

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ім. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему: **«Підвищення ефективності діагностування паливних
форсунок шляхом використанням електронного осцилографа»**

Виконав: студент IV курсу групи Ат-43СП
Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Назарій Кузьма

(ім'я та прізвище)

Керівник: Мирон Магац

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 629.114.3

Кузьма Н. Р. Підвищення ефективності діагностування паливних форсунок, шляхом використанням електронного осцилографа. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 51 с.

Табл. 1; рис. 16; бібліограф. джерел 21.

Проаналізовано літературні джерела, на предмет надійності паливних систем двигунів з електронним управлінням.

Розраховано та побудовано графіки паливо-економічної характеристики дизельного двигуна.

Визначено вплив:

- швидкості руху автомобіля на годинну витрату палива (18 км/год - 16,95 л/100 км) та питому витрату палива (18 км/год - 187,63 г/кВт·год);
- ефективної потужності (10,34 кВт) на витрату палива (16,95 л/100 км) та питому витрату палива (187,63 г/кВт·год).

Представлена операційна карта на проведення діагностики електронних паливних форсунок з використанням електронного

Доведено, що правильний підбір діагностичного обладнання, веде до швидкого відновлення паливної апаратури двигуна та відповідно сприятиме зменшенню витрат палива в період експлуатації автомобіля.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1 Особливості роботи інжекторної системи.....	8
1.1.1 Електромагнітна форсунка.....	9
1.1.2 Електрогідравлічна форсунка	10
1.1.3 П'єзоелектрична форсунка	12
1.2 Особливості зносу електромагнітних форсунок	15
1.3 Висновки.....	16
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	21
2.1 Оцінка паливно-економічних параметрів автомобільного транспортного засобу, оснащеного дизельним двигуном.....	17
2.2 Висновки	24
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
3.1 Причини неякісної роботи паливних форсунок.....	25
3.2 Перевірка та регулювання паливної форсунки.....	27
3.3 Висновки.....	35
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій..	36
4.2 Пожежна безпека	38
4.3 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці .	41
4.4 Висновки.....	44
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	46
5.1 Експлуатаційні витрати	46
5.2 Висновки.....	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	49
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	51

ВСТУП

Починаючи з 2020 року, двигуни внутрішнього згоряння, що використовували систему карбюрації, майже повністю вийшли з використання. Їх повною мірою, замінили системи з інжекторною подачею палива, що набули широкого розповсюдження. Така зміна, стала наслідком обмежених можливостей подальшої модернізації старих паливних систем. Вона була зумовлена, необхідністю підвищення потужності, економічності та екологічних характеристик двигунів.

Класичні карбюраторні системи працювали за принципом пульверизації: паливо змішувалося з повітрям у потоці, що надходило до циліндрів. У результаті, утворювалися досить великі краплі пального, що ускладнювало створення однорідної паливо-повітряної суміші. Натомість, інжекторне впорскування, забезпечує подачу палива під тиском через форсунки, що дозволяє отримати значно менші краплі.

Дослідження інженерів довели, що при розмірі крапель палива 10–15 мікрометрів, змішування з киснем відбувається на молекулярному рівні. Це забезпечує стабільність суміші до коливань температури та тиску в камері згоряння, сприяючи більш повному і якісному згорянню [16].

Застосування електронного впорскування палива дозволило підвищити енергетичну ефективність двигунів на 20%, завдяки зниженню гідравлічних втрат у впускному колекторі та можливості використання повітряного наддуву. Це, у свою чергу, покращило економічність на 25%.

У зв'язку з активним розвитком автомобілебудування, електронні системи стрімко впроваджуються у виробництво. Вони дозволяють не лише передавати сигнальні імпульси про технічний стан окремих вузлів і агрегатів автомобіля, а й оперативно інформувати водія про несправності чи відхилення в роботі систем.

Сучасні автомобілі, які не обладнані електронікою та високоточними контрольно-вимірювальними приладами для оптимізації витрати пального,

втрачають конкурентоспроможність, як на вітчизняному, так і на світовому ринку. Особливо актуальними ці вимоги стають в умовах стрімкого розвитку підприємств аграрного сектору, які потребують транспорту з високими показниками надійності, економічності та екологічності.

У зв'язку з цим, системи живлення бензинових і дизельних двигунів із точковим упорскуванням палива, мають працювати стабільно та безвідмовно. Проте іноді виникають ситуації, коли паливна система не забезпечує належної роботи двигуна. Найчастіше це пов'язано з несправностями електронних форсунок, що призводить до нерівномірної подачі палива по циліндрах, внаслідок чого, спостерігається жорстка робота двигуна або його зупинка.

Для ефективної діагностики паливної апаратури, зокрема електронних форсунок, доцільно застосовувати електронні осцилографи. Дані прилади дозволяють точно оцінювати форму та значення електричних імпульсів на всіх режимах роботи двигуна, що сприяє своєчасному виявленню несправностей та їх усунення.

Тому, нашою **метою**, є оцінка електричного імпульсу паливної форсунки, коли за підвищених швидкісних режимів, відчувається втрата потужності двигуна.

Для цього необхідно:

- Проаналізувати літературні джерела, стосовно процесу роботи і будови конструктивних елементів паливних форсунок сучасних двигунів.
- Дослідити причину несправної роботи електронної паливної форсунки.
- Провести техніко-економічне огрунтування автомобіля, коли система діагностики не виявляє проблеми у паливній апаратурі.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Особливості роботи інжекторної системи

Основні принципи роботи будь-якої сучасної інжекторної системи упорскування, виглядає наступним чином: повітря, яке надходить у двигун, вимірюється спеціальним датчиком витрати повітря, дані показів, переносяться у бортовий комп'ютер, що аналізує їх, і на основі деяких процесів закладених в його пам'яті (температура повітря, температура двигуна, ступінь відкриття дросельної заслінки (також швидкість т.д.) розраховує певну кількість палива, яку необхідно спалити (у кількості повітря) при певному режимі роботи двигуна. Відповідно, комп'ютер передає на форсунки електричний імпульс необхідної тривалості, відкриваються форсунки, паливо (що знаходиться під тиском) впорскується у впускний колектор, рис.1.1.

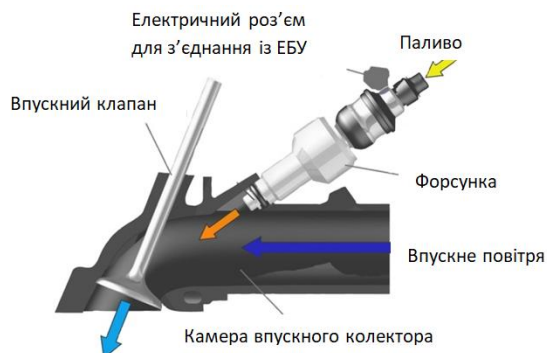


Рисунок 1.1 - Впускний колектор інжекторного двигуна.

Основна відмінність в інжекторах - тільки у пропускній здатності. Якщо для стандартного автомобіля, достатньо роботи форсунок на частоті 200 Гц, то для тюнінгової паливної форсунки можуть знадобитися інжектори, що працюють на частотах у кілька разів вище, рис.1.2 [1].

Продуктивність цих соленоїдів, визначається обсягом палива см^3 за хвилину.



Форсунка SIEMENS



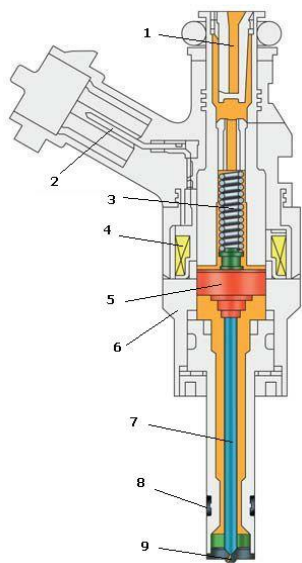
Рисунок 1.2 – Загальний вигляд паливних форсунок.

Залежно від способу здійснення упорскування, розрізняють наступні види форсунок:

- електромагнітна;
- електрогідравлічна;
- п'єзоелектрична.

1.1.1 Електромагнітна форсунка

Електромагнітна форсунка встановлюється зазвичай на бензинових двигунах, в т.ч. обладнаних системою безпосереднього упорскування. Форсунка має досить простий пристрій, що включає електромагнітний клапан з голкою та сопло, рис.1.3 [3]-[7] .



- 1- сітчастий фільтр;
- 2- електричний роз'єм;
- 3- пружина;
- 4- обмотка збудження;
- 5- якір електромагніту;
- 6- корпус форсунки;
- 7- голка форсунки;
- 8- ущільнення;
- 9- сопло форсунки.

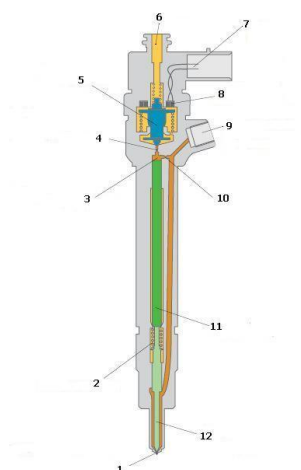
Рисунок 1.3 – Будова електромагнітної форсунки

Робота електромагнітної форсунки здійснюється, відповідно до закладеного алгоритму. Електронний блок управління, забезпечує в потрібний момент подачу напруги на обмотку збудження клапана. При цьому, створюється електромагнітне поле, яке долаючи зусилля пружини, втягує якір із голкою та звільняє сопло. Після цього процесу, відбувається упорскування палива. Зі зникненням напруги, пружина повертає голку форсунки у попереднє положення, звільняючи сопло.

1.1.2 Електрогідравлічна форсунка

Електрогідравлічна форсунка використовується на дизельних двигунах, у т.ч. обладнаних системою упорскування Common Rail. Конструкція електрогідравлічної форсунки поєднує, рис.1.4:

- електромагнітний клапан;
- камеру управління;
- впускний та зливний дроселі.



- 1 -сопло форсунки; 2- пружина;
- 3 - камера керування;
- 4 -зливний дросель;
- 5 - якорь електромагніту;
- 6 - зливний канал;
- 7 - електричний роз'єм;
- 8 - обмотка збудження;
- 9 - штуцер підведення палива;
- 10 - впускний дросель;
- 11 – поршень;
- 12 - голка форсунки.

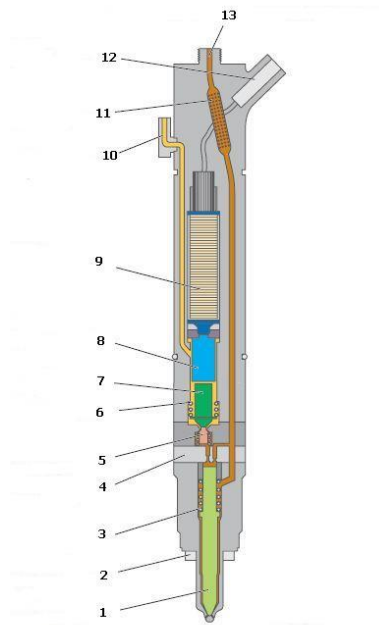
Рисунок 1.4 – Будова електрогідравлічної форсунки

Принцип роботи електрогідравлічної форсунки заснований на використанні тиску палива, як при впорскуванні, так і при його припиненні. У вихідному положенні, електромагнітний клапан знеструмлений та закритий, голка форсунки притиснута до сидла силою тиску палива на поршень у камері управління. Упорскування палива не відбувається. При цьому тиск палива на голку через різницю площ контакту, зменшений у ділянці поршня.

За командою електронного блоку управління, спрацьовує електромагнітний клапан, відкриваючи зливний дросель. Паливо з камери керування, витікає через дросель у зливну магістраль. При цьому впускний дросель перешкоджає швидкому вирівнюванню тисків у камері керування та впускній магістралі. Тиск на поршень знижується, а тиск палива на голку не змінюється, під дією якого, голка піднімається і відбувається процес упорскування палива.

1.1.3 П'єзоелектрична форсунка

Найдосконалішим пристроєм, що забезпечує упорскування палива, є п'єзоелектрична форсунка, рис.1.5.



1 - голка форсунки; 2 –ущільнення; 3 - пружина голки; 4 - блок дроселів; 5-перемикаючий клапан; 6 - пружина клапана; 7 - поршень клапана; 8 - поршень штовхача; 9 - п'єзоелемент; 10 - зливний канал; 11 - сітчастий фільтр; 12 - електричний роз'єм; 13 - нагнітальний канал.

Рисунок 1.5 – Конструкція п'єзоелектричної форсунки

Перевагами п'єзофорсунки, перед існуючими:

- швидкість спрацьовування (в 4 рази швидше електромагнітного клапана), і як наслідок, можливість багаторазового упорскування палива протягом одного циклу;
- точне дозування палива, що впорскується. Це стало можливим, завдяки використанню п'єзоефекту в управлінні форсункою, що ґрунтується на зміні довжини п'єзокристалу під дією напруги.

Конструкція п'єзоелектричної форсунки включає п'єзоелемент, штовхач, що перемикає клапан і голку, яка розміщується у корпусі.

У роботі п'єзофорсунки, як і електрогідравлічної форсунки, використовується гідравлічний принцип. У вихідному положенні, голка знаходиться у сидлі (за рахунок високого тиску палива). При подачі

електричного сигналу на п'єзоелемент збільшується його довжина, яка передає зусилля на поршень штовхача. Відкривається перемикаючий клапан, паливо надходить у зливну магістраль. Тиск вище голки падає. Голка за рахунок тиску у нижній частині, піднімається і проводиться упорскування палива.

Кількість палива, що впорскується, визначається:

- тривалістю проходження електричного струму через п'єзоелемент;
- тиском палива у паливній рампі.

Бензинові форсунки GDI. Термін GDI за класифікацією фірми Mitsubishi, яка вперше застосувала у серійному виробництві двигуни з безпосереднім упорскуванням палива, що працюють на надзбіднених сумішах, де основним фактором є час підняття та опускання голки.

Якщо у звичайних двигунах, час відкриття форсунки становить від 2 до 6 мсек., то двигунах, що працюють на понад збіднених сумішах час відкриття становить близько 0,5 мсек.

Звичайні методи подачі 12 В на форсунку, вже не забезпечують швидкого її відкривання та закривання. На цих форсунках, застосовується спосіб Peak-n-Hold (пікова напруга + утримання). Суть методу полягає в тому, що для швидкого відкривання, на форсунку подається велика напруга. Наприклад, для форсунок GDI фірми Mitsubishi, ця напруга становить близько 100 В (при опорі форсунки від 09 до 20 Ом). Котушка швидко досягає насичення, магнітне поле максимальне – стійке. Для утримання сердечника, у котушці необхідно значно менше магнітне поле, і, отже, менший струм. Сила струму у котушці різко зменшується. Настає фаза hold, на форсунку подається нормальна робоча напруга. Струм набуває наступного вигляду, рис.1.6 [12]:

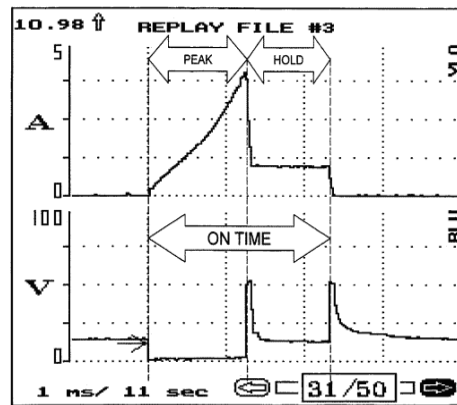


Рисунок 1.6 – Осцилограма роботи форсунки GDI фірми Mitsubishi

Фірма Mercedes в системах FSI (а також WV, які взяли у них ліцензію) застосовує інший спосіб зменшення струму до робочого. Це розробка фірми Bosch і виглядає наступним чином. Замість зменшення напруги, застосовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Осцилограма набуває наступного вигляду, рис.1.7 [14]:

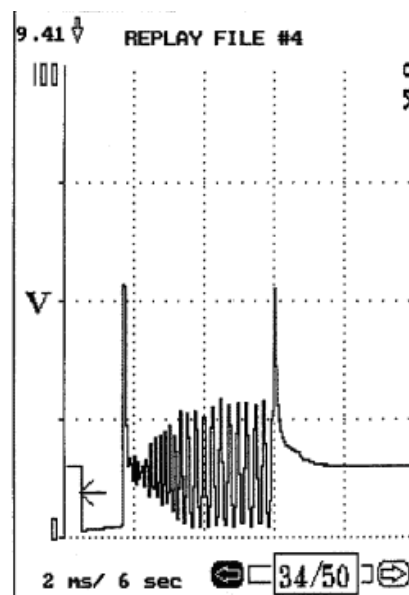


Рисунок 1.7 – Осцилограма роботи форсунки фірми Bosch.

1.2 Особливості зносу електромагнітних форсунок

Для того, щоб визначити технічний стан електронної паливної форсунки, насамперед бажано виконати комп'ютерну діагностику та оглянути різницю корекції по циліндрах. Там де корекція вища – форсунка працює неналежним чином.

Якщо загоряється "CHECK", або спіраль розжарювання або EDS, необхідно звернути увагу під час діагностики на низький (недостатній тиск) палива [14].

У випадку відсутності комп'ютерного діагностичного обладнання, слід здійснити заміри рівня (за наявності однакових у часі імпульсів палива) в магістралі зворотнього зв'язку на форсунках. Цей спосіб передбачає вимірювання зворотного зливу палива з кожної форсунки на працюючому двигуні.

Високий рівень зливу палива, свідчить про загальний знос форсунки та необхідність її ремонту [16].

Необхідно зазначити, що за хвилину роботи двигуна, кількість палива у зворотньому паливопроводі не повинна перевищувати 10-14 мл (для паливних систем Bosch та Denso) та 4 -7 мл (для систем Delphi) [17].

Тому, для підвищення якості діагностичних робіт над сучасною паливною апаратурою двигуна з ЕБУ (у нашому випадку електронними паливними форсунками), слід використовувати електронні осцилографи, що дадуть змогу більш точно виявити форму вхідного електричного імпульсу від електронного блоку управління до виконавчого електронного елементу (форсунки).

Відповідно, наші дії, будуть стосуватися оцінки технічного стану паливних форсунок з електричним збудженням, із застосуванням електронного осцилографу.

1.3 Висновки

Проведено аналіз науково-технічної літератури, щодо конструктивних особливостей електронних паливних форсунок систем живлення автомобільних двигунів.

З'ясовано, що здебільшого автомобільні двигуни обладнані системою Common Rail, яка оснащена електрогідравлічними паливними форсунками з високою точністю подачі палива.

Електронні паливні форсунки, вимагають надзвичайно якісної діагностики, особливо пульсуючої електричної складової, яка суттєво впливає на технічні характеристики двигуна.

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Оцінка паливно-економічних параметрів автомобільного транспортного засобу, оснащеного дизельним двигуном

Параметри паливно-економічної характеристики автомобіля на найвищій (z-й) передачі, при різних швидкісних режимах роботи дизельного двигуна, визначаються на основі зовнішньої швидкісної характеристики, представленій в таблиці 2.1. На початковому етапі, до таблиці 2.1 заносяться значення швидкісних режимів, а також відповідні їм поточні показники частоти обертання колінчастого валу $n_{\text{дін}}$, ефективної потужності двигуна $N_{\text{еі}}$ та швидкості руху автомобіля $V_{\text{зі}}$.

Восьмий швидкісний режим ($i = 8$) відповідає режиму холостого ходу, коли частота обертання колінчастого валу становить $n_{\text{д8}} = n_{\text{дхmax}}$, двигун працює без навантаження, а транспортний засіб залишається нерухомим. Таким чином, розрахунок паливно-економічних показників автомобіля здійснюється для семи швидкісних режимів ($i = 1, 2, 3, \dots, 7$): шість із них належать до перевантажувальної ділянки зовнішньої швидкісної характеристики двигуна, а сьомий — до регуляторної ділянки.

Розрахунок проводиться (за відновлених форсунок паливної апаратури), для двох типів дорожніх умов. Перший тип дороги характеризується заданим коеф. зведеного опору ψ_V . Для другого типу дороги, що має кращі характеристики, цей коефіцієнт зменшується до рівня $0,75\psi$.

Потужність двигуна $N_{\text{еі}}$ (кВт), необхідна для забезпечення руху повністю завантаженого автомобіля на найвищій (z-й) передачі, при різних швидкісних режимах роботи двигуна за вибраних дорожніх умов, обчислюється наступним чином:

$$N_{\text{еі}} = \frac{(\psi m_{a \max} g + P_{\omega zi}) V_{zi}}{3,6 \cdot 10^3 \eta_{mp}}, \quad (2.1)$$

де ψ – коефіцієнт, що відповідає за стан дороги, $\psi = 0,0213$;

$m_{a \max}$ – повна маса автомобіля, приймаємо $m_{a \max} = 10227$ кг;

g – прискорення вільного падіння, приймаємо $9,81$ м/с²;

$P_{\omega zi}$ – повітряний опір, Н;

V_{zi} – швидкість автомобіля на вибраній ділянці, км/год;

η_{mp} – коеф. корисної дії. мех. транс., $\eta_{mp} = 0,9$.

Для першої передачі ($\psi_1 = 0,0213$; $z = 5$; $i = 1, 2, 3, \dots 7$):

$$N_{e51} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 108) 20,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 11,93 \text{ кВт};$$

$$N_{e52} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 433) 40,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 24,22 \text{ кВт};$$

$$N_{e53} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 973) 60,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 37,26 \text{ кВт};$$

$$N_{e54} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 1521) 74,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 47,75 \text{ кВт};$$

$$N_{e55} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 1731) 79,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 51,41 \text{ кВт};$$

$$N_{e56} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 2704) 99,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 67,04 \text{ кВт};$$

$$N_{e57} = \frac{(0,0211 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 2981) 104,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 71,22 \text{ кВт}.$$

Для дороги №2 ($\psi_1 = 0,0160$; $z = 5$; $i = 1, 2, 3, \dots 7$):

$$N_{e51} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 108) 20,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 8,96 \text{ кВт};$$

$$N_{e52} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 433) 40,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 18,29 \text{ кВт};$$

$$N_{e53} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 973) 60,0}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 28,36 \text{ кВт};$$

$$N_{e54} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 1521) 74,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 36,62 \text{ кВт};$$

$$N_{e55} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 1731) 79,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 39,54 \text{ кВт};$$

$$N_{e56} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 2704) 99,9}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 52,21 \text{ кВт};$$

$$N_{e57} = \frac{(0,0158 \cdot 6909 \cdot 9,81 + 2981)^{104,9}}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 55,65 \text{ кВт.}$$

Розраховані значення потужності N_{ezi} заносяться у табл. 2.1.

Коефіцієнт k_{ni} (яким враховується зміна витрат палива, залежно від обертів валу двигуна $n_{\partial i}$, визначиться за відомим виразом:

$$k_{ni} = 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial i}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial i}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial i}}{n_{\partial N}} \right)^3, \quad (2.2)$$

де $n_{\partial N}$ – оберти колінчастого валу (при макс. потужності ДВЗ), об/хв.

Згідно виразу $\frac{n_{\partial i}}{n_{\partial N}}$ та змінних швидкісних режимів двигуна, де $i = 1, 2, 3,$

... 6, коеф. k_{ni} визначиться за:

$$\begin{aligned} k_{n1} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 1}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 1}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 1}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 0,2 + 0,98 \cdot 0,2^2 - 0,24 \cdot 0,2^3 = 1,089; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{n2} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 2}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 2}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 2}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 0,4 + 0,98 \cdot 0,4^2 - 0,24 \cdot 0,4^3 = 0,995; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{n3} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 3}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 3}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 3}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 0,6 + 0,98 \cdot 0,6^2 - 0,24 \cdot 0,6^3 = 0,957; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{n4} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 4}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 4}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 4}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 0,75 + 0,98 \cdot 0,75^2 - 0,24 \cdot 0,75^3 = 0,958; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{n5} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 5}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 5}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 5}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 0,8 + 0,98 \cdot 0,8^2 - 0,24 \cdot 0,8^3 = 0,962; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{n6} &= 1,25 - 0,99 \left(\frac{n_{\partial 6}}{n_{\partial N}} \right) + 0,98 \left(\frac{n_{\partial 6}}{n_{\partial N}} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{n_{\partial 6}}{n_{\partial N}} \right)^3 = \\ &= 1,25 - 0,99 \cdot 1,0 + 0,98 \cdot 1,0^2 - 0,24 \cdot 1,0^3 = 1,0. \end{aligned}$$

Відповідно, якщо спостерігаються майже однакові значення коеф. k_{ni} , (для двох доріг), що є лише залежні від швидкісної характеристики ДВЗ, заносяться в табл. 2.1.

За необхідної потужності N_{ezi} двигуна та ефективної потужності N_{ei} (кВт), значення яких, відповідають зовнішній швидкісній характеристиці $\frac{N_{ezi}}{N_{ei}}$, а саме $\frac{N_{ez1}}{N_{e1}}, \frac{N_{ez2}}{N_{e2}}, \frac{N_{ez3}}{N_{e3}}, \frac{N_{ez7}}{N_{e7}}$ (для двох доріг), заносяться в табл. 2.1.

Для 1-ї дороги ($\psi_1 = 0,0213$; $z = 5$):

$$\frac{N_{e51}}{N_{e1}} = \frac{9,49}{19,46} = 1,153;$$

$$\frac{N_{e52}}{N_{e1}} = \frac{22,96}{48,13} = 0,947;$$

$$\frac{N_{e53}}{N_{e1}} = \frac{44,42}{79,87} = 0,878;$$

$$\frac{N_{e54}}{N_{e1}} = \frac{68,15}{102,02} = 0,881;$$

$$\frac{N_{e55}}{N_{e1}} = \frac{77,85}{108,54} = 0,892;$$

$$\frac{N_{e56}}{N_{e1}} = \frac{127,24}{128} = 0,986.$$

Для дороги №2 ($\psi_1 = 0,0160$; $z = 5$):

$$\frac{N_{e51}}{N_{e1}} = \frac{7,28}{19,46} = 0,867;$$

$$\frac{N_{e52}}{N_{e1}} = \frac{18,55}{48,13} = 0,715;$$

$$\frac{N_{e53}}{N_{e1}} = \frac{37,80}{79,87} = 0,668;$$

$$\frac{N_{e54}}{N_{e1}} = \frac{59,88}{102,02} = 0,676;$$

$$\frac{N_{e55}}{N_{e1}} = \frac{69,03}{108,54} = 0,686;$$

$$\frac{N_{e56}}{N_{e1}} = \frac{116,22}{128} = 0,768.$$

Значення коефіцієнта k_{Nzi} , що враховує витрати палива, залежно від навантаження на дизель, тобто за $\frac{N_{ezi}}{N_{ei}}$, визначимо за:

$$k_{Nzi} = 1,2 + 0,14 \left(\frac{N_{ezi}}{N_{ei}} \right) - 1,8 \left(\frac{N_{ezi}}{N_{ei}} \right)^2 + 1,46 \left(\frac{N_{ezi}}{N_{ei}} \right)^3 . \quad (2.3)$$

Для 1 – ї дороги:

$$\begin{aligned} k_{N51} &= 1,2 + 0,14 \cdot 1,153 - 1,8 \cdot 1,153^2 + 1,46 \cdot 1,153^3 = 1,207; \\ k_{N52} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,947 - 1,8 \cdot 0,947^2 + 1,46 \cdot 0,947^3 = 0,959; \\ k_{N53} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,878 - 1,8 \cdot 0,878^2 + 1,46 \cdot 0,878^3 = 0,924; \\ k_{N54} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,881 - 1,8 \cdot 0,881^2 + 1,46 \cdot 0,881^3 = 0,925; \\ k_{N55} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,892 - 1,8 \cdot 0,892^2 + 1,46 \cdot 0,892^3 = 0,929; \\ k_{N56} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,986 - 1,8 \cdot 0,986^2 + 1,46 \cdot 0,986^3 = 0,988; \end{aligned}$$

Для 2 - ї дороги:

$$\begin{aligned} k_{N51} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,867 - 1,8 \cdot 0,867^2 + 1,46 \cdot 0,867^3 = 0,920; \\ k_{N52} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,715 - 1,8 \cdot 0,715^2 + 1,46 \cdot 0,715^3 = 0,913; \\ k_{N53} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,668 - 1,8 \cdot 0,668^2 + 1,46 \cdot 0,668^3 = 0,925; \\ k_{N54} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,676 - 1,8 \cdot 0,676^2 + 1,46 \cdot 0,676^3 = 0,923; \\ k_{N55} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,686 - 1,8 \cdot 0,686^2 + 1,46 \cdot 0,686^3 = 0,920; \\ k_{N56} &= 1,2 + 0,14 \cdot 0,768 - 1,8 \cdot 0,768^2 + 1,46 \cdot 0,768^3 = 0,907. \end{aligned}$$

Отримані значення коеф. k_{Nzi} заносимо у табл. 2.1.

За врахування коеф. k_{ni} та k_{Nzi} , питома ефективна витрата палива g_{ezi} розрахується за виразом:

$$g_{ezi} = g_{eN} k_{ni} k_{Nzi} , \quad (2.4)$$

де g_{eN} – питома ефективна витрата палива, за номінальної потужності двигуна (г/кВт·год), буде мати наступні значення.

$$g_{e51} = 190 \cdot 1,089 \cdot 1,207 = 249,85 \text{ г/кВт·год};$$

$$g_{e\ 52} = 190 \cdot 0,995 \cdot 0,959 = 181,29 \text{ г/кВт}\cdot\text{год};$$

$$g_{e\ 53} = 190 \cdot 0,957 \cdot 0,924 = 167,93 \text{ г/кВт}\cdot\text{год};$$

$$g_{e\ 54} = 190 \cdot 0,958 \cdot 0,925 = 168,20 \text{ г/кВт}\cdot\text{год};$$

$$g_{e\ 55} = 190 \cdot 0,962 \cdot 0,929 = 169,81 \text{ г/кВт}\cdot\text{год};$$

$$g_{e\ 56} = 190 \cdot 1 \cdot 0,988 = 187,63 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}.$$

Всі отримані значення питомої ефективної витрати палива g_{ezi} і годинної витрати палива Q_{szi} заносимо у табл. 2.1.

За розрахованими швидкісними режимами роботи дизеля, будуємо паливно-економічну характеристику автомобіля (згідно табличних даних 2.1).

Таблиця 2.1 – Отримані значення паливно-економічної характеристики автомобільного дизеля

Ψ	Передача	Швидкісний режим		$n_{\partial i}$, об/хв	N_{ei} , кВт	V_{zi} , км/год	N_{ezi} , кВт	k_{ni}	$\frac{N_{ezi}}{N_{ei}}$	k_{Nzi}	g_{ezi} , г/кВт·год	Q_{szi} , л/100км
		i	$\frac{n_{\partial i}}{n_{\partial N}}$, (%)									
$\psi_1 = \psi_V$	5	1	0,20 (20)	520	10,34	18,0	11,93	1,089	1,153	1,207	249,85	20,08
		2	0,40 (40)	1040	25,57	36,0	24,22	0,995	0,947	0,959	181,29	14,79
		3	0,60 (60)	1560	42,43	54,0	37,26	0,957	0,878	0,924	167,93	14,05
		4	0,75 (75)	1950	54,20	67,5	47,75	0,958	0,881	0,925	168,20	14,43
		5	0,80 (80)	2080	57,66	72,0	51,41	0,962	0,892	0,929	169,81	14,71
		6	1,0 (100)	2600	68	89,9	67,04	1	0,986	0,988	187,63	16,95
		7	1,05 (105)	2730	34	94,4	71,22	-	-	-	-	-
$\psi_2 = 0,75\psi_V$	5	1	0,20 (20)	520	10,34	18,0	8,96	1,089	0,867	0,920	190,35	11,49
		2	0,40 (40)	1040	25,57	36,0	18,29	0,995	0,715	0,913	172,77	10,65
		3	0,60 (60)	1560	42,43	54,0	28,36	0,957	0,668	0,925	168,25	10,72
		4	0,75 (75)	1950	54,20	67,5	36,62	0,958	0,676	0,923	167,95	11,05
		5	0,80 (80)	2080	57,66	72,0	39,54	0,962	0,686	0,920	168,28	11,21
		6	1,0 (100)	2600	68	89,9	52,21	1	0,768	0,907	172,37	12,13
		7	1,05 (105)	2730	34	94,4	55,65	-	-	-	-	-

За отриманими значеннями параметрів (див. табл.2.1), побудовано графічні залежності: N_{ezi} (кВт), V_{zi} (км/год) - g_{ezi} (г/кВт·год), Q_{szi} , л/100км., рис. 2.1.

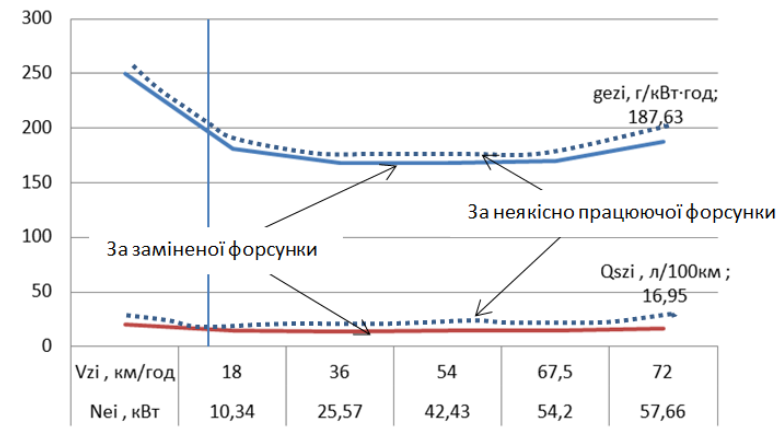


Рисунок 2.1 – Динамічна характеристика дизеля з системою Common Rail.

2.2 Висновки

Розраховано та побудовано графіки паливо-економічної характеристики дизельного двигуна.

Визначено вплив:

- швидкості руху автомобіля на годинну витрату пального (18 км/год - 16,95 л/100 км) та питому витрату пального (18 км/год - 187,63 г/кВт·год);
- ефективної потужності (10,34 кВт) на витрату палива (16,95 л/100 км) та питому витрату палива (187,63 г/кВт·год).

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Причини неякісної роботи паливних форсунок

Неякісне паливо - ось одна з головних причин поломки форсунок. Значна кількість смол, які осідають усередині форсунок, знижують пропускну здатність, вони не дозволяють герметично закриватися клапанам, і тим самим змінюється кут струменя палива, що впорскується.

Виявити несправну форсунку, можна за допомогою почергового відключення роз'ємів.

Під час запуску холодного двигуна (коли неякісно працює перепускний клапан), є причиною перезбагачення робочої суміші, що являється наслідком підвищення витрати палива та токсичних газів.

Також, засмічування форсунок може відбуватися, при використанні неякісних паливних фільтрів, або за перевищення послідовності проведення технічного обслуговування паливної апаратури (тобто за невчасності заміни паливного фільтру, що може призвести до розриву фільтруючого елементу), та відповідно, потрапляння різного роду бруду чи води до форсунок, рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Демонтаж неякісно працюючої паливної форсунки.

Внаслідок чого, двигун не зможе працювати повноцінно та не розвивати бажаної потужності.

Не герметичність системи. Якщо у паливної форсунки з'явилася тріщина у корпусі чи певне пошкодження (внаслідок старіння), то з'явиться ймовірність просочування палива через дане ушкодження, що також спричиняє неякісну роботу двигуна.

Відчутний запах палива. Даний негативний процес супроводжується сумісно із витіканням палива, але у випадку бензинового двигуна (не згоряє через пошкоджену форсунку) суттєво проявляється та є надто небезпечних явищем під час експлуатації автомобіля. У будь-якому випадку, слід негайно усунути причину запаху.

Токсичність випускної системи. Оскільки, несправна чи негерметична паливна форсунка, може спричинити нерівномірне або неповне спалювання палива, що призводить до збільшення викидів отруйних речовин у атмосферу.

Нерівномірний холостий хід. У циліндри двигуна поступає не достатня кількість палива або його подача є нерівномірною, частота обертання на холостому ході падає нижче оптимального рівня, що призводить до різких вібрацій роботи ДВЗ чи повного його вимикання.

Пропуски запалювання. Якщо недостатньо розпилюється паливо у циліндрах (через засмічування форсунки), відбувається процес затrudненого спалахування робочої суміші, що супроводжує пропуски запалювання під час руху. Двигун буде схильний до перегріву або інших проблем, які виникатимуть при порушенні повноти згоряння паливно-повітряної суміші.

Витрата палива. Якщо двигун не отримує потрібної кількості палива, необхідної для згоряння, він вимагатиме від інжектора більшої кількості палива. Це призводить до надмірної витрати палива. Через надлишок палива, що формує ЕБУ автомобіля, переводить його у аварійний режим роботи.

Ривки двигуна. Якщо паливна форсунка розпилює надто багато палива в циліндр двигуна, то це сприятиме різкому займанню суміші і жорсткій

роботі дизеля. Під час руху автомобіля, оберти колінчастого валу двигуна помітно змінюватимуться (при постійному навантаженні), а не залишатися на стабільними.

Check Engine. Найочевидніша ознака проблеми — це коли на панелі приладів загоряється індикатор «Check Engine». Електронний блок управління, переходить у аварійний режим роботи і система самодіагностується, видаючи помилку роботи якоїсь системи автомобіля. Хоча це може означати багато, але неякісна робота паливної форсунки може спричинити появу «Check Engine».

3.2 Перевірка та регулювання паливної форсунки

Перевірити роботу форсунки можна з допомогою паливного насоса, встановленого на двигуні; чи краще на спеціальному стенді, рис.3.1.

Переміщуючи важіль 1, діють на плунжер насоса 2. Останній забирає паливо з баку 3 і, прокачуючи його через трійник 4 і трубопровід 5, подає у форсунку 6. Перед перевіркою відкривають кран 7 і, переміщуючи важіль, видаляють повітря із системи.

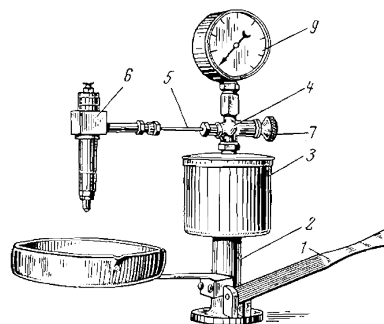


Рисунок 3.2 – Стенд для перевірки форсунок з механічним приводом.

Форсунку, що підлягає огляду та регулюванню, розбирають на чистому та добре освітленому місці, промивають гасом чи чистим паливом, обдувають стисненим повітрям та знову збирають. У форсунок, які мають регульований підйом голки, гвинт регулювальний загвинчують до упору, а

потім відвертають на частину обертів, що забезпечує необхідний підйом голки, що вказується в інструкції з експлуатації двигуна.

Щоб не змішати деталі різних форсунок, рекомендується розбирати та збирати їх по черзі. При перевірці, слід бути обережним, так як попадання струменя палива на верхні кінцівки, може спричинити підшкірну травму.

Перевірка відсутності засмічування в отворах сопла. Форсунку закріплюють на стенді, видаляють із системи повітря, краном 7 (див. рис.3.1) вмикають манометр 8, під форсунку розміщують папір і різко впорскують паливо. Якщо на паперовому листку прорваних місць спостерігається менша кількість, ніж отворів у розпилювачі, це ознака часткового засмічування отворів у розпилювача.

Для очищення отворів, форсунку розбирають, промивають у гасі, нагар із зовнішніх поверхонь знімають за допомогою дерев'яного скребка, отвори прочищають сталевим дротом (діаметр якого, менший за діаметр соплових, отворів на 0,05 - 0,1 мм), потім збирають.

Очищати отвори без розбирання форсунки не дозволяється, так, як у цьому випадку забруднення попадає у середину форсунки.

Перевірка щільності розпилювача – напрямна втулка. Щільність посадки голки в її напрямній перевіряють наступним чином:

- пружину форсунки затягують до моменту, щоб сила тиску на відкриття голки відповідала технічним умовам з експлуатації двигуна або його паспорту;
- тиск у форсунці, повинен частково перевищувати обумовлене значення в інструкції, і по секундоміру визначають час падіння тиску на 50 кгс/см² від встановленого;
- час спадання тиску повинен знаходитися (50 кгс/см²) не менше 15 с для нових розпилювачів і 5 с для розпилювачів, що були у використанні.

При зменшенні густини палива (паливно-газової емульсії), сприяє збільшенню протікання палива через зазор під час роботи двигуна. Нормальним (для нової форсунки) вважається протікання палива 1 - 4%

кількості палива, поданого в циліндр. Кількість палива, що зливається з різних форсунок за той самий час, не повинна відрізнятись більш ніж на 50%.

Перевірка та регулювання тиску підйому голки форсунки. Для перевірки робочого тиску відкриття голки форсунки, встановлюють на стенд (див. рис. 3.1) і насосом 2 створюють тиск палива, контрольований манометром 9. Величина тиску, вказується в інструкції з експлуатації двигуна і регулюється зміною сили натягу пружини. Відхилення величини тиску відкриття голки форсунки від норми, допускається в межах $\pm(5 \div 10)$ кгс/см².

Перевірка підтікання форсунки. Щільність притирання конуса ущільнюючого (або торця) голки, перевіряють повільним підвищенням тиску палива у форсунці, плавно пересуваючи для цього важіль 1 (див. рис. 3.1). При тиску на 5 - 10 Бар (менше тиску впорскування), розпилювач повинен бути у сухому стані. У випадку, якщо форсунка підтікає, то слід притирати голку до її сидла (за допомогою тонкої пасти ГОІ, розведеної на гасі). Під час притирання, стежать щоб паста не потрапляла у зазор між голкою та її прямою. Після притирання, деталі ретельно промивають у гасі або чистому паливі, обдувають повітрям і знову перевіряють на відсутність підтікання.

Перевірка якості розпилювання палива. Під час подачі палива, форсунка повинна давати різке і чітке туманне впорскування з характерним різким звуком. Для зручності спостереження за якістю розпилювання, рекомендується направити форсунку на аркуш чистого паперу. Сліди палива на папері мають бути однакової густоти та проявитися на рівній відстані від центру. Якщо форсунка не дає рівномірного кругового розпилювання, її розбирають, отвори сопла прочищають тонким м'яким дротом.

У випадку збільшених соплових отворів у розпилювачі (що викликає зниження швидкості виходу палива з форсунки), погіршується якість розпилювання палива. У даному випадку, сопло замінюють.

Представлені вище операції із перевірки і регулювання паливних виконавчих елементів, стосується тільки паливних форсунок із механічним приводом.

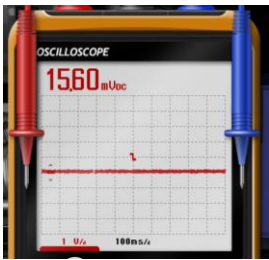
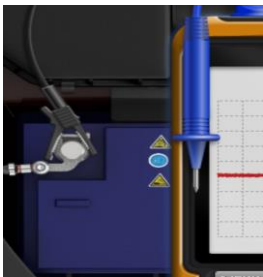
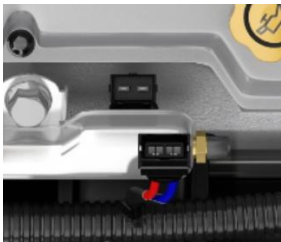
В зв'язку із тим, що зазначені вище форсунки вже майже не використовуються у сучасних двигунах, на сьогоднішній день, для проведення різноманітних діагностичних робіт над паливною апаратурою, використовують у більшості випадків різноманітні електронні сканери, мультиметри та електронні осцилографи.

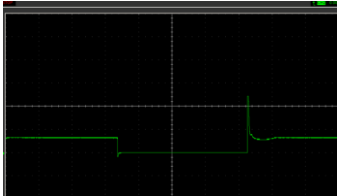
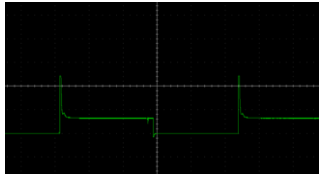
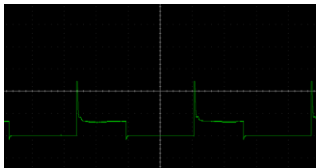
Відповідно, якщо двигун внутрішнього згоряння не розвиває бажаної потужності (коли ЕБУ не вибиває помилок самодіагностики, і діагностичний сканер не дає бажаних результатів), для підвищення ефективності діагностування електронних форсунок, слід використовувати електронний осцилограф.

Тому, для вмикання електронного осцилографу у електронну бортову систему двигуна, представляємо операційну карту на оперативне визначення стану роботи електронних паливних форсунок, табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Операційна карта на проведення діагностичних спостережень паливних форсунок (за допомогою електронного осцилографу)

№ операції	Вид операцій	Складові елементи	Обладнання для проведення операцій	Час проведення операцій, хв.
1	2	3	4	5
1	Встановити автомобіль на стоянкове гальмо 	Блокування задніх коліс	Важіль	До 1
2	Відкрити капотне відділення 	Відкрити замок	Важіль	До 1

Продовження таблиці 3.1				
1	2	3	4	5
3	Вимкнути АКБ 	6СТ55 (560 А г)	Ключ на 13 мм	До 8
4	Демонтувати верхній захист двигуна 	Ослабити затискачі	Вручну	До 3
5	Підготувати осцилограф до роботи 	Монітор осцилографу	Вручну	До 10
6	З'єднати осцилограф із масою автомобіля 	Затискачі	Вручну	До 5
5	Роз'єднати електророземи форсунки 	Електро роз'єм	Вручну	До 10

Продовження таблиці 3.1				
1	2	3	4	5
6	Перевірити вхідний сигнал 	Хомути	Ключ на 6 мм	До 20
7	Дослідити осцилограму за 1000 об/хв 	Монітор осцилографу	Вручну	До 10
8	Дослідити осцилограму за 2000 об/хв 	Монітор осцилографу	Вручну	До 10
9	Дослідити осцилограму за 3000 об/хв 	Монітор осцилографу	Вручну	До 10
10	Дослідити осцилограму за 4000 об/хв 	Монітор осцилографу	Вручну	До 10
10	Розгвтити кріплення форсунки 	Гвинт 13×15	Ключ на 13мм	До 15

Продовження таблиці 3.1				
1	2	3	4	5
11	Демонтувати форсунку 	Паливна форсунка	Вручну	До 20
12	Замінити форсунку 	Паливна форсунка	Вручну	До 10
13	Перевірка роботи двигуна на всіх швидкісних режимах 	Табло приладів	Відсутній «Check Engine»	До 30
Загальна тривалість операцій				163 хв./ 3 год.

Розроблена операційна карта, є ключовим інформаційним документом для працівників станції технічного обслуговування, де проводиться діагностика автомобільних транспортних засобів. Вона допомагає правильно підібрати необхідний інструмент та забезпечує ефективне використання діагностичних засобів під час встановлення причин неякісної роботи паливної апаратури системи «Common rail» дизельного двигуна.

Відповідно до поданої карти, розроблена спрощена схема виконання операцій, на використання електронного осцилографу під час проведення більш точних діагностичних робіт у системах автомобілів, рис. 3.3.

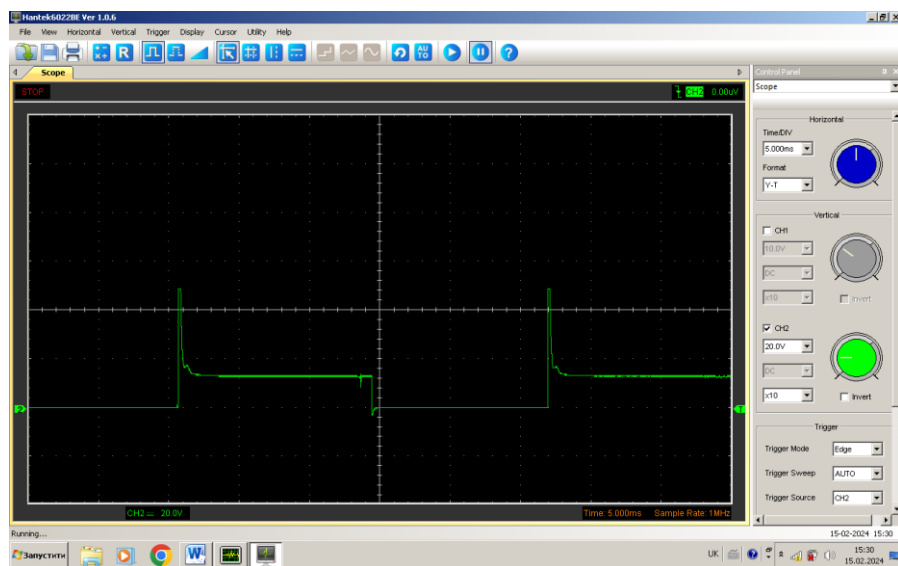
Дана схема, налаштовує і оптимізує думки працівників станції технічного обслуговування на оперативне прийняття рішення, що до оцінки стану виконавчих електронних елементів (у нашому випадку) паливної

апаратури сучасного автомобільного двигуна.



Рисунок 3.3 – Операційна карта на використання електронного осцилографу для проведення діагностичних робіт паливних форсунок двигуна.

Після використання електронного осцилографу на визначення технічного стану паливних форсунок двигуна з електронним управлінням, отримали осцилограми електричних імпульсів на відкриття перепускних клапанів, рис. 3.4.



3000 об/хв

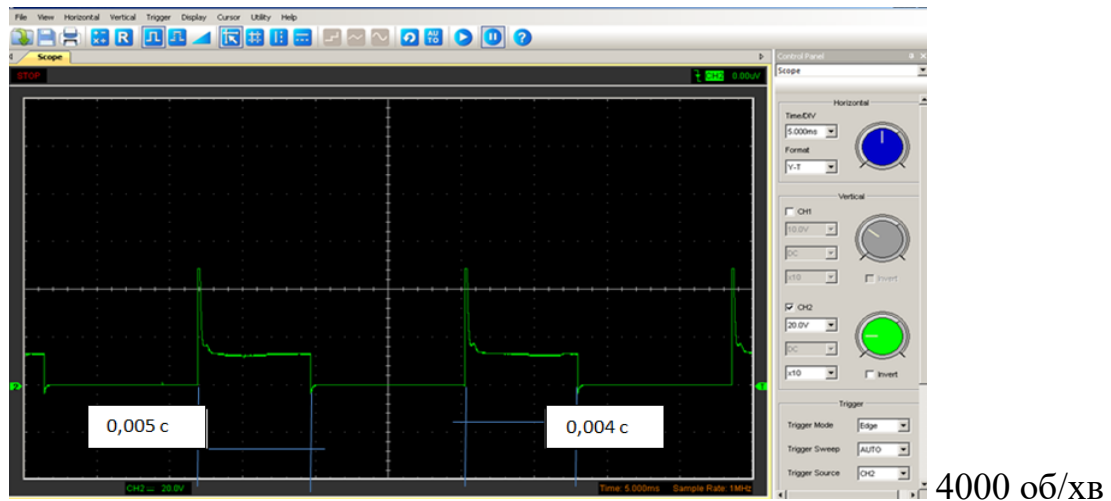


Рисунок 3.4 – Осцилограми електричних імпульсів на відкриття паливних форсунок

Нами встановлено, що у режимі роботи двигуна на 4000 об/хв, час утримування електромагнітного клапану, де що занижений на 0,001 сек. Дана причина, і стала негативною стороною на втрату потужності двигуна.

3.3 Висновки

Використання електронного осцилографу під час діагностики паливної апаратури двигуна, значно підвищить ефективність оцінки технічного стану електронних паливних форсунок.

Представлена операційна карта на проведення діагностики електронних паливних форсунок з використанням електронного осцилографу.

На основі отриманих осцилограм, вдалося дослідити втрату потужності двигуна у режимі підвищених швидкісних характеристик.

Встановлено, що у режимі 4000 об/хв, утримування електромагнітного клапану паливної форсунки 4-го циліндра є заниженим на 0,001сек., що являється причиною зниження подачі палива.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення небезпечних ситуацій

Наявність електронного обладнання на автомобілі, вимагає стабільної подачі електричної енергії від бортових джерел (без будь яких перепадів напруги). Тому, під час проведення діагностики, слід суворо дотримуватися наступних запобіжних заходів [2], [17]:

- не допускати відключення акумулятора від бортової електромережі автомобіля за працюючого двигуна.
- під час дозарядки (від зовнішнього джерела) акумулятора, слід вимкнути бортову електромережу.
- перед демонтажем будь-яких елементів ЕСУД, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї.
- не допускається підключення або відключення елементів (давачів та виконавчих пристроїв функціональних систем) ЕСУ під час увімкненого запалювання.
- перед проведенням електрозварювальних робіт, необхідно від'єднати мінусову клему акумуляторної батареї та елементи ЕСУ.
- не допускається піддавати ЕБУ, впливу температури вище 80 °С.
- для виключення корозії з'єднувальних електричних пинів (під час очистки), забороняється спрямовувати струмінь пари на елементи ЕСУД.
- щоб уникнути пошкодження справних вузлів, не допускається застосування контрольно-вимірювального обладнання, не зазначеного в діагностичних картах.
- вимірювання напруги, слід виконувати вольтметром з номінальним внутрішнім опором 10 МОм.
- для запобігання пошкодження електронного обладнання електростатичним зарядом, забороняється торкатися контактних пинів (з'єднувачів або

елементів) друкованої плати ЕБУ.

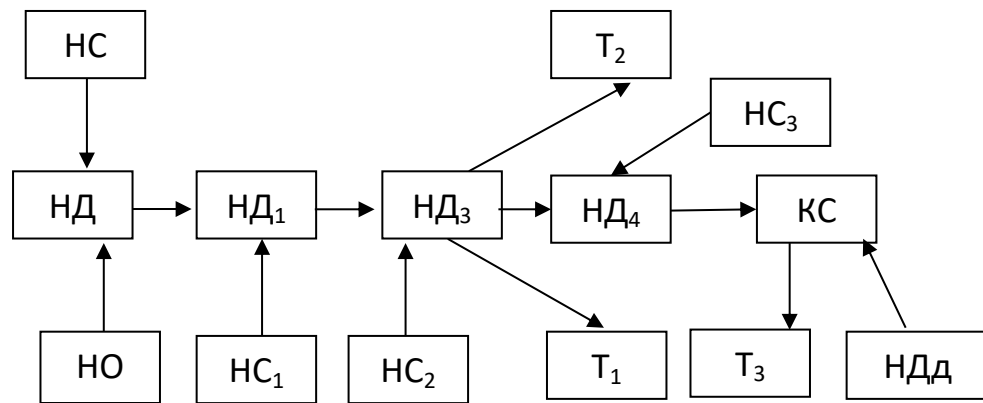
Відповідно, з впровадженням стандартів OBD-II та EOBD, процес діагностики ЕБУ автомобіля уніфікується. На вимогу цих стандартів, одне діагностичне обладнання можна використовувати для тестування автомобілів різних марок. Основною відмінністю стандарту EOBD від OBD-II, є закріплення в наборі його протоколів обміну даними протоколу CAN, впровадженого фірмою BOSCH.

Небезпечні умови відіграють пріоритетну роль у формуванні й виникненні виробничих небезпек - певного стану, за якого виникає реальна загроза аварії або травми.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що за характером дії їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огороження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого вузла чи машини та інші;
- спонукають працівника допускати помилки у процесі праці (конструктивна недосконалість технологічного процесу роботи машин або самої машини чи певного обладнання), низька кваліфікація працівника та рівень знань з охорони праці, відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;
- безпосередньо призводять до травмонебезпечної ситуації (наявність плям масла на підлозі, неправильно організоване робоче місце, не обґрунтовані режими роботи обладнання та ін.);
- призводять до небезпечних дій (низький рівень професійної підготовки й організації навчання з охорони праці, відсутність або неефективність контролю з охорони праці та ін.).

Нами розроблена схема травмонебезпечних ситуацій, під час часткової модернізації системи охолодження, рис, 4.1.



НД – відкриття капоту; НС – можливе падіння капоту під час проведення ТО; НО₁ – наявність незначного схилу; НД₁ – демонтаж паливної форсунки; НС₁ – можливе побиття кінцівок рук; НД₃ – розгвинчування верхньої частини модуля; НС₂ – можливе падіння капота та побиття кісті рук; Т₁ – травма пальців; Т₂ – побиття ліктів рук; НД₄ – демонтаж паливної магістралі; НС₃ – можливе побиття верхніх кінцівок; Т₃ – можливі защемлення пальців; КС – можливі опіки; НДд – необхідна допомога іншої особи

Рисунок 4.1 - Блок-схема небезпечних ситуацій під час діагностики паливної системи сучасного двигуна.

4.2 Пожежна безпека

Захист будівель і інших споруд від прямих попадань блискавки, використовують блискавковідводи, що являють собою добре заземленими провідниками, розміщуються вище будівель чи споруд, які потребують захисту.

Вони монтуються на відстані не менше як на 15 см і не більше 2 м вище підтримуючого стояка. Заземлення виконують із кутової сталі на відстані 1 м від фундаменту будівлі. Опір розтікання заземлення не повинен перевищувати 10 Ом.

Для розрахунку блискавковідводу станції ТО, необхідно знати розміри будівлі (вона становить 50х20х8 м).

У подальшому, розрахунок проводять за наступною методикою. Приймається довільна висота блискавковідводу h , м (приблизно $2h_x$) і визначаються контури захисних зон, що утворюються. Якщо у випадку споруда знаходиться в її межах, розрахунки припиняються або висота блискавковідводу і зводиться до оптимальних розмірів, що є економічно вигідно.

Радіус захисту r_x подвійного блискавковідводу одинарного стержневого захисту висотою менше 30м (рис. 5.1) визначиться за відношенням [2]:

$$r_x = 1,6 \cdot h \cdot \frac{h - h_x}{h + h_x} \quad (4.1)$$

де h – висота блискавковідводу, м;

h_x – висота будівлі, м.

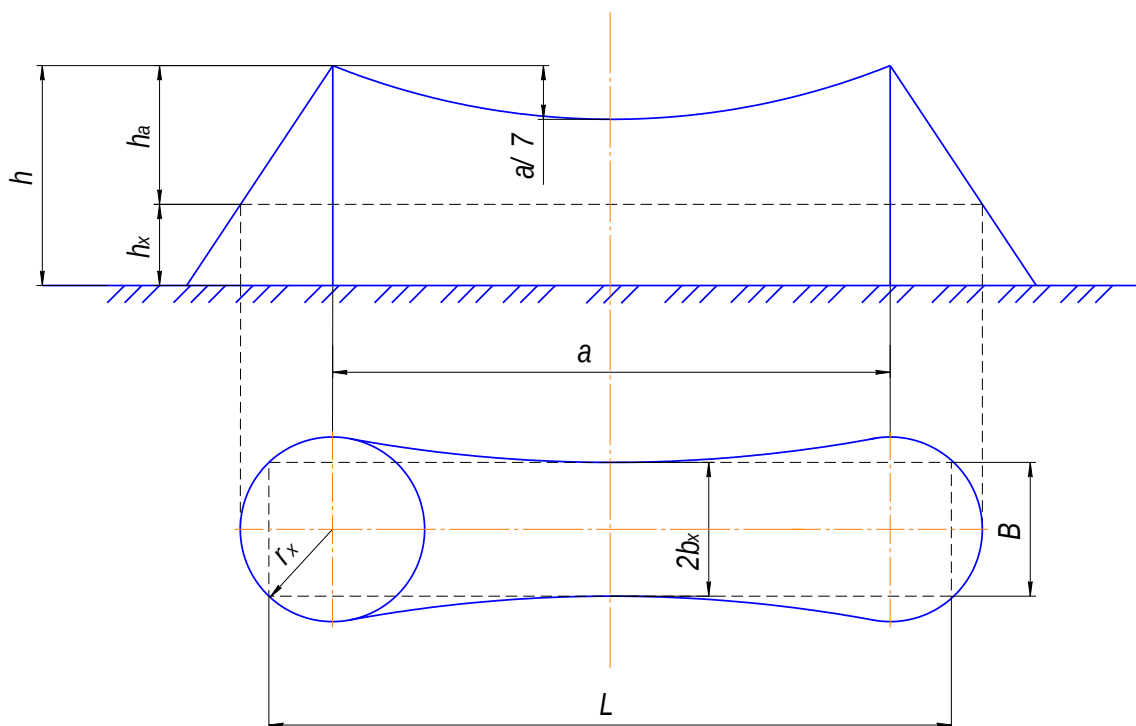


Рисунок 4.1 - Схема блискавкового захисту лабораторії з випробування автомобілів.

Приймаємо висоту блискавковідводу $h = 20$ м.

Тоді ,

$$r_x = 1,6 \cdot 20 \cdot \frac{20-8}{20+8} = 13,7 \text{ м}$$

Захисна дія блискавкозахисту характеризується коефіцієнтом захисту

k_x :

$$k_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}}. \quad (4.2)$$

Тоді,

$$k_x = \frac{1,6}{1 + \frac{8}{20}} = 1,14$$

Граничний коефіцієнт k_x за висоти блискавковідводу менше 30м становить 1,14.

Ширина внутрішньої захисної зони $2b_x$ на висоті h_x визначиться за формулою:

$$2b_x = \frac{7h_a - a}{14h_a - a} \cdot 4r_x \quad (4.3)$$

де h_a – активна висота блискавковідводу, м;

a – віддаль між блискавковідводами, м.

$$h_a = h - h_x, \quad (4.4)$$

тоді,

$$20 - 8 = 12 \text{ м}$$

Для прямокутних будівель

$$a = L - B. \quad (4.5)$$

Відповідно,

$$a = 50 - 20 = 30 \text{ м}$$

Тоді, розрахункова ширина внутрішньої захисної зони буде рівна:

$$2b_x = \frac{7 \cdot 12 - 30}{14 \cdot 12 - 30} \cdot 4 \cdot 13,7 = 27,43 \text{ м}$$

Отже, сформувавши контури захисної зони на контури будівлі СТО, отримали захисну зону від ударів блискавки.

4.3 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Вплив автомобільного транспорту в забрудненні навколишнього середовища і негативному впливі на населення (очевидно) ще більш істотний, ніж прийнято вважати, саме:

1. Основна кількість автомобільного транспорту зосереджена в місцях з високою щільністю населення - містах, промислових центрах;

2. Шкідливі викиди від автомобілів виробляються в самих нижніх, приземних шарах атмосфери, там, де протікає основна життєдіяльність людини і де умови для їхнього розсіювання є найгіршими;

3. Відпрацьовані гази двигунів автомобілів містять висококонцентровані токсичні компоненти, що є основними забруднювачами атмосфери. Час, протягом якого шкідливі речовини природним способом зберігаються в атмосфері, оцінюється від десяти діб до півроку. Слід зазначити, що у відпрацьованих газах автомобільних двигунів міститься більш 200 токсичних хімічних з'єднань, велика частина яких представляє різні вуглеводні. Крім прямого негативного впливу на людину, викиди від автотранспорту наносять і непрямої шкоди. Так, підвищення концентрації кінцевого продукту горіння автотранспортного палива - діоксид вуглецю, призводить до глобального підвищення температури земної атмосфери (так званий парниковий ефект). На думку багатьох експертів, наслідком цього, є такі природні катаклізми, як масштабні пожежі в Південно-Східній Азії, Америці, Сибіру, повені в Європі й Азії.

З'єднання сірки та оксиди азоту, що викидаються в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів, піддаються хімічним перетворенням, формуючи різні кислоти і солі. Такі речовини повертаються на землю у вигляді "кислотних" дощів. Дослідниками доведено, що кислотні опади наносять значну шкоду водним екосистемам, ведуть до знищення фауни, викликають підвищену корозію металів і руйнування будівельних

конструкцій. Крім того, оксиди азоту сприяють фарбуванню повітря в коричневий колір, а в сполученні з різними аерозолями викликають грязьовий туман (смог), погіршуючи видимість.

Реальні кількісні оцінки шкідливих викидів від автомобільного транспорту вкрай важкі. Це зв'язано з тим, що автомобіль є мобільним джерелом з несталим процесом виділення шкідливих речовин.. Головними причинами підвищеного забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом є: незадовільна якість автотранспортного палива; низькі техніко-експлуатаційні показники парку автотранспортних засобів. Обидва ці фактори впливають на забруднення атмосфери як безпосередньо (наприклад, через неефективне спалювання палива), так і побічно (через невиправдано високу витрату палива).

Основними проблемами, зв'язаними з якістю автотранспортних палив, є :

- низьке октанове число в більшій частині реалізованих бензинів;
- незначні обсяги виробництва зимових сортів дизельного палива.

І тому, такий стан речей не дає гарантій ефективного використання нафтопродуктів, призводить до необхідності підвищеного споживання автотранспортних палив і знижує ресурс двигунів автомобілів. До того ж в Україні реалізується значна частина так званих етилованих (тобто утримуючих свинець, бензину). Формулювання " значна частина" викликано тим, що після приватизаційних процесів, що пройшли в нафторосподільному секторі, значно зменшився контроль за кількістю і якістю нафтопродуктів, що поставляються на ринок.

Використання високо потужних, енергетичних засобів, з надмірними габаритами, під час руху по ґрунтових дорогах призводить до надмірного ущільнення поверхневого шару ґрунту, що спричиняє руйнування структури гумусу та відповідно, затрудненому проростанню рослин.

Ґрунт - найважливіший ресурс людства. Багатовікове використання землі з ураженням ерозійними процесами призвели до значного зливу і

видування ґрунтів, утворення ярів, наносів пісків, замулення ставків, водойм, річок.

Практика виробничо-дослідного господарства переконливо показує, що проблема боротьби з ерозією ґрунтів має розвиватись на основі планового проведення комплексу протиерозійних заходів. Найбільш поширеними заходами є організаційно-господарські, протиерозійні, агротехнічні, агролісомеліораційні та гідротехнічні. Вони передбачають безпечне в ерозійному відношенні сільськогосподарське використання земель і найбільш ефективно використання різних способів і методів боротьби з ерозією. Боротьба з водною ерозією ведеться різними способами, а саме проводиться ґрунтозахисна сівоzmіна. А боротьба з вітровою ерозією передбачає захист полів від вітру, збереження в ґрунті вологи.

Дуже часто на автомобільних підприємствах, технічне обслуговування автомобілів проводиться не на належному рівні: а) відпрацьовані оливи зливаються на землю; б) зношені шини спалюються безпосередньо на землі. Злив відпрацьованих олив приводить до забруднення ґрунту, а спалювання шин, приводить до вигорання родючого шару ґрунту і забруднення атмосфери продуктами згоряння. Щоб уникнути таких негативних явищ, слід відпрацьовані оливи збирати в ємність для подальшої переробки, а зношені шини відправляти на утилізацію у відповідні спеціалізовані підприємства.

Пасивне відношення до паливо - мастильних матеріалів, також призводить до знищення довкілля.

Спалюючи велику кількість палива, автомобільна техніка викидає у повітря значну кількість шкідливих речовин, що спричиняють значне забруднення атмосфери. Тому, правильне зберігання і використання нафтопродуктів - один із найважливіших чинників охорони атмосферного повітря. Для запобігання підтікання паливо - мастильних матеріалів з автомобільних засобів, на у автомобільних підприємствах проводиться контроль стосовно періодичних технічних обслуговувань або усунення несправностей окремих вузлів.

Слід зазначити, що під час експлуатації автомобілів, слід вибирати такі швидкісні режими, які б відповідали екологічним показникам технічних умов. Під час зберігання нафтопродуктів, слід використовувати стаціонарні резервуари, дрібну нафтотару. Резервуари для нафтопродуктів, що не є леткими, обладнують вентиляційними пристроями.

При зберіганні бензину, вільне сполучення внутрішнього середовища резервуарів з атмосферою недопустиме, оскільки це призводить до його значних втрат. Тому всі отвори резервуарів з нафтопродуктами, що легко випаровуються, повинні бути щільно закриті.

Основним завданням охорони довкілля є дбайливе ставлення до неї, збереження та створення сприятливих умов для життя суспільства.

Біля території СТО знаходиться незначна кількість невеликих потічків та відкритих водойм. Тому, від робочого персоналу по обслуговуванню автомобілів вимагається належне ставлення до відпрацьованих рідин (зливати у відповідні ємкості для подальшої утилізації у відповідних передбачених законом місцях)[2]. Хімічні рідини, що призначені для миття агрегатів чи кузова автомобіля, необхідно зберігати в типових складських приміщеннях.

Також, пост зовнішнього миття автомобілів та вантажної техніки, необхідно обладнувати устаткуванням для повторного використання води, а стічні води від інших приміщень (загального користування), направляти у відстійники та після певного часу зберігання, вивозити спеціальним транспортом.

4.4 Висновки

З метою забезпечення безпечних умов праці у процесі проведення діагностики паливної системи двигуна з ЕБУ, розроблено комплекс відповідних заходів. До цього комплексу входять:

- перевірка працездатності вентиляційної системи приміщення, оскільки її ефективне функціонування, напрямку впливає на стан здоров'я та працездатність персоналу;
- обов'язкове проведення інструктажу з охорони праці перед початком проведення діагностичних робіт;
- візуальний огляд і перевірка функціонування діагностичного обладнання, яке планується використовувати в процесі технічного втручання.

Також, проведено аналіз можливих ризиків, які можуть виникнути під час діагностики системи та створювати загрозу для безпеки працівників.

Крім цього, здійснено розрахунок оптимальної висоти блискавковідводу, з метою забезпечення належного рівня протипожежного захисту будівлі під час технічного обслуговування автомобілів.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Експлуатаційні витрати

Паливна система з неякісно працюючою паливною форсункою сприяє підвищеній витраті палива та збільшені токсичності відпрацьованих газів.

Відповідно, до досліджених параметрів, нами залишилось визначити економічні показники автомобіля з справною і несправною паливною апаратурою двигуна з електронним управлінням.

Тому, економічний ефект, визначаємо з експлуатаційних характеристиках досліджуваного транспортного засобу.

Затрати на експлуатацію автомобіля, визначається за формулу [7]:

$$Z = Z_n + Z_{зм} + Z_{ТО} + Z_{ав} + Z_{ш} + Z_{зн} \quad (5.1)$$

де Z_n – витрати на пальне;

$Z_{зм}$ – витрати на змащувальні матеріали, $Z_{зм} = 1,93$ грн/км;

$Z_{ТО}$ – витрати на технічне обслуговування;

$Z_{ав}$ – витрати на амортизаційні відрахування;

$Z_{ш}$ – витрати на шини, $Z_{ш} = 0,5$ грн/км;

$Z_{зн}$ – витрати на заробітну плату водія, $Z_{зн} = 4,3$ грн.

Витрати на паливо визначаємо, відносно відновленої і частко несправної паливної системи (у якій, на максимальних швидкісних режимах під певним навантаженням, двигун нерозвиває бажаної потужності):

$$Z_n^{\delta} = \frac{C_n^{\delta} \cdot g}{100}, \quad 5.2$$

де, C_n^{δ} – вартість палива, $C_n^{\delta} = 50,00$ грн/л;

g – витрата палива (несправна система), $g = 25$ л/100 км

Тоді:

$$Z_n^{\delta} = \frac{50,00 \cdot 25}{100} = 12,50 \text{ грн./км,}$$

Z відновленою системою:

$$З_n^i = \frac{c_n^i \cdot g_B}{100}, \quad 5.3$$

де, g_B – витрата палива, $g_B = 22$ л/ 100 км.

Відповідно:

$$З_n^{г.в.} = \frac{50,00 \cdot 22}{100} = 11,00 \text{ грн./км.}$$

Отже, як показує розрахунок, витрати на придбання палива для двигуна з відновленою системою є меншими, ніж у системі із частково неякісною роботою паливної форсунки.

Витрати на технічне обслуговування двигуна:

$$З_{то} = N_a \cdot l_a \cdot 10^{-3}, \text{ грн./км} \quad 5.4$$

де, N_a – витрати для автомобіля, приймаємо $N_a = 32,4$ грн./1000 км.

$$З_{то} = 32,4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,032 \text{ грн./км.}$$

Амортизаційні відрахування для автомобіля визначаються:

$$З_{амор.} = \frac{Ц \cdot l_p \cdot A_B}{10^5} + \frac{Ц \cdot l_p \cdot A_{кап.р}}{10^5} \text{ грн.} \quad 5.5$$

де, $Ц$ – балансова вартість автомобіля, $Ц = 140000,00$ грн.;

A_B – нормативні амортизаційні відрахування, $A_B = 0,04$;

l_p – річний пробіг, $l_p = 73000$ км;

$A_{кап.р}$ – нормативні відрахування на капітальний ремонт, $A_{кап.р} = 0,02$

$$З_{амор.} = \frac{140000 \cdot 73000 \cdot 0,04}{10^5} + \frac{140000 \cdot 73000 \cdot 0,02}{10^5} = 4088 + 2044 = 6132,00 \text{ грн.}$$

Згідно формули (6.1), отримаємо:

- для двигуна з відновленою системою

$$З = 11,00 + 1,93 + 0,032 + 0,08 + 0,6 + 5,3 = 18,94 \text{ грн /км;}$$

- для двигуна (з неякісною роботою паливної форсунки)

$$З = 12,50 + 1,93 + 0,032 + 0,08 + 0,6 + 5,3 = 20,44 \text{ грн./км.}$$

Тоді, за річний пробіг автомобіля, витрати будуть становити:

з відновленою системою

$$Z_p = 11,00 \cdot 73000 / 12 \cdot 4 = 16729,16 \text{ грн./рік};$$

- з несправною системою

$$Z_p = 12,50 \cdot 73000 / 12 \cdot 4 = 19010,41 \text{ грн./рік.}$$

Виходячи із вище отриманих значень, завдяки вчасному діагностуванню (з використанням електронного осцилографу) паливної системи двигуна, річна ефективність досягне:

$$E = 19010,41 - 16729,16 = 2281,26 \text{ грн./рік}$$

5.2 Висновки

Правильний підбір діагностичного обладнання, веде до швидкого і правильного налаштування паливної апаратури дизельного двигуна та відповідно сприятиме зменшенню витрат палива в період експлуатації автомобіля.

За методикою розрахунку експлуатаційних показників для досліджуваного двигуна, річна ефективність складе 22810,26 грн. (за річного пробігу автомобіля 80 000 км.)

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проаналізовано літературні джерела, на предмет ненадійності паливних систем двигунів з електронним управлінням.

Встановлено, що у найбільш затребуваній системі Common Rail, найвразливішим місцем є: паливні форсунки, насос високого тиску та недостатність очистки палива фільтруючими елементами, що часто приводить до відмов паливної апаратури, особливо, за понижених температур навколишнього середовища.

Розраховано та побудовано графіки паливо-економічної характеристики дизельного двигуна.

Визначено вплив:

- швидкості руху автомобіля на годинну витрату пального (18 км/год - 16,95 л/100 км) та питому витрату пального (18 км/год - 187,63 г/кВт·год);
- ефективної потужності (10,34 кВт) на витрату палива (16,95 л/100 км) та питому витрату палива (187,63 г/кВт·год).

Використання електронного осцилографу під час діагностики паливної апаратури двигуна, значно підвищило ефективність оцінки технічного стану електронних паливних форсунок.

Представлена операційна карта на проведення діагностики електронних паливних форсунок з використанням електронного осцилографу.

На основі отриманих осцилограм, вдалося дослідити втрату потужності двигуна у режимі підвищених швидкісних характеристик.

Встановлено, що у режимі 4000 об/хв, утримування електромагнітного клапану паливної форсунки 4-го циліндра є заниженим на 0,001сек., що являється причиною зниження подачі палива.

З метою забезпечення безпечних умов праці у процесі проведення діагностики паливної системи двигуна з ЕБУ, розроблено комплекс відповідних заходів:

- перевірка працездатності вентиляційної системи приміщення, оскільки її ефективне функціонування, напрямку впливає на стан здоров'я та працездатність персоналу;
- обов'язкове проведення інструктажу з охорони праці перед початком проведення діагностичних робіт;
- візуальний огляд і перевірка функціонування діагностичного обладнання, яке планується використовувати в процесі технічного втручання.

Правильний підбір діагностичного обладнання, веде до швидкого і правильного налагодження паливної апаратури двигуна та відповідно сприятиме зменшенню витрат палива в період експлуатації автомобіля.

За методикою розрахунку експлуатаційних показників для досліджуваного двигуна, річна ефективність складе 22810,26 грн. (за річного пробігу автомобіля 80 000 км.)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.
2. Гряник І. М., Лахман С.Д. та інші Охорона праці: Київ.: Урожай. 1994. 187 с.
3. Клименко Л. П., Прищепов О.Ф., Андрєєв В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами : [навч. посібник]. Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 132 с.
4. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів/ Вид. Либідь.К.: 2018. 400 с.
5. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.
6. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. / Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
7. Розрахунок економічної ефективності механізму / Електронний ресурс, режим доступу: <https://www.google.com/url>.
8. Шевчук Р.С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник). Львів:Львівський національний аграрний університет, 2016. – 236 с.
9. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. К.: Каравела, 2009. 400с.
10. Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний В.М. Розрахунок автомобільних двигунів. Навчальний посібник; За ред. к.т.н. В.Г. Дяченка, к.т.н. В.С. Саловського. Кіровоград: КДТУ, 2003. 266 с.
11. Навчальне середовище «Electude»/ Електронний ресурс, режим доступу: <https://lnau.electude.eu>.

12. Бороденко Ю.М., Гнатов А. В., Щ.В. Аргун Щ. В. Б83 Мехатронні системи автомобіля. Частина 1. Силовий привід: підручник. Харків : ХНАДУ, 2023. 300 с.
13. Яким Р. С. Приводи транспортних машин: навчальний посібник. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2020. 240 с.
14. Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами: навч. посіб. для студентів ВУЗів. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 132 с.
15. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.
16. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів. Вид. Либідь.К.: 2018. 400 с.
17. Дембіський В. М., Павлюк В. І., Придюк В. М. Технічна експлуатація автомобілів Навчальний посібник. Інформаційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету. 2018. 472.
18. Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П., Мазур І.Б. та ін. Безпека життєдіяльності та охорона праці. *Навч. посібник*. Львів: Сполом. 2022. 376 с.
19. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: підручник.— К.: Арістей, 2004. 476 с.
20. Александров В.Д., Гутаревич, І.В. Грицук і інш. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів, монографія. Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. 230 с.
21. Славін В.В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів з використанням сучасних систем впорскування: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.20. К., 2014. 209 с.