Обґрунтування розробки способу діагностування

Виходячи з першого розділу, в якому проаналізовано основні несправності систем живлення дизельних двигунів, видно, що діапазон їх несправностей досить широкий. Сучасні підходи до діагностування інформативні та точні, проте дуже трудомісткі та вимогливі до високого рівня кваліфікації майстра, до того ж ні один з наявних методів діагностування не дозволяє отримати повну картину параметрів роботи двигуна.

Пропонується використовувати метод діагностування згідно з яким одночасно можна отримати більш широкий спектр параметрів роботи двигуна. Досягнути цього можливо знявши дані з різних вузлів автомобіля.

Показники, які необхідно зняти з даних вузлів: блок управління двигуном; аналіз відпрацьованих газів; тиск пального в контурі низького тиску; тиск пального в контурі високого тиску.

Зняті параметри виводяться на екран комп'ютера, де з'являється можливість порівняти дані з блоку управління двигуном з накладних датчиків, так як у датчиків автомобіля є ймовірність виходу з ладу внаслідок тривалого часу експлуатації. Так само в окремому рядку відображатимуться можливі несправності, пропоновані програмою на основі порівняння отриманих даних з еталонними для даного автомобіля та проаналізовано за таблицями створеними багаторічним досвідом.

Таким чином даний підхід дозволяє без зняття та розбирання двигуна і його вузлів виявити несправності в системі живлення автомобіля. Програмне забезпечення аналізуючи дані, дозволяє залучати до діагностики менш кваліфікований персонал, для отримання попередніх результатів діагностування. За рахунок наявності більшої кількості параметрів, які вимірюються можна робити висновки про роботу практично всіх вузлів системи живлення, від підкачувального насоса до форсунок та паливного насоса високого тиску, а також про роботу багатьох датчиків. Аналіз відпрацьованих газів дозволяє зробити багато висновків, як про функціонування системи живлення, так і про роботу всього двигуна.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Методи діагностики систем живлення дизельних двигунів автомобілів

Серед серійних двигунів сучасних легкових та вантажних автомобілів для яких характерний високий рівень надійності та довговічності, як двигуна в цілому, так і основних його вузлів і агрегатів являється ДВЗ. Для зменшення ризиків відмови в процесі експлуатації автомобіля двигуна, необхідна своєчасна заміна його деталей, які вийшли з ладу, в тому числі по причині інтенсивного зносу. Для цього, на сучасних станціях технічного обслуговування проводять планові технічні огляди та діагностування для виявлення існуючих несправностей та можливостей появи нових у роботі дизельного двигуна.

До найбільш поширених відхилень під час експлуатації двигуна, і які інформують про його несправну роботу відносять:

- затруднений запуск двигуна: інтенсивне зношування поверхонь тертя деталей нагнітального насосу для високого тиску; неправильно встановлений кут випередження для подачі робочого палива у двигун; порушення нормального режиму розпилення палива внаслідок зношування робочих поверхонь розпилювачів; критично низький тиск упорскування палива; вплив повітря, яке попало в систему подачі палива, а також засміченні паливні проводи та фільтри очистки, які призводять до нестачі палива перед насосом високого тиску; загучене паливо (влив мінусових температур); недостатня кількість палива при запуску двигуна через порушення роботи регулятора подачі; несправність у роботі свічок розжарювання.

- зниження показників потужності двигуна: інтенсивне зношування поверхонь тертя прецезійних деталей паливного насосу для високого тиску, або механізму регулювання; неефективне регулювання насосу високого тиску або регулятора при різних режимах роботи; інтенсивне зношування та критичне пошкодження робочих поверхонь розпилювачів; неоптимальний кут випередження режиму впорскування; критичне зниження величини тиску при

впорскуванні; вплив попадання деякої кількості повітря в систему подачі палива, сторонні продукти на поверхні паливного фільтра, неефективна робота паливного насосу, незадовільна кількість палива в системі нагнітання призводять до інтенсивного зношування або пошкодження поверхонь розпилювачів:

- на підвищену витрату палива у двигуні впливають: неправильно встановлений кут випередження впорскування палива; інтенсивне зношування робочих поверхонь системи нагнітання насосу високого тиску; неправильно відрегульований насос високого тиску; інтенсивне зношування та пошкодження поверхонь розпилювача; критичне зниження тиску при впорскуванні палива; забруднення повітряного фільтра, а також непередбачуваний витік палива і мала компресія.

- поява чорного димного вихлопу: надмірне подання палива окремими секціями насосу високого тиску; затримка при впорскуванні палива; пониження тиску для відкриття форсунок; збільшення розмірів отворів розпилювача форсунок; вплив нагару і нещільного закриття клапанів на процес сумішоутворення в камері згоряння; необґрунтовано вибрані зазори в клапанах, а також низька компресія.

- вплив неправильного режиму випередження впорскування палива, а також низька компресія, переохолоджений двигун, пробиття прокладки головки блоку циліндрів на появу сірого або білого димного вихлопів.

- перехід роботи двигуна у жорсткий режим через раннє впорскування палива, значної різниці між подаючими дозами палива, малою компресією.

- можливість перегріву двигуна через неправильно встановлений кут випередження впорскування палива при його поганому розпиленні форсунками.

- фактори, які впливають на неповну потужність двигуна: неоптимальний натяг педалі акселератора; забруднення повітряного фільтра; попадання повітря в систему живлення; пошкодження паливо проводів; несправність механізмів кріплення розпилювачів форсунок; несправність

розпилювачів; несправність паливного насосу високого тиску.

- на підвищення шуму під час роботи двигуна впливають: відмови в роботі розпилювачів через суттєве забруднення в системі живлення; відсутність або погане встановлення ущільнювальних шайб під розпилювачами; попадання повітря в систему живлення.

- причини появи нерівномірної роботи двигуна в режимі холостого ходу: неоптимальний вибір обертів при холостому ході; послаблення паливного проводу при подачі палива від паливного насосу високого тиску до паливного фільтру; пошкодження опорної частини насосу високого тиску; зависають нагнітальні клапани; несправності при подачі палива, в роботі розпилювачів, несправність форсунок; вихід з експлуатації регулятора частоти обертання колінчастого валу, а також неправильно підібрано час випередження впорскування.

- до основних причин, які призводять до появи коливання частоти обертання колінчастого валу відносяться: інтенсивне зношування робочих поверхонь регулятора оборотів колінчастого вала; зношування поверхонь деталей системи впорскування палива або її роз регулювання; надмірна кількість повітря в паливній системі, а також підвищений тиск газів в картері.

- до раптової зупинки двигуна автомобіля призводять: надмірне самовільне зміщення кута випередження при нагнітанні палива; засмічений паливний фільтр, і як наслідок недостатня подача палива в насос високого тиску; інтенсивне зношування та перекося поршня-розділювача, поршнів насосу високого тиску.

- через несправність форсунок у циліндрах двигуна вихід з ладу свічок запалювання.

- неможливість зупинити двигун через несправну роботу запірного електромагнітного клапана.

- підвищення рівня мастила в картері двигуна внаслідок його витікання через механізми приводу насосу високого тиску.

- недостатнє гальмування автомобіля двигуном через засмічення зливних паливних проводів та неправильно підібрані прискорені обороти

холостого ходу двигуна.

2.2 Методи діагностування дизельних двигунів автомобілів та їх характеристики

При діагностуванні дизельних двигунів автомобілів використовують, як правило наступні основні методи: візуально-акустичний огляд двигуна в цілому та його основних вузлів; вимірювання основних кінематичних та силових параметрів двигуна; комп'ютерне діагностування робочого стану двигуна, його вузлів та агрегатів.

Візуально-акустичний огляд двигуна. Даний метод дозволяє виявити найбільш суттєві несправності в роботі дизельних двигунів, оцінити технічний стан, як окремих деталей двигуна, так і його робочих вузлів та агрегатів по якості повітряних фільтрів, характерному звуку вихлопних газів. Одержана інформація при використанні даного методу доволі обмежена і використовується він, як правило разом з іншими методами.

Більш інформативним методом діагностування дизельних двигунів являється метод більш точного визначення та аналізу його основних несправностей, які характеризують технічний стан автомобіля в цілому. При даному методі вимірюються величина відносної компресії, витоки мастила в циліндрі та інші.

Серед переваг методу комп'ютерної діагностики відноситься можливість виявлення поломок в електронній системі, яка управляє роботою двигуна. Сучасне програмне забезпечення даного методу дозволяє точно та оперативно реагувати на появу несправностей у двигуні шляхом контролю показників датчиків та відповідної електроніки.

2.3 Поелементне діагностування і усунення несправностей двигуна

Поелементне діагностування двигуна включає: перевірку роботи форсунок, перевірку на стендах паливних насосів високого тиску (ПНВТ), діагностування паливного і паливно-підкачувальних насосів. Якість роботи

форсунки можна перевірити на працюючому двигуні. Для цього послаблюють гайку кріплення паливного проводу високого тиску до форсунки. Якщо форсунка справна, то при її вимкненні зміняться звук роботи двигуна і димність вихлопу. При несправній форсунці звук роботи двигуна змінюється незначно або не змінюється зовсім.

Для зняття форсунок від'єднують паливні проводи високого тиску та трубку скидання палива, потім форсунки вивертають. При установці форсунок їх затягують з необхідним моментом динамометричним ключем із заміною ущільнювальних шайб. Перевищення моменту затягування форсунок може спричинити деформацію різьби головки блоку, поява тріщин припливу на головці у місці кріплення форсунки, застрягання голки та інші несправності.

Працездатність знятих форсунок перевіряють на спеціальних стендах з ручним або електричним приводом насосу. У якості технологічної рідини для перевірки форсунок старих конструкцій паливної апаратури використовують суміш відстояного дизельного палива марки «Л» з веретенним або авіаційним маслом; в'язкість суміші 9,9...10, 10^6 м/с. Для перевірки форсунок конструкцій паливної апаратури з електронним керуванням використовують спеціальну рідину у відповідності з міжнародним стандартом ISO 4113.

Для випробування форсунок на стенді KI-3333A (рисунок 2.1) форсунку 2 вставляють у спеціальний пристрій для кріплення 10. Діючи рукояткою 9 із швидкістю 60...80 коливань за хвилину, наповнюють канали форсунки паливом до появи струменя палива з розпилювача 3а манометром 4 визначають тиск на початку впорскування, одночасно перевіряють якість розпилення палива форсункою. Розпилене паливо відсмоктується вентилятором, який має привід від пневмотруби або електродвигуна. Паливо впорскується в прозору камеру 3 з підсвічуванням.

Герметичність розпилювача по замикаючому конусу перевіряють при відрегульованому тиску початку впорскування, після чого знижують тиск на 1,0...2,5 МПа. Цей тиск утримується на протязі 10с. Потім до голівки розпилювача притискають аркуш чистого паперу; якщо папір залишається сухим або на ній є волога пляма діаметром до 3 мм, то це вказує на

герметичність розпилювача; якщо діаметр вологої плями більше 3 мм або папір вологий, значить, розпилювач негерметичний.

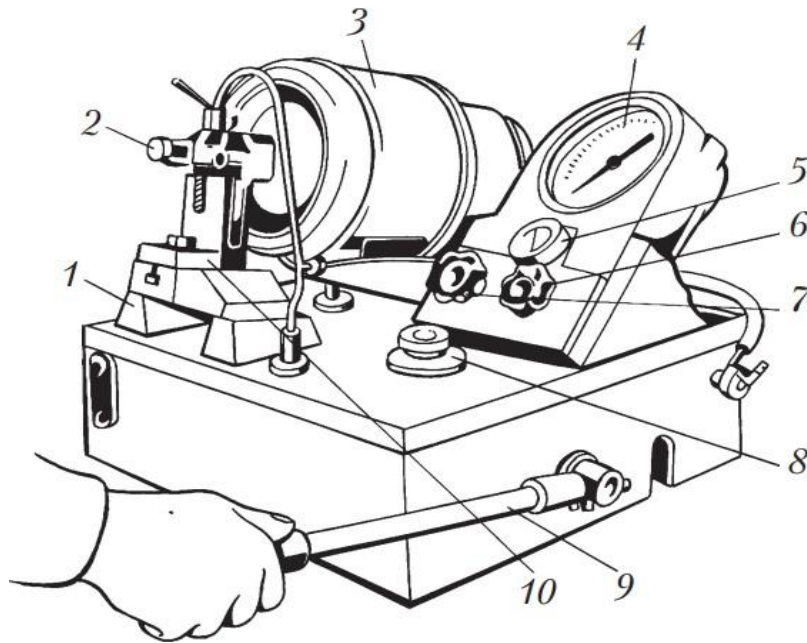


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд стенду KI-3333A для випробування форсунок: 1 корпус; 2 - форсунка; 3 - камера впорскування; 4 - манометр; 5 - секундомір; 6, 7 - рукоятки клапанів відповідно манометра та насоса; 8 - пробка заливної горловини для палива; 9 - рукоятка приводу насоса; 10 - пристрій для кріплення форсунки.

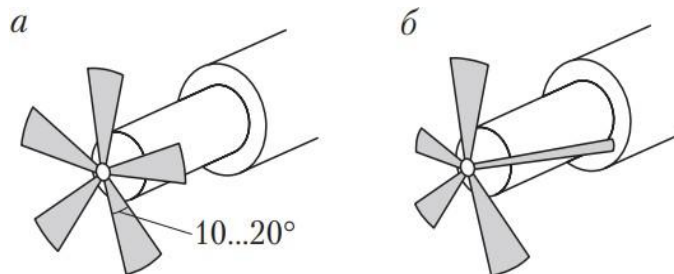


Рисунок 2.2 - Форма струмені розпилу палива форсункою: а - правильна; б - неправильна.

Якщо тиск палива не відповідає заданим діапазнам, необхідно розібрати форсунку і замінити регулювальну шайбу (легкові автомобілі) або відрегулювати тиск з допомогою регулювального гвинта (вантажні автомобілі).

При перевірці форсунок частота коливань важеля повинна бути 60...90 за хвилину. Дизельне паливо, яке розпилюється, і виходить з розпилювача форсунки, має бути туманоподібним, тобто. без помітних окремих крапель, суцільних струйок і легко розрізняються місцеві згущення. Струмінь палива

повинна бути з явно вираженим конусом $10 \dots 20^\circ$ (рисунк 2.2). Характерний «детонаційний» звук при перевірці форсунки не повинен сприйматися як її несправність. У разі незадовільних результатів перевірки форсунки розбирають і очищають. Для перевірки форсунок без зняття їх з двигуна можуть застосовуватись більш прості прилади типу Forsage F-905G13 (рисунк 2.3), перевагою яких є можливість проведення перевірки безпосередньо на дизельному двигуні без зняття форсунок.



Рисунок 2.3 – Прилад для перевірки форсунок без демонтажу

Прилад складається з штуцера 1 для приєднання форсунки до паливного проводу, манометра 2, насоса 3. З допомогою такого приладу можна контролювати тиск на початку впорскування та герметичність посадки голки форсунки.

Поетапне діагностування включає перевірку ПНВТ на стенді. Сучасний стенд для перевірки паливних насосів дизельних двигунів (рисунк 2.4) складається з корпусу 1, на який встановлюють насос для перевірки приведений, в дію за допомогою електродвигуна стенда через сполучну муфту 2. Зміна частоти обертання електродвигуна стенда здійснюється рукояткою 3. Паливо від контрольного насоса подається до еталонних форсунок стенда 4, які закріплені на стійці. Контроль за роботою форсунок здійснюють по монітору чи безпосередньо по мензурках, в які виливається паливо з контрольних

форсунок. Для визначення тиску і розрідження палива при роботі ПНВТ передбачений блок манометрів 3 та вакуумметр.



Рисунок 2.4 – Стенд для перевірки плунжерних паливних насосів
дизельних двигунів

У зв'язку з зростаючими вимогами до зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів та підвищення ефективної потужності дизеля зростає потреба в більш точній діагностиці і регулюванні ПНВТ.

Регулювання ПНВТ здійснюється на спеціалізованому стенді, який відтворює умови роботи паливної апаратури на дизельному двигуні. Так як конструкції ПНВТ мають як загальні конструктивні особливості, так і значні відмінності, особливо в частині електронного управління, тому важливо знайти оптимальний баланс між функціональним виконанням стенду, необхідним для регулювання ПНВТ, і витратами на придбання необхідного обладнання відповідної якості.

2.4 Перевірка датчиків і виконавчих механізмів систем живлення дизельних двигунів з електронним управлінням

Більшість датчиків та виконавчих механізмів можна перевірити з допомогою осцилографа (осцилоскопа) та мультиметра (тестер). При пошуку несправностей в електричних пристроях, для перевірки параметрів, які при

роботі не змінюються або змінюються повільно (наприклад, напруга живлення, опір тощо), у більшості випадків підходить мультиметр з цифровим дисплеєм, який дозволяє визначати вимірювані параметри з великою точністю. Для реєстрації величин, які часто змінюються за короткий проміжок часу, застосовують осцилограф. За формою кривої напруги можна зробити висновки про несправності не тільки неелектричних систем, наприклад, по кривій напруги датчика і частоти обертання колінчастого вала дізнатися можна про механічному пошкодження або забруднення датчика верхньої мертвої точки (ВМТ). Використовуючи вимірювальні дані осцилографа, можна швидко встановити осі часу і напруги, а також рівень запуску розгортки. Комп'ютеризоване виконання осцилографів дозволяють також запам'ятовувати зображення вимірюваних параметрів.

Датчики представляють собою вимірювальні перетворювачі, які перетворюють фізичні величини (тиск, температуру та ін.) на електричний сигнал. У більшості випадків використовується аналоговий сигнал напруги, яка змінюється відповідно до зміни вимірюваної фізичної величини. Розрізняють датчики з електричним живленням і без нього. Датчики з електричним живленням мають триштиркові роз'єми (наприклад, датчик Холла, датчик тиску, датчик масової витрати повітря), а датчики, які не мають живлення, двоштиркові роз'єми (наприклад, індуктивний датчик частоти обертання колінчастого вала або одновольтового зонда).

У датчиках з електричним живленням насамперед слід перевірити наявність напруги живлення, що у більшості випадків становить 5,0 В. Рідко використовується акумуляторна батарея. Напруга сигналу датчика 0,2...4,8 В. При напрузі 0 або 5 В блок управління показує помилку: 0 В вказує на розрив, а 5 В - на коротке замикання.

Перетворення електричних команд блоку управління на механічні, пневматичні або гідравлічні виконавчі процеси відбувається, як правило, за допомогою електромагнітів. Найчастіше електромагніти є складовою частиною електромагнітних клапанів, однак можуть впливати на виконавчий механізм безпосередньо, наприклад, через поворотний магніт в механізмі управління

розподільчого паливного насосу з електронним керуванням. Для плавної зміни зусилля або величини відкриття електромагнітного клапана блок управління постійно включає і вимикає електромагніти.

Відношення часу включеного стану до всього періоду називається шпаруватістю і вимірюється в відсотках. При цьому, час одного циклу включення і виключення приймається за 100 %. Сила струму регулюється зміною відносин між часом включеного і вимкненого станів. Цей спосіб управління називається широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ). Він використовується в системі запалення, де існує поняття «кут замкнутого стану контактів переривника». Управління здійснюється відповідно із способом роботи інтерфейсу комп'ютера.

Для перевірки електричного виконавчого механізму осцилограф приєднують до «масового» керуючому дроту, блоку управління і «маси» двигуна. Після приєднання вимірювального приладу необхідно перевірити, чи є шпаруватість і чи змінюється вона відповідно до робочого режиму. Якщо свердловість не визначається, опитуванням пам'яті несправностей необхідно перевірити, чи немає блоку управління причини відмови у роботі. Рециркуляція ОГ, наприклад, відключається при виході з ладу масового вимірювача витрати повітря. Якщо в пам'яті несправностей немає відомостей про несправність, то дефект знаходиться в схемі перемикачів. Напруга 12 В означає, що система електроживлення виконавчого механізму та обмотка котушки електромагніту справні. Дефект повинен бути між негативним полюсом обмотки котушки і «масою» двигуна. Якщо керуючий провід, від блоку управління, і «масовий» провід в порядку, причину несправності слід шукати в роботі блоку управління.

2.5 Порядок перевірки тиску в системі живлення дизельного двигуна автомобіля

Недостатній тиск палива в системі живлення дизельного двигуна призводить до появи деяких несправностей, основні з яких: нестабільність в роботі двигуна; під час холостого ходу часті зупинки двигуна; вплив холостого ходу на зниження частоти обертання колінчастого валу; недовантаженість

автомобіля під час експлуатації через недостатню потужність двигуна; поява ривків та часті зупинки двигуна під час експлуатації автомобіля.

Забезпечення та підтримування необхідного тиску для системи живлення ДВЗ здійснюються у два етапи: за допомогою паливного модуля, який встановлений в баку, забезпечується робочий тиск в межах 0,3 МПа, який необхідний для трубопроводу низького тиску, що розташований відповідно між насосом для великого тиску та паливним баком. Для режиму холостого ходу необхідно забезпечити тиск 0,7 МПа, а при підвищенні частоти обертання колінчастого вала і збільшені навантаження на двигун необхідний тиск становить 0,3 МПа. Зміна тисків відбувається з використанням блоку управління двигуном. Для обмеження підвищення робочого тиску до його максимального (допустимого) значення в паливний модуль встановлено зворотній клапан. За допомогою насосу високого тиску, який встановлений на голівці блоку циліндрів ДВЗ, робочий тиск в межах 0,7...0,8 МПа регулюється в трубопроводі високого тиску, який розташований між паливною рампою та насосом високого тиску.

Для паливного насосу низького тиску та форсунок, які входять в систему впорскування палива і відповідають за його подачу необхідно регулярно перевіряти надійність електричних контактів колодок джгутів проводів. З метою перевірки тиску палива на першому рівні, тобто в трубопроводі низького тиску використовують манометр в комплекті із перехідним шлангом для з'єднання з перехідним штуцером насоса високого тиску.

Для проведення перевірки тиску палива в системі живлення необхідно понизити його значення і перевірку проводити через 2...3 год при зупиненому двигуні. За період простою двигуна робочий тиск в системі знижується до нуля. Перед запуском двигуна так початком вимірювання тиску необхідно послабити хомут, який кріпить трубопровід низького тиску стиснувши відігнуті вусики, від'єднати трубопровід від штуцера насоса високого тиску і встановити манометр між штуцером насоса та паливним шлангом.

Серед основних факторів, які впливають на суттєве зниження тиску палива в системі живлення слід відмітити: несправна робота регулятора

робочого тиску палива; не відрегульований режим роботи паливного насоса; засмічені фільтри, як грубого так і тонкого очищення палива.

На величину робочого тиску палива в системі живлення впливає технічний стан паливного насоса високого тиску. З метою перевірки робочого стану паливного насоса в контрольну пробку, яка знаходиться на вихідному штуцері насоса знімають і на її місце встановлюють перехідний шланг манометра. Запуск двигуна здійснюється при частоті обертання колінчастого вала 1500 об/хв., яку контролюють за допомогою тахометра, для забезпечення тиску палива у нагнітальному трубопроводі в межах 0, 73...0,83 МПа. При меншому значенні тиску необхідна заміна насосу.

2.6 Характеристика несправностей насос-форсунки дизельних двигунів та способи їх діагностування.

Конструктивно насос-форсунки, які використовуються в дизельних двигунах, складаються з трьох основних підсистем: підсистема для подачі палива з низьким тиском; підсистема для подачі палива з високим тиском; підсистема для подачі повітря а також для випуску відпрацьованих газів. З метою подачі робочого палива до насоса високого тиску та його очищення використовують підсистему його подачі для низького тиску. При впорскуванні палива в камеру згоряння і забезпечення високого тиску, використовують підсистему для подачі палива високого тиску. При очищенні повітря під час його надходження у циліндри двигунів та для необхідного очищення відпрацьованих газів на етапі її виходу із циліндрів використовують підсистему подачі повітря та випуску відпрацьованих газів із набором необхідних контролюючих приладів. На рисунку 2.5 представлена компоновочна схема системи живлення для дизельного двигуна в комплекті з насос-форсунками.

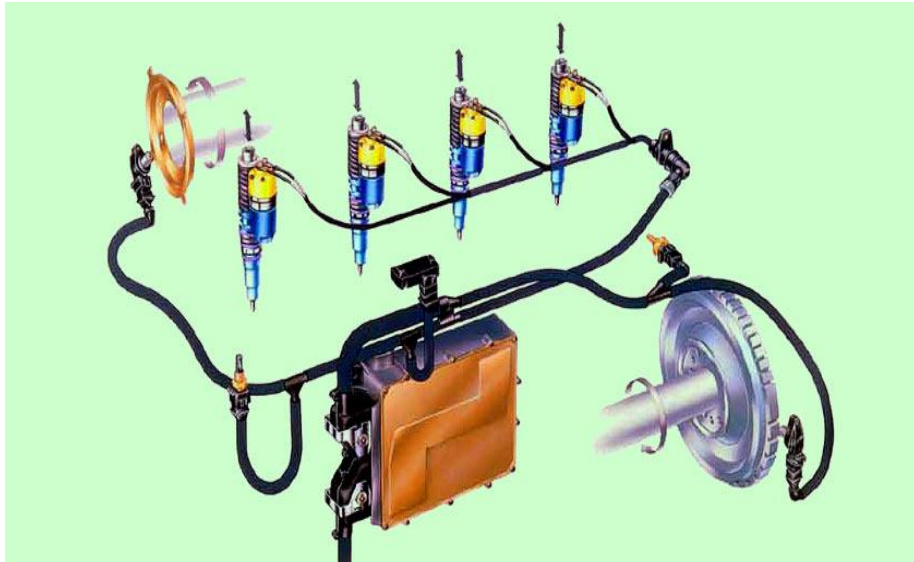


Рисунок 2.5. - Система живлення дизельного двигуна з насос-форсунками: 1- паливний бак; 2 - паливопровід до додаткового обігрівача; 3 - охолоджувач палива; 4 - датчик температури палива; 5 - обмежувальний клапан у зливному трубопроводі; 6 - зливний трубопровід; 7 - розподільник палива; 8 - трубопровід високого тиску; 9 - насос-форсунка; 10 - насос високого тиску; 11 - редукційний клапан в трубопроводі подачі палива; 12 - зворотний клапан; 13 - паливний фільтр; 14 - трубопровід низького тиску; 15 - насос низького тиску.

Розташований в баку електричний насос низького тиску 15 підкачує паливо до фільтру. Зворотний клапан 12 запобігає зливу палива з розподільника 7 і трубопроводу низького тиску 14 в бак після зупинки двигуна. Насос високого тиску 10 служить для перекачування палива з фільтра і подачі його під підвищеним тиском до насос-форсунок. Редукційний клапан 11 підтримує тиск палива, яке подається до насос-форсунок в межах 0,75 ... 0,85 МПа. Обмежувальний клапан 5 утримує тиск палива в зливному трубопроводі на рівні 0,1 МПа, завдяки йому знижуються пульсації тиску в системі.

Паливопідкачувальні насоси можуть бути як із внутрішнім зачепленням шестерень, так і шибєрні. Максимальний тиск, який розвивається насос-форсунками, складає 250,0 МПа. Основні перевірки таких систем здійснюють із використанням сканера для діагностування електронних систем управління двигуном, однак окремі перевірки можуть бути проведено і більш простими методами.

2.7 Регулювання насос-форсунки після її установки

Після встановлення насос-форсунки необхідно встановити регулювальний гвинт 4 (рисунок 2.6) найменшу відстань між корпусом камери високого тиску та плунжером в його нижньому положенні.

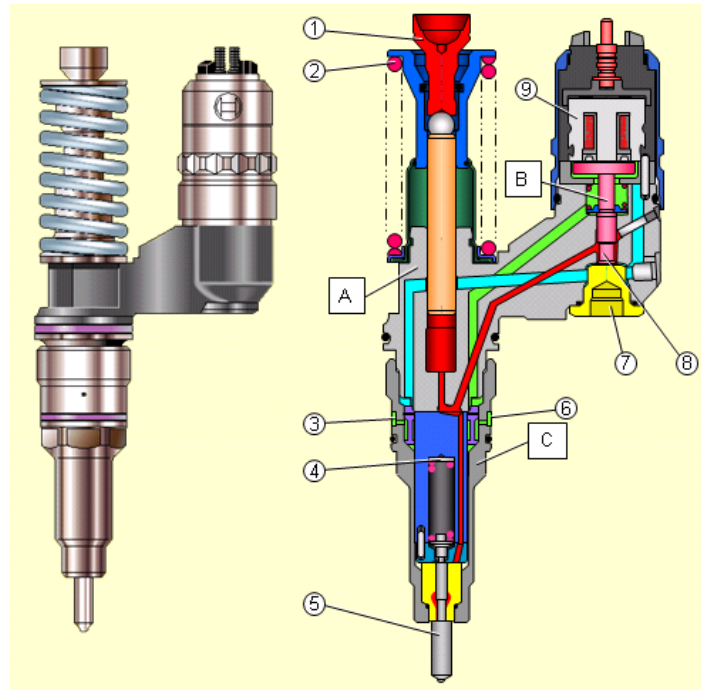


Рисунок 2.6 – Схема насос-форсунки: 1- Пружина клапана, 2 - Форсунковий корпус, 3 - Направляючий елемент, 4 - Розпилювач, 5 - Канали подачі палива, 6 - Паливний шток (плунжер), 7 - Клапан високого тиску, 8 - Канали відведення надлишкового палива, 9 - Соленоїдний клапан.

Завдяки такому регулюванню виключається удар плунжера до дна камери високого тиску внаслідок його подовження при нагріванні. Для цього колінчастий вал двигуна повертають настільки, щоб кулачок розподільчого валу 2 встановився виступом нагору, а плече коромисла 3 з роликом опинилося в самому нижньому положенні. Потім відпускають контргайку 5 і повертають регулювальний гвинт 4 до упору в плунжер. Після цього вивертають регулювальний гвинт на 225° і, не змінюючи його положення, затягують контргайку.

Очищення насос-форсунок здійснюється в ультразвуковій ванні. Корпус форсунок, по можливості, повинен бути спрямований сопловими отворами

вниз. При огляді насос-форсунки на поршні та на пластині накопичувача, на сидлі голки і голці не повинно бути слідів тріщин, корозії і інших ушкоджень. Сідло поршня клапана не повинно допрацьовувати до пластини клапана. Поршень клапана і голка форсунки повинні легко рухатися. Голка форсунки не повинна допрацьовуватися до шайби, на якій не має бути слідів кавітації.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка способу діагностування систем живлення дизельного двигуна

Сучасний підхід до діагностування двигуна і зокрема систем живлення має на увазі комп'ютерну діагностику блоку керування автомобіля. Використовуючи діагностичний сканер Launch EasyDiag 3.0, підключаємо його через діагностичний роз'єм OBD2. Запускаємо двигун і аналізуємо отримані параметри роботи двигуна, в деяких випадках сканер автоматично вказує на несправність і описує способи усунення. Однак найчастіше даних отриманих за допомогою комп'ютерної діагностики, достатньо для того, щоб точно встановити несправність. Іноді сканер не бачить неполадок, незважаючи на те, що двигун працює некоректно або зовсім не запускається. У таких випадках необхідний більш комплексний підхід до діагностування. Для отримання додаткової інформації підключаємо до автомобіля газоаналізатор Інфракар Д.

Послідовність підключення газоаналізатора Інфракар Д: до гнізда задньої панелі підключити кабель з датчиком – тахометр; встановити зонд газозабірної прилади в вихлопну трубу автомобіля до упору та зафіксувати його затискачем; натиснути і утримувати кнопку «0» протягом 2 секунд, запустивши процедуру автопідстроювання нуля. Підстроювання нулів проводиться перед кожним виміром. Після підстроювання нулів прилад переходить в режим вимірювання. Також необхідно підключити прилад Інфракар до персонального комп'ютера, для додаткового аналізу отриманих даних коефіцієнтапоглинання.

Підключити датчики тиску до контуру низького та високого тиску. Показники датчиків надходять в персональний комп'ютер. Запускаємо двигун і починаємо повну діагностику. На екрані персонального комп'ютера відображатимуться дані із сканера Launch.

Газоаналізатор дозволяє виміряти коефіцієнт поглинання К значення якого наведено на таблиці під капотом або є в вільному доступі для кожної моделі автомобіля. Програма проводить порівняння отриманих даних з

допустимими і базуючись на створених таблицях для пошуку несправностей і видає попередні причини несправностей (таблиця 3.1). Показники датчиків тиску палива так само надходять на персональний комп'ютер і відображаються на екрані. І, як і у випадку з газоаналізатором проводиться порівняння з допустимими значеннями.

Таблиця 3.1 Пошук несправностей за вимірами димності відпрацьованих газів:

Потужність двигуна	Величина димності при вільному прискоренні			Причина появи димності
	Холостий хід	Повне навантаження	Обороти регулятора	
+	н	+	н	Тюнінг, занадто велике подання на повне навантаження і частота обертання регулятора
-	н	-	н	Занадто низька величина подачі та тиск наддува, блок управління в аварійному режимі, несправний вимірник витрати повітря
н(-)	н	+	н	Несправність в системі рециркуляції, забруднений повітряний фільтр, несправний турбокомпресор
-	н	+	н	Екстримально ранній початок подачі, жорсткий шум згоряння
-	+	+	н	Занадто пізній початок подачі
-	н	н(+)	+	Несправний механізм випередження впорскування
-	+	+	+	Дефектний розпилювач, стукіт процесу
-	+	+	+	Заправка не тим паливом
н	+	+	+	Перевитрата мастила (блакитний дим). Несправність двигуна або турбокомпресора

«н» - нормальна величина; «+» - високі значення; «-» - низькі значення

Схема роботи даного методу діагностування приведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Схема роботи методу діагностування

Етап	Опис
Комп'ютерна діагностика (Launch)	Порівняння отриманих показників із допустимими
Газоаналізатор (Інфракар)	Порівняння отриманих показників із допустимими
Датчик тиску у контурі високого тиску	Порівняння отриманих показників із допустимими
Датчик тиску у контурі низького тиску	Порівняння отриманих показників із допустимими
Персональний комп'ютер	Порівняння результату з усіх засобів діагностики та визначення можливої несправності: - Відображення результатів комп'ютерної діагностики - Відображення показників газоаналізатора - Відображення показників датчика тиску у контурі низького тиску - Відображення показників датчика тиску у контурі високого тиску

Даний метод дозволяє скоротити час необхідний для діагностування, а також дає можливість проводити діагностику менш кваліфікованим спеціалістом. До того ж, значно легше локалізувати несправність.

Послідовність процесу діагностування: провести комп'ютерну діагностику, так як її проведення необхідні менші витрати часу, що дозволяє отримати достатньо інформації для попередньої оцінки стану двигуна; підключаємо сканер Launch EasyDiag 3.0 через діагностичний роз'єм OBD2 покази сканера надходять на персональний комп'ютер; включаємо запалення, в такому режимі можна прочитати коди несправностей якщо вони є, якщо коди

На рисунку 3.1 показано нормальну роботу системи живлення автомобіля Mazda BT-50.

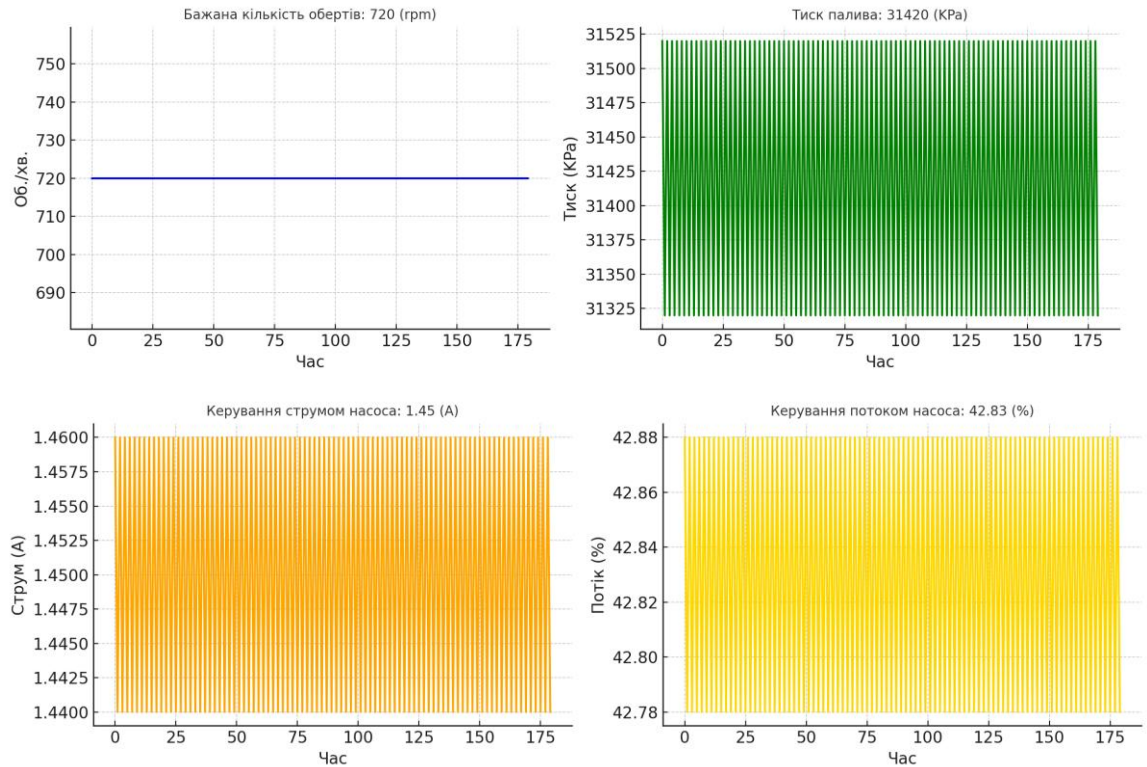


Рисунок 3.1 - Основні показники параметрів системи живлення справно працюючого двигуна

При таких отриманих даних, якщо немає жодних ознак несправності в застосуванні додаткових засобів діагностики немає необхідності. На рисунку 3.2 показані параметри роботи автомобіля з несправністю електричної частини форсунки.

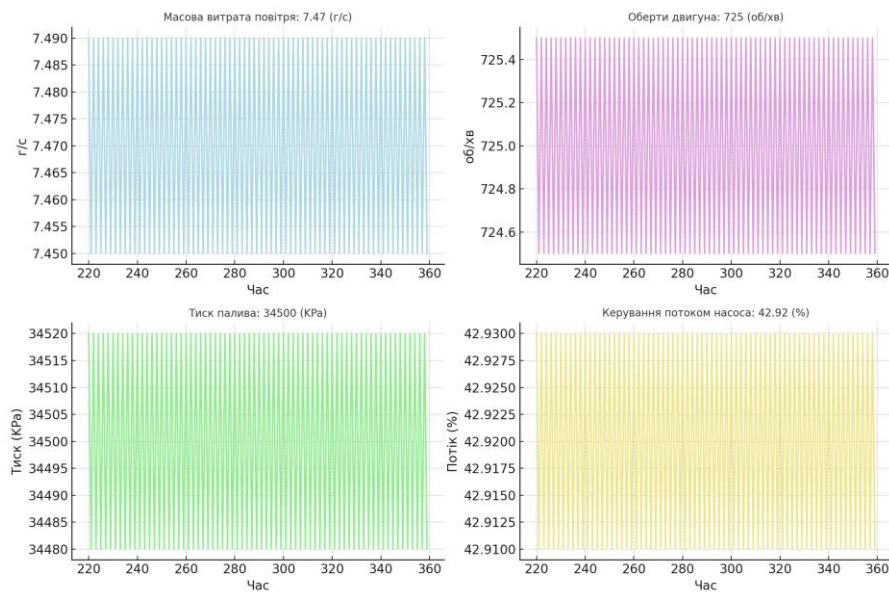


Рисунок 3.2 - Основні показники параметрів системи живлення двигуна з несправністю електричної частини форсунки

З графіків видно, що двигун працює нестабільно, «плавають» обороти двигуна. Інші показники практично не змінилися. Однак у автомобілі сканер зафіксував код помилки P0093 несправність двигуна. Опис цієї помилки повідомляє про несправність четвертої форсунки. На даному прикладі комп'ютерної діагностики достатньо що б виявити несправність. Але так відбувається не завжди, це видно на прикладі діагностування автомобіля Nissan X-Trail 2.2d, 2003 року випуску. Проводимо ту ж саму процедуру підключення діагностичного сканера. Запускаємо двигун і знімаємо показники при холостих оборотах двигуна(рисунок 3.3).

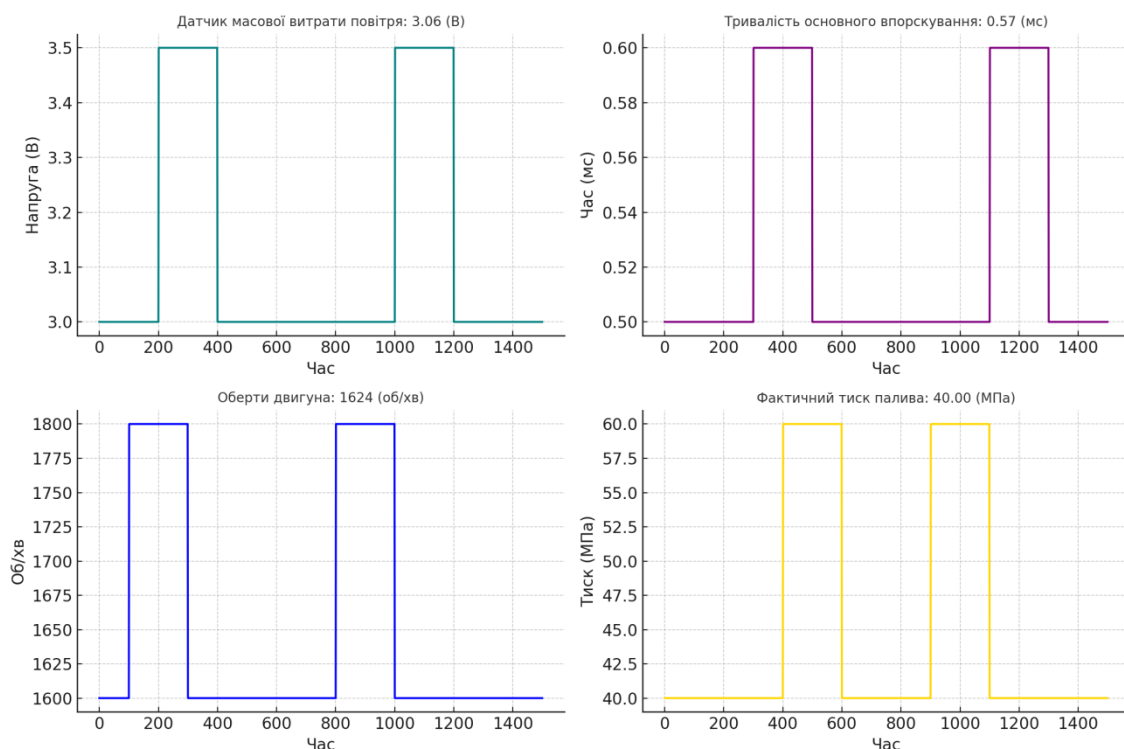


Рисунок 3.3 - Основні показники параметрів системи живлення при холостих оборотах двигуна

Як видно з графіків показники, абсолютно не коректні і зробити висновки про несправність не являється можливим. При цьому, на холостому ході двигун працює нормально, але під навантаженням відсутня потужність. Це один з випадків, коли необхідні додаткові методи діагностики. В подальшому підключаємо датчики тиску в контур низького тиску з допомогою перехідників з швидкознімними з'єднаннями перед паливним фільтром у контур високого

тиску з допомогою трійника на четверту форсунку. Після цього, підключаємо газоаналізатор Інфракар Д. Запускаємо двигун і проводимо виміри спочатку на холостому ходу, потім при вільному прискоренні. Максимально допустиме значення димності зображено на табличці під капотом автомобіля.

Провівши виміри значень димності і тиску фіксуємо, що по тиску обидва показники в нормі, а по газах, які відпрацювали, на холостому ходу параметри задовільні, але при вільному прискоренні показники газоаналізатора максимальні. Візуально диму не видно, але він є і перевищує всі допустимі межі (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Показники газоаналізатора

Попередньою діагностикою виходячи з одержаних показників підтверджено падіння динаміки, викликане не згорянням суміші при перегазуванні. Варіанти можливих несправностей: поганий розпил. Несправність розпилювачів форсунок. У нашому випадку не підходить, так як підтікання, закоксованість розпилювачів і знос плунжера буде викликати підвищену димність, так само на холостому ходу, чого не спостерігається; збільшена циклова подача, не підходить, при збільшенні циклової подачі потужність підвищується, а у автомобіля спостерігається зниження потужності; зменшена подача повітря. Збільшення димності під час падіння потужності. Це найбільш підходящий варіант.

Порівняльний аналіз параметрів, отриманих програмою, вказує на наступні несправності: несправність в системі рециркуляції; забруднений повітряний фільтр; несправний витратомір повітря.

Перевірка починається з огляду повітряного фільтра. Зовнішній огляд нічого не виявив. Візуальний огляд показав, що забруднений MAF sensor (рисунок 3.5), який контролює витрату повітря і, порівнюючи ці показники з APS (датчик положення педалі газу), через ЕБУ керує дроселем.

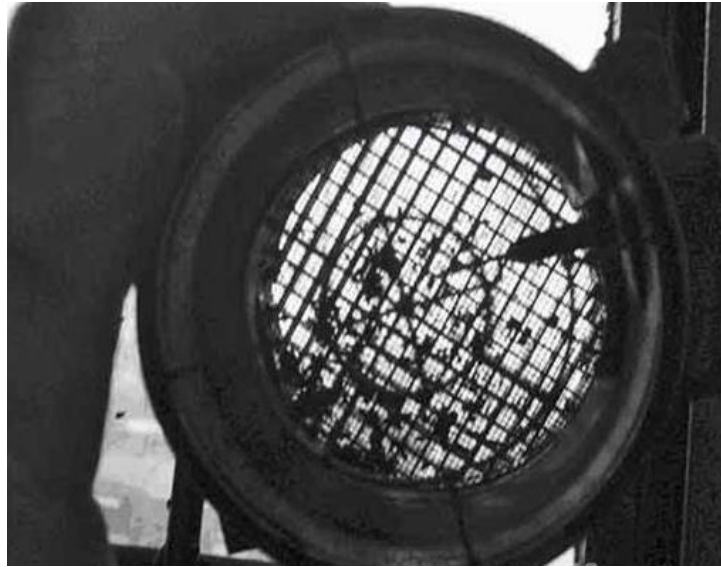


Рисунок 3.5 - Забруднений MAF sensor ниткового типу

Після чищення MAF sensora знову проводимо вимірювання параметрів. З графіка видно, що показники димності при максимальному прискоренні знаходяться в межах допуску (рисунок 3.6).

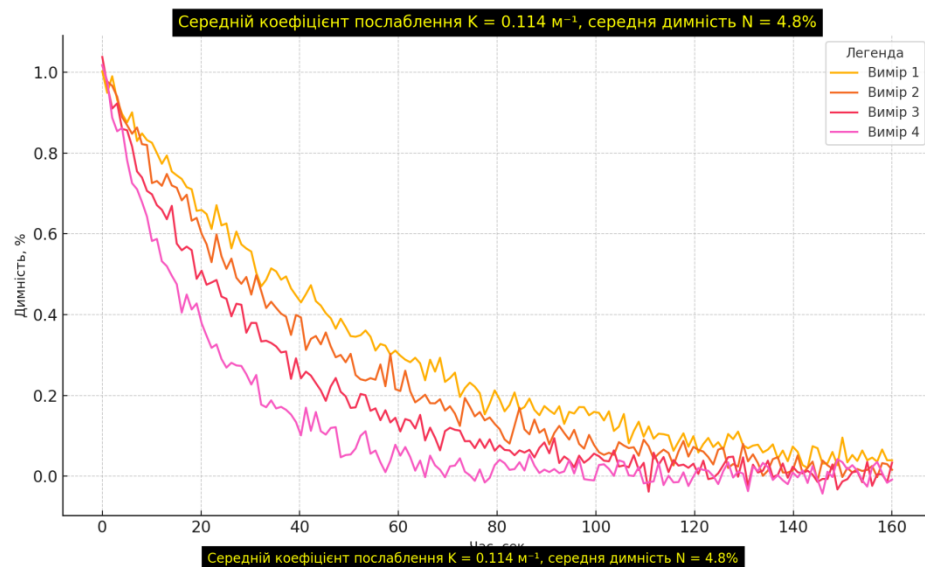


Рисунок 3.6 Графік димності при максимальному прискоренні

В результаті діагностики виявлено забруднення MAF sensora, у результаті

чого спостерігалася недостатня подача повітря в циліндри. Таким чином використовуючи даний метод діагностування, цілком можливо достатньо оперативно виявити несправності, доповнюючи методи діагностики. У прикладах описана лише мала частина потенціалу даного методу, оскільки існує достатня велика кількість різновидів виконання системи живлення та паливної апаратури.

3.2 Обладнання та апаратура для діагностування форсунки

Установка кута випередження упорскування палива проводиться для забезпечення правильного співвідношення між становищем плунжера ПНВТ і поршня в циліндр двигуна під час такту стиснення. Зовнішніми ознаками неправильно встановленого кута випередження впорскування є певні відхилення в роботі двигуна: при ранньому упорскуванні двигун запускається різко, але працює жорстко, а при зупинці двигуна спостерігається зворотний удар; при пізньому впорскуванні двигун заводиться погано, працює м'яко, слабо набирає обертів і не розвиває необхідної потужності, димність відпрацьованих газів збільшується.

Розрізняють статичні та динамічні методи встановлення кута випередження упорскування. Один із статичних методів - встановлення кута випередження упорскування по певних мітках. Щоб визначити кут випередження впорскування палива для багатоплунжерних насосів, до штуцера першої нагнітальної секції замість трубопроводу високого тиску приєднують моментоскоп і провертають колінчастий вал двигуна до появи моментоскопії палива. Моментоскоп представляє собою короткий відрізок паливопроводу 3 (рисунок 3.7), з'єднаний гумовою або пластмасовою трубкою 2 зі скляною трубкою 1 діаметром 1,0...1,5 мм.

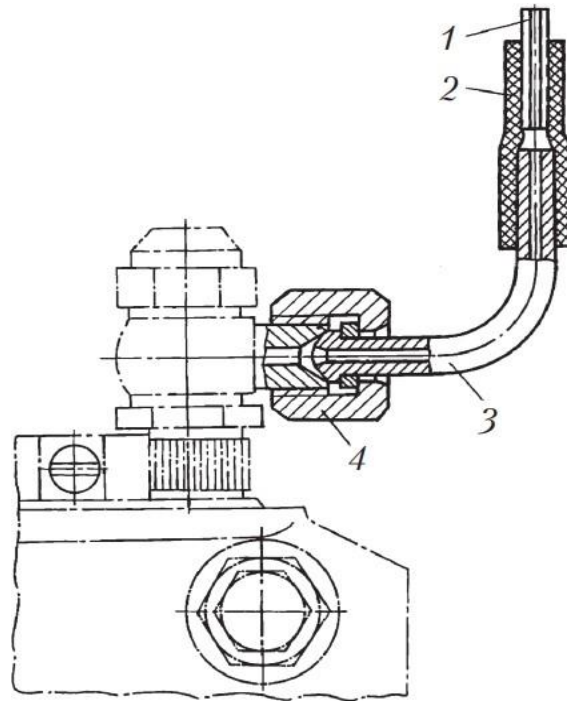


Рисунок 3.7 – Схема підключення моментоскопу до ПНВТ двигуна: 1 - скляна трубка; 2 - трубка; 3 - паливопровід; 4 - гайка

Повільно обертаючи колінчастий вал, визначають положення, в якому рівень палива у скляній трубці моментоскопу почне підніматися. Після цього вал зупиняють і визначають, яка риска з цифрою на маховику збігається зі стрілкою на картері маховика. Мітки та риски для визначення оптимального кута випередження впорскування палива знаходяться на поверхні переднього шків колінчастого вала (на передній кришці або корпусі двигуна і т.д.), зазвичай поряд з мітками, які вказують на положення поршня першого циліндра у верхній мертвій точці (ВМТ).

Зафіксована таким чином величина і буде визначати кут випередження впорскування палива. Якщо цей кут не збігається з паспортними даними, у легкових автомобілях відпускають болти кріплення насоса високого тиску і провертають насос в напрямку обертання колінчастого вала.

Інший статистичний метод регулювання кута випередження упорскування палива - зміна положення муфти приводу. Він застосовується здебільшого для вантажних автомобілів. Правильність установки кута випередження упорскування палива перевіряють ще раз шляхом повертання колінчастого вала і вторинного контролю суміщення всіх міток.

Для двигунів з ПНВТ розподіленого упорскування найбільш точним методом установки кута випередження упорскування палива є метод, заснований на використанні індикатора. Для перевірки кута випередження провертають колінчастий вал двигуна до встановлення поршня першого циліндра в положення ВМТ у такті стиснення, вивертають центральну пробку на розподільній голівці ПНВТ і замість неї встановлюють індикатор з подовжувальним стрижнем (рисунк 3.8).

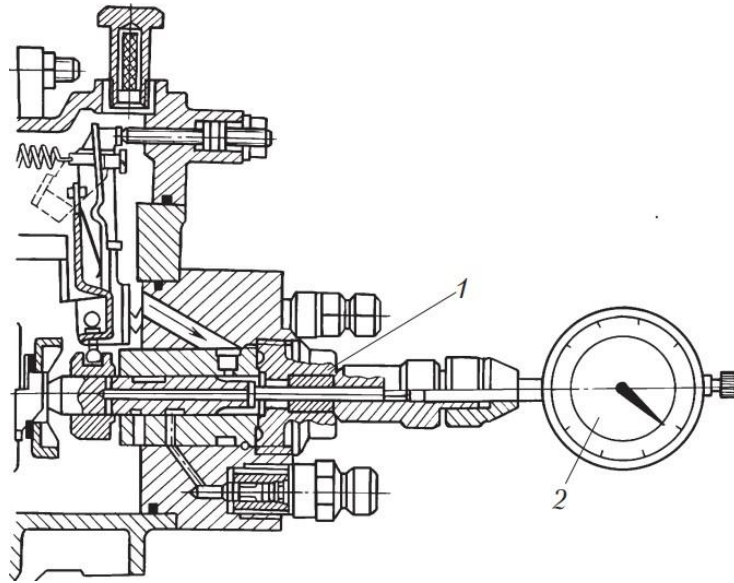


Рисунок 3.8 – Встановлення індикатора для перевірки моменту початку упорскування для ПНВТ фірми Bosch: 1 - отвір вивернутої центральної пробки;
2 - індикатор

Для установки плунжера насосу в крайнє становище повертають колінчастий вал двигуна проти годинникової стрілки на $25 \dots 30^\circ$, орієнтуючись по канавці на шківі колінчастого вала (поршень при цьому встановлюється в положення $25 \dots 30^\circ$ перед ВМТ по куту повороту колінчастого вала двигуна). Стрілку індикатора встановлюють на нуль. Провертають колінчастий вал двигуна в цей, або в інший бік на невеликі кути. Якщо плунжер насосу справді встановлений в крайнє положення, то при повороті колінчастого вала на невеликі кути стрілка індикатора відхилятися не буде. Далі провертають колінчастий вал двигуна по контрольній стрілці (поршень переміщається в напрямку ВМТ) до установки канавки на шківі, навпаки мітки ВМТ на передній частині двигуна (мітки на маховику навпаки припливу на картері зчеплення) і за показаниками індикатора визначають величину ходу плунжера, яка для

більшості паливних насосів складає 0,75...1,00 мм. Якщо величина ходу плунжера не відповідає зазначеному значенню, послаблюють болти кріплення паливного насосу і поворотом його в ту або іншу сторону регулюють хід плунжера, потім затягують болти кріплення насосу і повторюють перевірку. Величина ходу плунжера відповідає певному кутку випередження початку упорскування, тому іноді в технічних характеристиках вказується кут випередження (запізнення) упорскування.

Динамічний метод є самим точним методом визначення кута випередження впорскування палива. При працюючому двигуні кут випередження впорскування змінюється за рахунок спрацьовування коригувальних автоматів, тому перевірка та регулювання кута випередження впорскування більш точно проводиться у динаміці, тобто. при працюючому двигуні, з допомогою спеціальних приладів - стробоскопів (рисунок 2.9, а). Стробоскопи використовуються як у комплектах з мотор-тестерами, так і самостійно. Перед динамічною перевіркою кута випередження впорскування потрібно переконатися, що двигун прогрітий до нормальної робочої температури і працює на регламентованій частоті обертання мінімального холостого ходу.

Імпульс для включення стробоскопа може бути одержаний від наступних джерел: від трубки високого тиску першого циліндра 6 або за допомогою установки послідовно з цією трубкою датчика тиску 1 (рисунок 3.9), а частіше за допомогою затиску з індуктивним імпульсним датчиком світлочутливого датчика, реагуючого на перший спалах при займанні палива в циліндрі; датчика початку упорскування в рядних ПНВТ; в цьому випадку потрібно встановлення спеціального електронного блоку.

Запустивши двигун на мінімальній частоті обертання колінчастого валу, промінь від неонові лампи стробоскопа, спалахує синхронно з обертанням колінчастого валу, направляють на шків (маховик). Якщо кут випередження впорскування встановлений правильно, то внаслідок стробоскопічного ефекту рухлива мітка буде здаватися нерухомою і перебувати навпроти нерухомої мітки.



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд стробоскопа

Відлік кута випередження впорскування при цьому ведеться по шківу або маховику. У випадку використання індуктивного імпульсного датчика затискач обов'язково повинен бути встановлений в певному, регламентованому технічними умовами фірми-виробника місці на трубці високого тиску, інакше отримані результати виявляться неправильними. Деякі фірми виробники дають коригуючу таблицю, зв'язуючу значення динамічного кута випередження впорскування з місцем установки затискача вздовж трубки високого тиску, що особливо корисно в тих випадках, коли, наприклад, точне місце установки затиску для вимірювання на режимі холостого ходу недоступне.

Використання індуктивного імпульсного датчика дозволяє також визначити працездатність муфти випередження впорскування на різних частотах обертання колінчастого валу.

Осцилографічні методи діагностування паливної апаратури дизельних двигунів широко поширені у випадку застосування мотор-тестерів з індуктивними імпульсними датчиками. Зразковий вигляд осцилограми тиску палива на різних режимах роботи дизельного двигуна показано рисунку 3.10. У точці 1 починається підвищення тиску в результаті руху плунжера насоса, в точці 2 спрацьовує нагнітальний клапан і за малої швидкості руху плунжера тиск дещо падає. У точці 3 відповідної голки форсунки тиск падає, оскільки вивільнений обсяг не встигає заповнитися паливом.

Точка 4 характеризує максимальний тиск процесу, який встановився впорскуванням. У точці 5, відповідної посадки голки форсунки, впорскування

закінчується, після чого відбувається посадка в сидло нагнітального клапана плунжера. Імпульси залишкового тиску (точка 6) з'являються через недостатню герметичність нагнітального клапана.

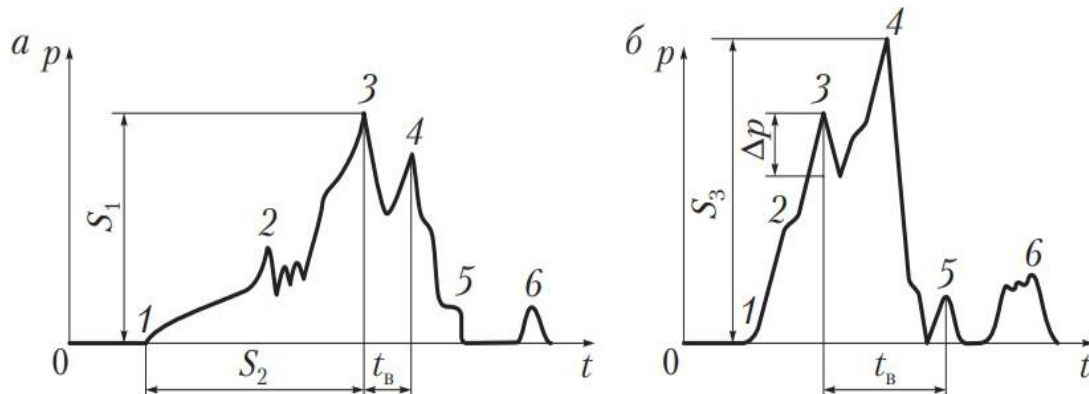


Рисунок 3.10. - Осцилограми тиску палива у штуцера форсунки. режим холостого ходу двигуна (а), режим повної подачі палива при максимальній потужності дизеля (б)

Величина сигналу S_1 визначає затягування пружини форсунки та статичний тиск на початку впорскування. Перепад тиску Δp характеризує рухливість голки форсунки. Максимальний тиск упорскування S_3 визначає ефективний прохідний переріз сопел розпилювача, а шляхом інтегрування на періоді впорскування t можна оцінити циклову подачу палива. Час затримки впорскування S_2 характеризує зазор у плунжерній парі, який викликає витік палива між гільзою та плунжером. З появою окремих несправностей вид осцилограм змінюється (рисунок 3.11).

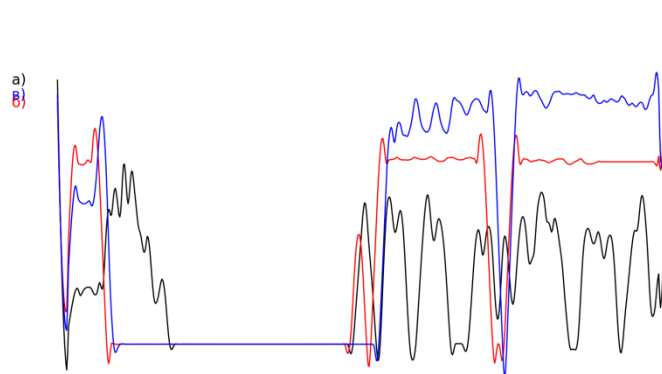


Рисунок 3.11 – Вид осцилограм за наявності несправностей. знос нагнітального клапана (а), знос плунжерної пари (б), одночасний знос нагнітального клапана і плунжерної пари (в).

Особливості діагностування несправностей системою Common Rail. Головною відмінною особливістю акумуляторних паливних систем з електронним управлінням Common Rail є поділ вузла, який створює тиск (ПНВТ-акумулятор), і вузла упорскування (форсунки) (рисунок 3.12).

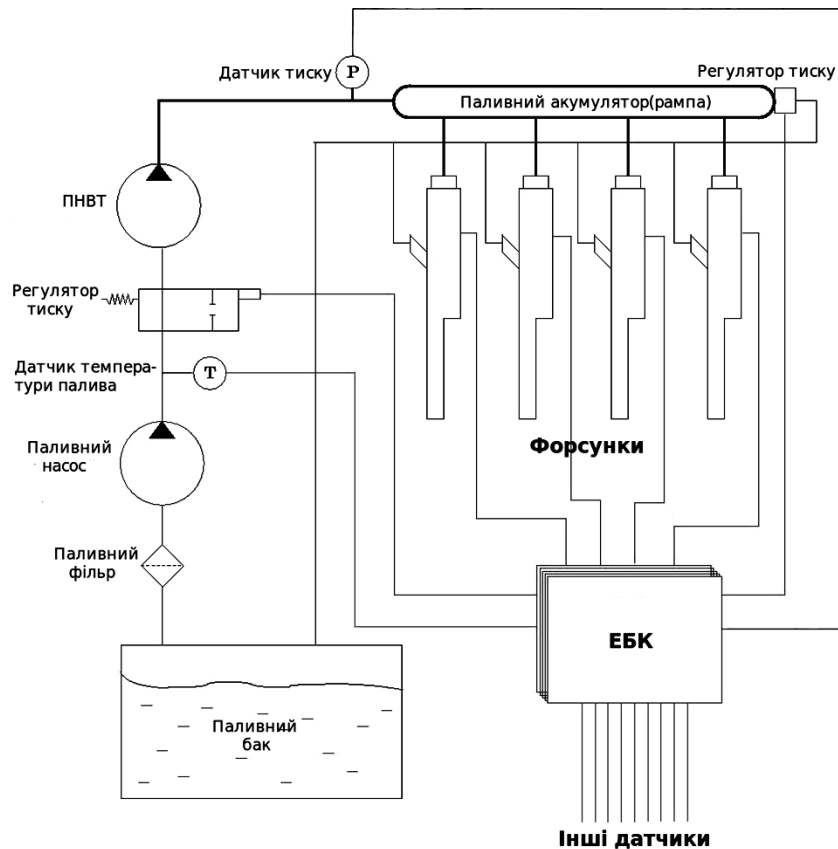


Рисунок 3.12 – Схема системи живлення дизельних двигунів CommonRail:
 1 - паливний бак; 2 - паливопроводи зливу; 3 - ПНВТ; 4 – регулятор тиску; 5 - паливопровід високого тиску; 6 - паливопідкачуючий насос; 7 - фільтр; 8 - гідроаккумулятор; 9 - датчик тиску; 10 - запобіжний клапан; 11 - електрогідравлічна форсунка; 12 - датчик педалі акселератора; 13 - датчик частоти обертання та положення колінчастого валу; 14 - датчик температури; 15 - блок управління

Головна деталь паливних систем Common Rail – електрогідравлічні форсунки. Розподіл відмов окремих її елементів зазначено у відсотках на рисунку 3.13. Як видно з наведених даних, найменш надійними елементами електрогідравлічної форсунки є кульовий клапан і розпилювач.

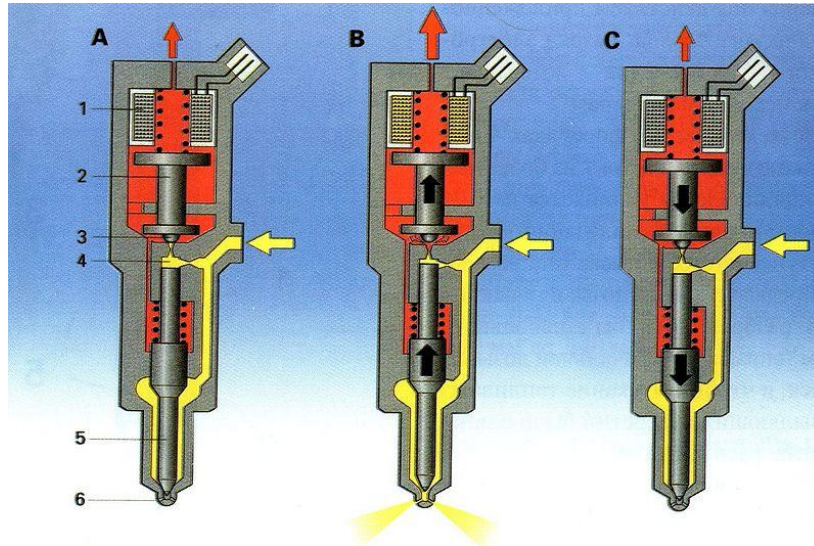


Рисунок 3.13 – Основні елементи електрогідравлічної форсунки з зазначенням їх відмов: 1 - соленоїд (5 %); 2 - якірна група (2 %); 3 – кульовий клапан (35 %); 4 - корпус (3 %); 5 - кільця ВТ (25 %); 6 - розпилювач (30 %)

Основні перевірки системою Common Rail здійснюються із використанням сканера для діагностування електронних систем управління двигуном, однак окремі перевірки можуть бути проведені і більш простими методами. Наприклад, у випадках нестабільності холостого ходу двигуна необхідно провести гідравлічні випробування форсунок, які характеризують головним чином стан запірного клапана. У випадку негерметичності клапана паливо, яке має потрапити в камеру згоряння, потрапить у зворотний злив і таким чином проявиться несправність автомобіля.

Для гідравлічних випробувань форсунок від'єднують паливопроводи зворотного зливу палива від форсунок і кожен заводять у мірну посудину (рисунок 3.14). Потім запускають двигун і вимірюють кількість зливу кожної форсунки, його величина повинна складати близько 150 см³/хв. При різниці між обсягами більше 30 % або перевищення норми зворотного зливу форсунку необхідно замінити.

Більш ретельні перевірки паливною системою Common Rail можуть бути проведені за допомогою спеціалізованого обладнання, наприклад, стендів Bosch EPS 708 (рисунок 2.15) та Stardex 0601. Стенди такого типу дозволяють перевіряти компоненти систем Common Rail з тиском упрескування до

250,0...260,0 МПа. Враховуючи високі тиски перевірки і сильне нагрівання компонентів системи, в стендах передбачена система охолодження.

Стенд Bosch EPS 708 дозволяє перевіряти електромагнітні форсунки та паливні насоси систем Common Rail виробництва Bosch та інших компаній. Крім того, використовуючи спеціальне дооснащення, можна перевіряти п'єзофорсунки виробництва Bosch, Denso і Siemens/Continental, CRI Piezo.



Рисунок 3.14 – Стенд для перевірки зворотного зливу палива

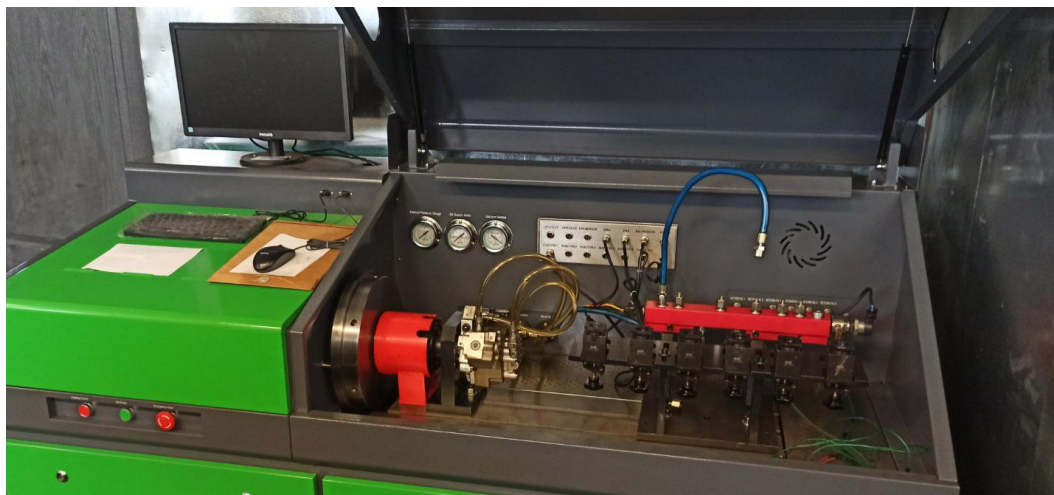


Рисунок 3.15 - Стенд Bosch EPS 708 для перевірки компонентів паливної системи Common Rail

Додатково до випробуванням на витік і визначення кількості впорскуваного палива з допомогою спеціального набору можна перевірити електричний модуль п'єзофорсунки на наявність дефектів ізоляції. Необхідні технічні дані для порівняння результатів тестування з заводськими

характеристиками наведено на CD TestData.

Робоча зона стенда закривається міцним прозорим захисним екраном, при піднятті якого привід стенда вимикається в цілях безпеки. Використовуючи монтажний комплект, на стенді можна одночасно закріпити чотири (для вантажних автомобілів) або шість форсунок систем Common Rail (для легкових автомобілів). За допомогою стенда можна перевіряти: стан фільтрів; стабільність розпилу палива форсункою для визначення специфічних дефектів форсунок системи Common Rail; герметичність компонентів системи; кількість палива зворотного зливу; режими роботи форсунок - попереднє впорскування, холостий хід, повне навантаження, економічний режим із визначенням кількості подачі палива.

Більше високотехнологічні стенди STARDEX 0304 і MAK TEST дозволяють здійснювати перевірку та ремонт форсунок Common Rail всіх типів та виробників, у тому числі і п'єзоелектричних. Форсунки ідентифікуються по їх серійному номеру.

Як приклад розглянемо стенд для перевірки та ремонту форсунок MAK TEST (рисунок 3.16), який є комплексом, що включає обладнання для створення високого тиску робочої рідини під час перевірки форсунок, персональний комп'ютер, ультразвукову ванну для очищення форсунок, пристосування і інструмент для розбирання та перевірки форсунок.

Для проведення перевірки форсунку вставляють у спеціальний утримувач. (рисунок 3.17) і фіксують її гайкою. До форсунки, яка перевіряється, приєднуються робочі трубопроводи для подачі та відведення палива. Враховуючи високий тиск і пов'язану з ним небезпеку, під час перевірки тримач із форсункою закривається прозорою захисною кришкою.



Рисунок 3.16 - Загальний вигляд станда MAK TEST для перевірки і ремонту форсунок

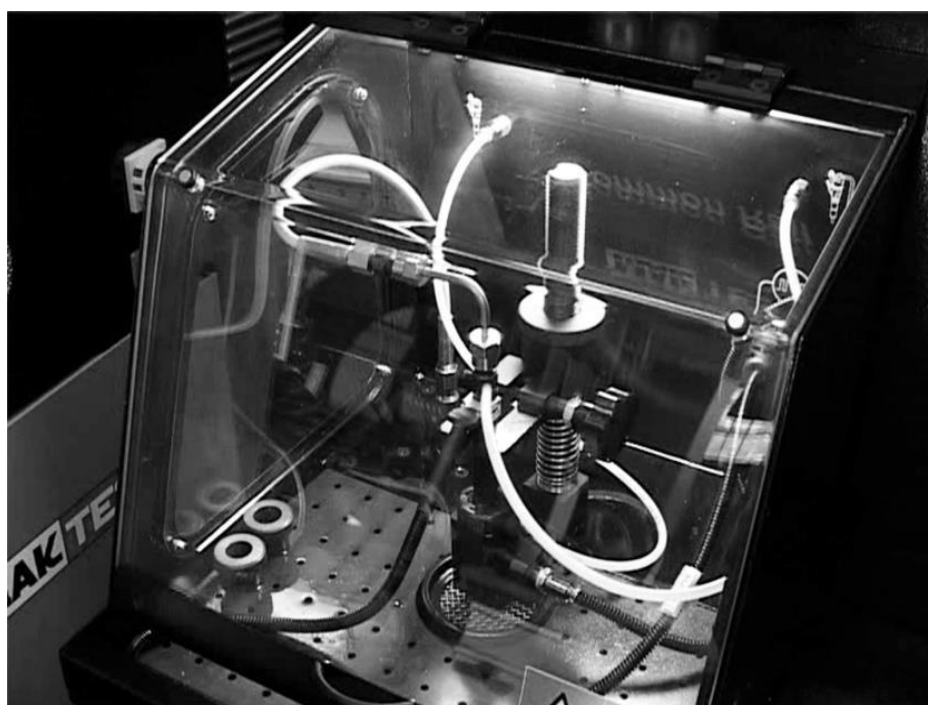


Рисунок 3.17 - Утримувач форсунки із захисною кришкою



Рисунок 3.18 - Экран комп'ютера вибір даних для перевірки форсунок дані по тестуванню форсунок.

З допомогою сенсорного екрану по каталожному номеру для перевірки форсунки вводиться програма тестування (рисунок 3.20). Дані по форсунках світових виробників занесені в пам'ять комп'ютера і виводяться на екран.

Для точного визначення несправності форсунки необхідно при різних навантаженнях визначити величину різниці між подачею та поверненням палива. Саме на цьому принципі і побудовано систему діагностики форсунок систем Common Rail.

Тестування форсунок проводиться за спеціальною програмою яка включає наступні основні тести з визначення: витоків палива при високому (робочому) тиску; подачі палива при низькому і високому тисках, а також зворотного зливу. У аналізованому прикладі тестування форсунок (рисунок 3.18) при високому тиску за нормативами подача має становити $33,5 \text{ см}^3$ з подачею зворотного зливу $6,6 \text{ см}^3$, однак отримані дані (відповідно $40,6$ та $5,0 \text{ см}^3$) відрізняються від нормативних; якості розпилювання палива. Система подачі палива стенда імпульсно підводить до форсунки паливо, яке розпилюється на поверхні спеціальної колби (рисунок 3.19 а). Якість розпилення палива визначається візуально. Якщо розпилювач форсунки забитий, його очищають в ультразвуковій ванні (рисунок 3.19, б), при цьому очищується тільки зовнішня сторона розпилювача, щоб не пошкодити напilenня на внутрішній стороні розпилювача.

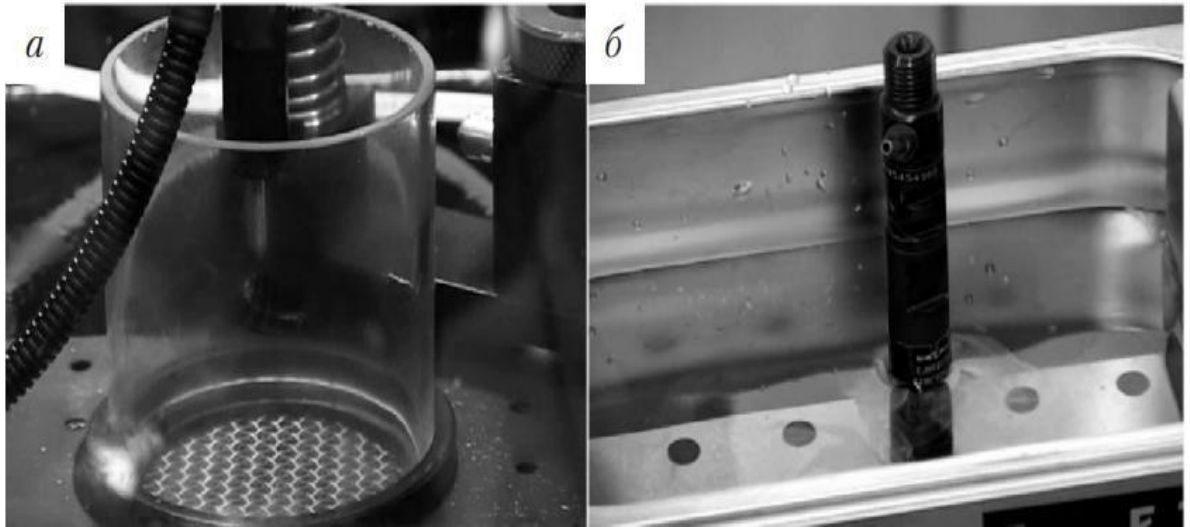


Рисунок 3.19 – Загальний вигляд спеціальної колби (а) та ультразвукової ванни (б) для визначення якості розпилення палива

При несправності форсунки на стенді можна провести розбирання, огляді заміну окремих деталей, якщо це дозволяє виробник форсунок і є запасні деталі від виробника. Для розбирання та огляду застосовуються спеціальні ключі, пристрої та вимірювальний інструмент. Після ремонту проводиться тестування форсунки. Крім перевірки гідравлічних параметрів в системах Common Rail проводиться перевірка електричних властивостей. Імпульс, який подається в потрібний момент від блоку управління двигуна форсунці, запускає процес впорскування. Тривалість відкритого стану форсунки і системний тиск визначаються кількістю впорскуваного палива. Крім того, паливо для кожного циклу горіння може ділитися на декілька порцій (рисунок 3.20).

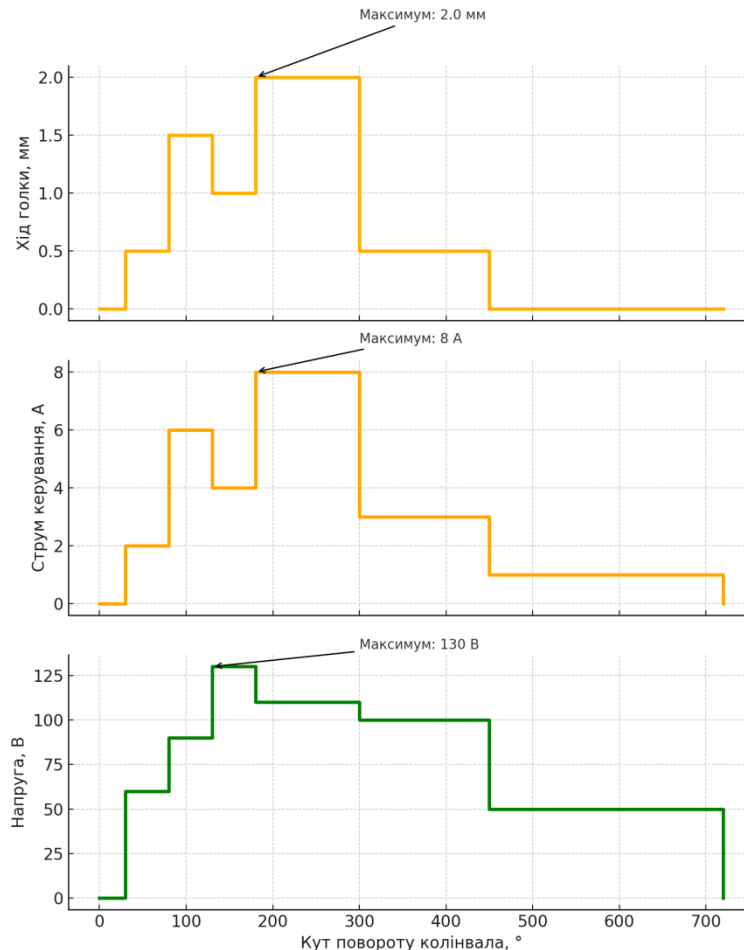


Рисунок 3.20 - Осцилограми впорскування палива системи Common Rail

Порівнюючи осцилограми, отримані при роботі двигуна, з еталонними, визначають несправності упорскування палива. Електроклапани перевіряють на наявність обривів та опір обмоток, датчики системи - на видавану напругу. Попадання забруднень в систему приводить до її пошкодження, тому висувуються особливі вимоги до чистоти і технології технічного обслуговування і ремонту.

Заглушки в системах Common Rail одноразові і повторне їх використання не допускається. Для очищення використовуються спеціальні одноразові серветки; заборонено застосовувати ганчір'я або звичайний папір, так як вони залишають волокна, забруднюючи паливну систему. Будь-який знятий елемент систем впорскування після встановлення заглушок отвору повинен зберігатися в герметичному пластиковому пакеті.

Перед втручанням у паливну систему необхідно виконувати наступні рекомендації: після зупинки двигуна необхідно почекати не менше 30 с, раніше

чим виконувати будь-які дії на елементах паливної системи, щоб забезпечити зниження тиску до атмосферного; перед ослабленням з'єднань елементів паливної системи, працюючою під високим тиском, або перед зняттям паливної форсунки з допомогою відповідного розчинника (наприклад, Sodimas) ретельно очищають зону передбачуваної роботи. Розчинник наносять пензликом на рівні з'єднань трубопроводів, на форсунки на рівні їх затискачів, при цьому використовувати стиснене повітря не можна; відразу ж після від'єднання паливопроводу обов'язково заглушають отвори, через які можуть потрапити забруднення; при кожному знятті трубопроводу повернення палива від паливних форсунок його необхідно замінювати новим; забороняється повторне використання ущільнення форсунок; заборонено розбирати паливний насос високого тиску і форсунки; для очищення форсунок не можна застосовувати металеві щітки, наждачний папір, ультразвукове очищення; для очищення розпилювача форсунки використовують знежирювач і протирають її чистою серветкою.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Методи визначення величини зносу деталей двигуна на пускових режимах

Динамічні параметри робочого процесу двигунів на пускових режимах істотно впливають на достовірність результатів вимірювань пускового зносу деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ). Суперечливі дані про еквівалент і частку пускового зносу (50...75% або 2...3% загального зносу за час експлуатації) обумовлені різним характером процесу згоряння палива в період пуску-прогріву і на встановленому режимі, внаслідок чого змінюються швидкість зношування та розподіл зносу поверхнею тертя деталей, наприклад гільз циліндрів. При випробуванні зносостійкості деталей на пускових режимах проявляється вплив на точність та достовірність результатів вимірювань особливостей розглянутих вище методів визначення зносу інтегральних - та визначення місцевого зносу.

За допомогою інтегральних методів визначення зносу (метод заліза в мастилі) вплив режимів пуску-прогріву оцінюють еквівалентом пускового зносу у вигляді відношення кількості заліза, яке знімається з деталей ЦПГ за один пуск, до заліза, яке знімається за 1 год роботи двигуна на номінальному режимі. Знос деталей на пускових і номінальних режимах визначають за зміною концентрації продуктів зносу в робочому мастилі. При аналізі отриманих результатів вимірювань необхідно враховувати інтегральні особливості методів, які застосовуються, а також зміну епюр зносу гільз циліндрів.

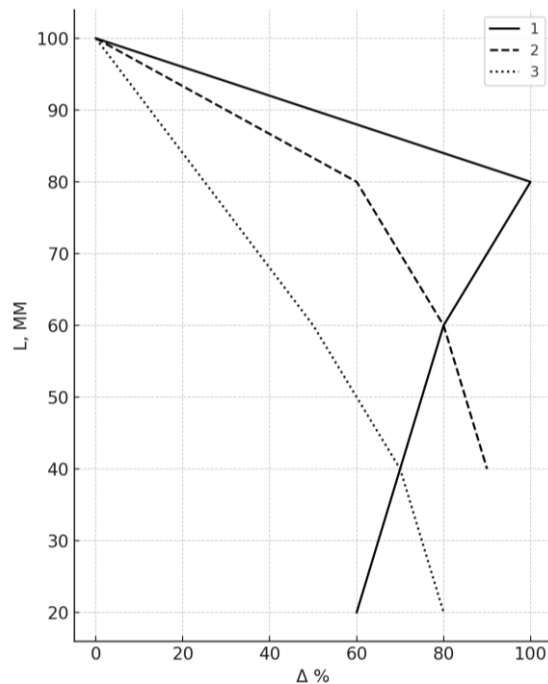


Рисунок 4.1. Зношування циліндрів двигуна автомобіля при різних умовах експлуатації: 1 - при експлуатації після пробігу автомобіля 100 тис. км; 2 - на стенді після 200 год при чисто корозійному низькотемпературному режимі ($n = 1000$ об/хв, навантаження 50%, температура води 15°C , температура мастила $20 \dots 40^{\circ}\text{C}$); 3 — на стенді після 55 год при чисто абразивному зносі зі штучною подачею кварцового пилу в двигун через очищувач повітря ($n = 2000$ об/хв, навантаження 50%, температура води і мастила 80°C).

Зношування двигуна на пускових режимах, що оцінюється за кількістю заліза в мастилі, більша частина якого знімається з робочої поверхні гільз циліндрів, набагато інтенсивніше порівняно із зносом під навантаженням. Але це не дає підстави для твердження про значний вплив режимів пуску-прогріву на довговічність двигуна, так як сумарна зміна концентрації продуктів зносу в мастилі достовірно відображає вплив умов і режимів роботи на ресурс гільз циліндрів лише у разі рівномірного зношування їх поверхонь, що труться, або незмінної епюри зносу.

Відомо, що гільзи циліндрів зношуються нерівномірно. При роботі двигуна на пускових і низькотемпературних режимах змінюється епюра зносу робочої поверхні — швидкість зношування на ділянці S_b вище, ніж у зоні S_a (рис. 4.1). Тому для отримання достовірних даних про вплив пускових режимів

на термін служби гільз циліндрів необхідно визначати тільки метал який знімається з ділянки, яка максимально зношується; S_a , так як знос інших ділянок S_b не знижує ресурс цих деталей. Оскільки площа ділянки S_b у кілька разів більша за зону максимального зносу гільз, то навіть незначне збільшення швидкості зношування ділянки S_b на пускових або низькотемпературних режимах різко підвищує вміст заліза в мастилі. При цьому знос верхньої зони гільз може становити лише незначну частину в загальному вмісті продуктів зносу.

Якщо при аналізі результатів вимірювань концентрації продуктів зносу в мастилі, що працювало, не враховувати ці особливості — інтегральні властивості методу заліза в мастилі і зміна епюри зносу гільз — і як еквівалент приймати відношення всього заліза, що знімається при пуску Fe_n , до заліза, яке знімається за 1 год роботи під навантаженням Fe_n , то вплив пускових режимів на довговічність двигуна буде перебільшено.

У зв'язку з тим, що із зміною умов роботи двигуна інтенсивність зношування різних ділянок S_a , S_b по висоті гільз циліндрів змінюється і визначити кількість продуктів зносу верхньої зони Fe_n в загальному вмісті продуктів зносу всіх деталей ЦПГ Fe_n інтегральними методами не можна, метод заліза в мастилі не застосовується для оцінки зносу гільз і довговічності двигунів на пускових режимах.

Знос зони S_a можна визначити іншими методами, наприклад методом радіоактивних ізотопів у випадку активації тільки верхньої ділянки гільзи. Можлива також постановка спеціальних вставок-свідків з інших матеріалів.

Результати вимірювань, отримані методом постановки радіоактивних вставок в поршневі кільця, достовірні і справедливі тільки для кілець, і їх не варто поширювати на гільзи циліндрів, оскільки критерії зносу гільз і кілець різні.

Зношування гільз циліндрів визначають методами місцевого зносу (метод штучних баз) за результатами вимірів лунок, розташованих на різній висоті, причому у верхній зоні максимального зносу вирізають один пояс лунок на рівні зупинки середини першого поршневого кільця верхній мертвій точці.

Лунки вимірюють після кількох десятків (іноді після 100) пусків двигуна з точністю до 0,01 мкм.

Однак при цьому, за високою точністю вимірювань зносу лунки ховається небезпека появи помилки вимірювання максимального зносу гільзи тільки по одному поясу лунок у верхній зоні S_a , так як лунка характеризує локальний знос малої ділянки поверхні безпосередньо в зоні її розташування. На рисунку 4.2 видно, що при переміщенні зони максимального зношування гільзи за висотою, результати вимірювань максимального зношування на пускових режимах по одному поясу лунок, виявляються заниженими. Заниженими будуть також еквівалент і частка пускового зносу двигуна, що виражаються відношенням зносу лунок при пуску до експлуатаційного.

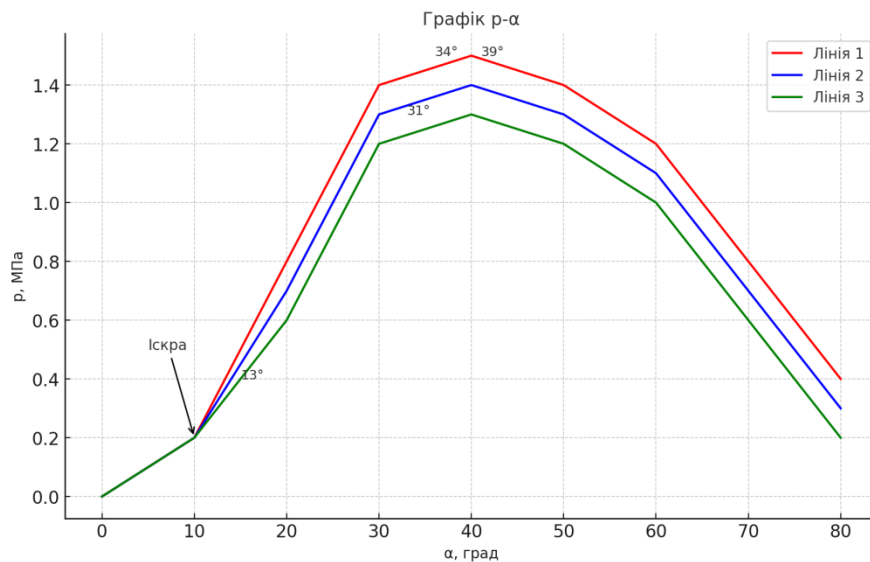


Рисунок 4.2. Індикаторні діаграми автомобільного двигуна при різній температурі охолоджуючої рідини: 1 - 95 °С; 2 - 60 °С; 3 - 40 °С.

Переміщення зони S_a обумовлено тим, що максимальне зношування гільзи визначається зоною дії p_z і $dp/d\alpha$, момент появи яких відносно верхньої мертвої точки зміщується внаслідок зміни періоду затримки займання палива τ_i . У двигунів, частота обертання колінчастого валу яких більша, ніж у дизельних, максимальний тиск згоряння p_z з'являється на лінії розширення ще далі від верхньої мертвої точки (рис. 4.2). Ймовірно, значним віддаленням p_z вниз від верхньої мертвої точки пояснюються інтенсивне зношування середньої зони S_b і

зміна епюри зносу гільз двигунів на пускових і низькотемпературних режимах.

Зі збільшенням τ_i поршневе кільце, висота якого визначає шлях стирання лунки (3...4 мм), повністю або частково проходить верхній пояс лунок, відчуючи лише тиск стиснення p_c , значно менший за максимальний тиск згоряння p_z , внаслідок чого знос лунок знижується, а зона максимального зносу гільзи S_a виявляється нижче верхнього пояса лунок.

4.2 Дослідження факторів, які впливають на затримку періоду займання палива

Розташування верхнього пояса лунок слід вибрати з врахуванням збільшення періоду затримки займання палива і переміщення поршневого кільця за цей період від верхньої мертвої точки. Величину переміщення кільця; (поршня) в циліндрі від верхньої мертвої точки за час τ визначають із схеми кривошипно-шатунного механізму (рис.4.3):

$$S_{\tau_i} = r \left[(1 - \cos \alpha_{\tau_s}) + \frac{\gamma_k}{4} (1 - \cos 2\alpha_{\tau_s}) \right]$$

Де $\gamma_k = r/l_t$ –

r - радіус кривошипа колінчастого валу, мм;

l_t - довжина шатуна, мм;

α_{τ_s} - кут повороту колінчастого валу від верхньої мертвої точки за час затримки займання палива, град. п. к. в.

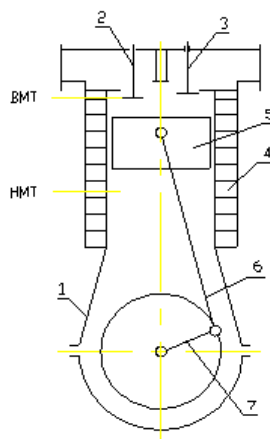


Рисунок 4.3. Схема вибору розташування верхнього пояса лунок на гільзі циліндра.

Кут α_{τ_s} зазвичай визначають з індикаторної діаграми або розраховують за формулою:

$$\alpha_{\tau_s} = 6\pi\tau_s - \theta + 5$$

Де n - частота обертання колінчастого валу,

Період затримки займання палива τ_i для різних умов роботи двигуна розраховується за формулами:

$$\tau_s = BC^j \left(\frac{T_a}{k_a} \right)^e e^{\frac{ECg^{-1}}{RT_a}}$$

$$C = \frac{1}{\varepsilon} \left[1 + 0,5 \frac{\delta}{\beta} (\varepsilon - 1) \right]$$

$$\delta = \left[\left(1 + \frac{\lambda_{\text{ш}}}{4} \right) - \left(\cos \theta + \frac{\lambda_{\text{ш}}}{4} \cos 2\theta \right) \right]; \quad \beta = \frac{V'_h}{V_h}; V'_h - \text{дійсний}$$

робочий об'єм циліндра, який відповідає ходу поршня після закриття розподільчих органів; $\lambda_{\text{ш}}$ - робочий об'єм циліндра; θ - кут випередження початку впорскування палива до верхньої мертвої точки, град. ; ε - ступінь стиснення двигуна; T_a , p_a - абсолютна температура і тиск на початку ходу стиску до моменту закриття розподільчих органів; E - експериментальний коефіцієнт, який залежить від енергії активації палива, що здається, і від температурного коефіцієнта випаровувань (для важких палив $E=5000...6000$ кал/моль); g - показник політропи; R - газова постійна; $m = 0,5$; B - коефіцієнт, який враховує поправки до τ_i пов'язані зі зміною частоти обертання, $B=B_0(1 - k_p)$, коефіцієнт $B_0=2 \cdot 10^{-4}$, $k_p=1,6 \cdot 10^{-4}$.

Вирішальний вплив на τ_i чинять тиск і температура повітря в момент вприскування палива, а також займистість палива, що оцінюється цетановим числом.

Дослідженням двигуна на пускових режимах при порівняно високій температурі зовнішнього повітря $-5...+3^\circ\text{C}$ встановлено, що в режимі холостого ходу кута α_{τ_i} досягає значної величини -17 град. п. к. в. після верхньої мертвої точки. У цих умовах за час затримки займання палива поршневе кільце, висота якого 4 мм, переміститься на 3,6 мм від верхньої мертвої точки.

Для запобігання можливих помилок при вимірюванні максимального зносу гільз циліндрів методом вирізаних лунок, що викликаються зміною періоду затримки займання палива на пускових режимах, треба у верхній зоні, що максимально зношується S_a нарізати кілька поясів лунок з мінімально можливою відстанню між ними (1,5...2,0 мм). Так як переміщається ділянка максимального зносу гільзи в цьому випадку збігатиметься з одним з поясів лунок, всі зміни умов і режимів роботи двигуна будуть враховані в результатах вимірювань зносу. Так, у період припрацювання максимальний знос гільз циліндрів двигуна знаходиться на рівні першого поясу лунок, вирізаних на відстані 26 мм від верхнього торця гільз, при роботі на бензині внаслідок збільшення τ_i зона максимального зносу зміщується на 2... 4 мм вниз і відповідає другому-третьому поясу лунок (28, 30 мм від торця гільзи), а на пускових режимах - четвертому поясу (32 мм), причому пускові зноси, що вимірюються по першому поясу лунок, на 50...60% менше, ніж у четвертому поясі максимального зносу.

При випробуванні двигуна на пускових режимах, а також після 50 зимових пусків двигуна зону максимального зносу вимірюють у другому поясі лунок, нанесеному на 5 мм нижче першого. Пусковий знос, що визначається по лунках першого поясу на рівні верхнього поршневого кільця верхньої мертвої точки, виявляється в 1,8 ... 2,0 рази менше порівняно зі зносом лунок другого пояса.

При збільшенні кількості поясів лунок у верхній зоні гільз значно зростають трудомісткість та тривалість вимірювань пускових зносів. У зв'язку з цим для зниження витрат часу і праці на вимірювання доцільне застосування переносних профілографів, які забезпечують швидкий запис епюр зносу гільз з високою точністю і підвищують достовірність результатів вимірювань зносу деталей, що нерівномірно зношуються.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Техніка безпеки при експлуатації установок високих, надвисоких і ультрависоких частот

Земля постійно знаходиться під впливом електромагнітних полів, які випромінюють природні та штучні джерела. Наприклад, сонце випромінює в діапазоні в основному 10 МГц...10 ГГц. Спектр сонячного випромінювання досягає і більш короткохвильової області, яка включає в себе інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та гамма-випромінювання. Інтенсивність випромінювання змінюється періодично, а також швидко та різко збільшується при хромосферних спалахах. Антропогенні (штучні) випромінювання охоплюють усі діапазони.

Під впливом електромагнітних випромінювань спостерігаються загальна слабкість, підвищена втома, пітливість, сонливість, а також розлад сну, головний біль, біль в ділянці серця. З'являється роздратування, втрата уваги, зростає тривалість мовнорухової та зоровомоторної реакцій. Виникає ряд симптомів, які є свідченням порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, селезінки, підшлункової та інших залоз.

Джерелами електротехнічних випромінювань є генератори, тракти передачі енергії від генератора до антени, антенні пристрої в радіотехнічних установках, електромагніти в установках для термічної обробки матеріалів, конденсатори, високочастотні трансформатори, фідерні лінії. При їх роботі в навколишнє середовище поширюються електромагнітні поля.

Встановлені правилами гранично допустимі рівні електромагнітних полів поширюються на діапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

Таблиця 5.1 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання. Амплітудна або кутова модуляція)

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль	Гранично допустимий рівень
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25 В/м
6	Гекаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15 В/м
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \lg \lambda$ В/м*
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти ДВЧ)	3-300 МГц	10-1 м	3 В/м

* Примітка λ – довжина хвилі в метрах або гранично допустимий рівень рівний $7,43 - 3 \lg f$, де f – частота в МГц.

Електромагнітне поле високих і надвисоких частот, що несе з собою енергію, може самостійно поширюватись в просторі без провідника електроструму зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Воно змінюється з цією ж частотою, що і струм, який його створив.

Коли дози електромагнітних випромінювань перевищують допустимі значення виникають професійні захворювання. Контроль інтенсивності опромінення повинен проводитись не рідше одного разу на рік, а також при введенні в дію нових чи реконструйованих старих генераторних установок і при зміні умов праці.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал підприємства, яке знаходиться в зоні джерел випромінювання, потрібно вжити ряд заходів, до числа яких входять організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Виключно важливе значення мають інженерно-технічні методи та способи захисту. Колективний захист спирається на розрахунок поширення електромагнітного поля в конкретних умовах рельєфу місцевості, використання природних екранів, наприклад лісосмуг, гір, рельєфів місцевості. Локальний захист дуже ефективний і часто використовується. Він базується на використанні радіозахисних матеріалів, які забезпечують високе поглинання енергії випромінювання у матеріалі та віддзеркалення від його поверхні. Для екранування шляхом віддзеркалення використовують металеві листи та сітки з доброю провідністю. Захист приміщень від зовнішніх випромінювань можна здійснити завдяки обклеюванню стін металізованими шпалерами, захисту вікон сітками, металізованими шторами. Опромінення у такому приміщенні зводиться до мінімуму, але відбите від екранів випромінювання пере розповсюджується у просторі та потрапляє на інші об'єкти.

До інженерно-технічних засобів також належать:

- конструктивна можливість працювати на зниженій потужності у процесі налагодження, регулювання та профілактики;
- робота на еквівалент налагоджування;
- дистанційне керування.

Для обслуговуючого персоналу, що знаходиться на невеликій відстані необхідно забезпечити надійний захист шляхом екранування апаратури.

5.2 Дії населення у надзвичайних ситуаціях при повенях

Чинники небезпеки повеней та паводків: руйнування будинків та будівель, мостів; розмивання залізничних та автомобільних доріг; аварії на

інженерних мережах; знищення посівів; жертви серед населення та загибель тварин.

Внаслідок повені, паводку починається просідання будинків та землі, виникають зсуви та обвали. Заходи, які необхідні кожній людині, яка може опинитися у зоні можливого затоплення:

повідомлення подають шляхом включення сирени та переривчастих гудків підприємств та транспортних засобів — це сигнал «Увага всім». негайно потрібно ввімкнути радіоприймач або телевізор та інші засоби зв'язку;

уважно прослухати інформацію про надзвичайну ситуацію та інструкції про порядок дій, не користуватися без потреби телефоном, щоб він був вільним для зв'язку;

зберігати спокій, попередити сусідів, надати допомогу інвалідам, дітям та людям похилого віку;

дізнатися у місцевих органах державної влади та місцевого самоврядування про місце збору мешканців для евакуації та готуватися до неї;

підготувати документи, одяг, найбільш необхідні речі, запас продуктів харчування на декілька днів, медикаменти. Скласти усе у валізу. Документи зберігати у водонепроникному пакеті;

від'єднати всі споживачі електричного струму від електромережі, перекрити газ;

перенести більш цінні речі та продовольство на верхні поверхи або підняти на верхні полиці;

перегнати домашніх тварин, які є у господарстві на підвищену місцевість.

Дії в зоні раптового затоплення під час повені, паводка:

зберігати спокій, уникати паніки;

швидко зібрати документи, коштовності, ліки, продукти та необхідні речі;

надати допомогу дітям, інвалідам та людям похилого віку. Вони підлягають евакуації в першу чергу;

за можливості потрібно негайно залишити зону затоплення;

перед виходом із будинку вимкнути електрику та перекрити газ, загасити

вогонь у печах. Зачинити вікна та двері, якщо є час — закрити вікна та двері першого поверху дошками (щитами);

відчинити приміщення — даючи тваринам можливість рятуватися;

піднятися на верхні поверхи. Якщо будинок одноповерховий — зайняти горішні приміщення;

до прибуття допомоги залишатись на верхніх поверхах, дахах, деревах чи інших підвищеннях сигналізувати рятувникам, щоб вони мали змогу швидко вас знайти;

перевірити, чи немає поблизу потерпілих, надати їм за можливості допомогу;

потрапивши у воду, зняти з себе важкий одяг і взуття, відшукати поблизу предмети, якими можна скористатися до одержання допомоги;

не переповнювати рятувальні засоби (катери, човни, плоти та ін.).

Дії після повені, паводка:

переконатесья, що ваше житло не зазнало внаслідок повені ніяких ушкоджень та не загрожує заваленням, відсутні провалини в будинку і навколо нього, не розбите скло і немає небезпечних уламків та сміття;

не користуватися електромережею до повного осушення будинку;

обов'язково кип'ятити питну воду, особливо з джерел водопостачання, що були підтоплені;

просушити будинок, провести ретельне очищення та дезінфекцію забрудненого посуду і домашніх речей та прилеглої до будинку території;

здійснювати осушення затоплених підвальних приміщень поетапно, з розрахунку 1/3 об'єму води на добу;

електроприладами можна користуватися тільки після їх ретельного просушування;

заборонено вживати продукти, що були підтоплені водою під час повені. Їх потрібно позбутися та консервації, що була затоплена водою і дістала ушкодження;

усе підтоплене майно підлягає дезінфекції;

дізнатися у місцевих органах державної влади та місцевого

самоврядування адреси організацій, що відповідають за надання допомоги потерпілому населенню.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було проаналізовано та описано основні несправності у системі живлення дизельних двигунів. Визначено найбільш ефективні методи дослідження систем живлення, серед яких був виділено безрозбірний метод, який полягає в аналізі відпрацьованих газів із використанням комп'ютерної діагностики.

Розроблено спосіб діагностування системи живлення дизельних двигунів, яка застосовна для більшості сучасних автомобілів з дизельними двигунами. Приведено перелік основного обладнання, устаткування, вимірювальних засобів для проведення дослідження систем живлення.

До переваг розробленого способу можна віднести підвищення ефективності діагностування, так як в результаті досліджень ми отримуємо значно більше параметрів роботи двигуна, що дозволяє достатньо точно виявити дефекти в системі живлення, не вдаючись до додаткових вимірів та розбирання двигуна, що скорочує тимчасові витрати. Також до переваг можна віднести можливість діагностування не тільки сучасних автомобілів, але і 90-х років випуску, які у великій кількості, порядку 45%, експлуатуються в нашій країні.

У перспективі запропонований метод діагностування може удосконалюватись та підлаштовуватися під новітні системи живлення двигунів на інших станціях технічного обслуговування автомобілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Техніко – економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
- 4 Підручник з будови автомобіля. Видання третє. Виправлене й доповнене – Моноліт 2021 – 288 с
5. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67-73.
6. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. *сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2(21), 135-144.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
8. Gypka, A., et al. The patterns of changes in the degree of lubrication of the

crankshaft bearings of car engines depending on the parameters of the load-speed modes of operation. Problems of Tribology, 2024, 29.3/113: 72-78.

9. Aulin, Victor, et al. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. Procedia Structural Integrity, 2024, 59: 428-435.

10. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.