

**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 ТРАКТОРІ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістерського рівня освіти

на тему: «Дослідження впливу датчика кількості повітря, на експлуатаційні характеристики двигуна»

Виконав: студент VI курсу групи Ат-62
Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Андрій КОЗАК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Мирон МАГАЦ
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 631.359.1: 89

Козак А. В. «Дослідження впливу датчика кількості повітря на експлуатаційні характеристики двигуна»: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З.Гжицького, 2025. 57 с.

Табл.1; рис. 19; бібліогр. джерел 27.

Запропонований розрахунок кількості повітря у впускній магістралі, яке повинно пройти через активні електронні елементи датчика повітря, залежно від частоти обертання вала двигуна та зміни фаз газорозподілу.

Виконано тепловий аналіз роботи двигуна (за умов справної та несправної роботи датчика кількості повітря у впускному тракті). В результаті встановлено, що ефективна теплота становить 23% у разі некоректної роботи давача та 24% — за його нормального функціонування.

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показав, що на датчик масової витрати повітря припадає близько 17,6% усіх відмов у системах електронного керування двигуном, а його середній ресурс становить орієнтовно 30,9 тис. км.

Розроблено комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та охорони праці під час проведення комп'ютерної діагностики автомобіля.

Сформовано модель можливих небезпечних ситуацій, що можуть виникнути в процесі дистанційної діагностики транспортного засобу.

Несправна робота датчика масової витрати повітря у впускній системі двигуна, спричиняє додаткові щорічні фінансові втрати близько 23760,00 грн.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	8
1.1 Способи дослідження датчиків кількості повітря у впускній системі....	8
1.1.1 Особливості оцінки роботи ДМВП	8
1.1.2 Ознаки несправності ДМВП.....	10
1.2 Особливості відмов електронних елементів системи та взаємозв'язок ДМВП із електронним блоком керування.....	10
1.3 Дія датчика масової витрати повітря на роботу двигуна із іскровим запалюванням.....	13
1.4 Ознаки неякісної роботи датчика масової витрати повітря	16
Висновки до розділу 1.....	17
2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Розрахунок повітряного потоку у впускній магістралі двигуна із електронним управлінням.....	19
2.2 Методика розрахунку теплового балансу двигуна, за неякісно працюючого витратоміра повітря.....	24
Висновки до розділу 2.....	27
3. МЕТОДИКА, ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
3.1 Методика дослідження справності ДМВП.....	28
3.2 Особливості несправної роботи датчика МВП	30
3.3 Методика для оцінки електротехнічного стану датчика масової витрати повітря	31
3.3.1 Результати досліджень.....	32
3.3.2 Вплив впускної системи на роботу ДМВП	34
3.3.3 Оцінка сигнальних електричних імпульсів ДМВП, залежно від літражу двигуна	35

3.3.4 Результати досліджень датчика повітря BOSH, за різних швидкісних режимів двигуна	36
Висновки до розділу 3.....	37
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	38
4.1 Небезпечні обставини під час проведення комп'ютерної діагностики транспортних засобів	38
4.2 Особливості пожежної безпеки.....	41
4.3 Охорона праці робочого персоналу.....	43
4.4 Організаційно-технічні рекомендації	44
Висновки до розділу 4.....	48
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	49
5.1 Дослідження економічних витрат	49
5.2 Дослідження експлуатаційних витрат автомобіля, за некоректної роботи давача масової витрати повітря	50
Висновки до розділу 5.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Одним із ключових елементів електронної системи управління двигуном (ЕСУД), є датчик кількості повітря. У процесі експлуатації автомобільних двигунів, їхній технічний стан погіршується, що призводить до зменшення потужності, підвищення паливних витрат та збільшення токсичності відпрацьованих газів.

Тому наші дії будуть спрямовані на дослідження більш повнішого використання функціональних можливостей елементів ЕСУД, шляхом встановлення залежностей між технічним станом ДМВП і вихідними параметрами роботи двигуна, а також розробленням методики забезпечення його коректної роботи, є актуальним завданням для підвищення експлуатаційних показників сучасного автомобільного транспорту.

Отже, у межах наших досліджень, увага зосереджуватиметься на обґрунтуванні змін електричних сигналів датчика масової витрати повітря, що надходять до електронного блоку управління.

Тому **метою** нашої кваліфікаційної роботи будуть дослідження вхідних і вихідних електричних сигналів датчика кількості повітря, за різних експлуатаційних властивостей двигуна з іскровим запалюванням.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступне:

1. Провести техніко-економічний аналіз системи впуску інжекторних двигунів внутрішнього згоряння з електронним управлінням.
2. Обґрунтувати процес переміщення повітряного потоку у впускній системі двигуна.
3. Виконати розрахунок теплового балансу досліджуваного двигуна, за умов некоректної роботи датчика кількості повітря.
4. Проаналізувати вхідні та вихідні параметри цього датчика на різних швидкісних режимах функціонування двигуна внутрішнього згоряння.

5. Описати заходи з охорони праці та безпеку у надзвичайних ситуаціях, а також оцінити економічні втрати, що виникають у разі незадовільної роботи впускної системи.

1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Способи дослідження датчиків кількості повітря у впускній системі

Особливості дослідження датчиків масової витрати повітря (ДМВП), також відомих (як MAF-сенсори впускної системи двигуна), полягають у комплексному підході до діагностики, який включає візуальний огляд, використання діагностичних приладів (сканерів, мультиметрів, осцилографів) та функціональні тести.

1.1.1 Особливості оцінки роботи ДМВП

Дослідження ДМВП зазвичай проводиться за допомогою наступних методів:

1. Візуальний огляд

- Розташування: ДМВП зазвичай знаходиться між повітряним фільтром та корпусом дросельної заслінки.
- Перевірка елементу: Оглядається чутливий елемент (нагрівальний дріт або пластина) на предмет забруднення (пил, масляна плівка) або видимих пошкоджень (тріщини, відірвані дроти). Навіть невелике забруднення, може суттєво вплинути на точність показань.
- Перевірка з'єднань: Контролюється цілісність електропроводників та надійність підключення роз'єму. Також, перевіряються повітропроводи та шланги на наявність підсмоктування повітря після датчика, що може призводити до некоректних показань.

2. Комп'ютерна діагностика.

- Зчитування кодів помилок: Перевіряється наявність специфічних кодів помилок (наприклад, P0100–P0104), які безпосередньо вказують на проблеми датчика.

- Аналіз "живих даних" (Live Data): а) На холостому ході, оцінюється показник масової витрати повітря (зазвичай вимірюється в г/с або кг/год). Значення мають бути стабільними та відповідати еталонним для конкретного двигуна (наприклад, від 2 до 7 г/с для бензинових двигунів на холостому ході); б) при підвищенні обертів, відстежується, як показання витрати повітря плавно та адекватно зростають при натисканні на педаль газу. Неправильне зростання або "зависання" показників, свідчить про несправність.

3. Електрична перевірка (мультиметр, осцилограф):

- а) перевірка напруги живлення та заземлення: Вимірюється напруга, що подається на датчик (зазвичай 5 В або 12 В), а також надійність контакту з "масою";

- б) вимірювання вихідної напруги (для аналогових ДМВП):

- При вимкненому двигуні (ввімкнене запалювання). Напруга має бути в межах норми (часто близько $1,0 \text{ В} \pm 0,02 \text{ В}$). Вище значення, може вказувати на забруднення або несправність.

- На холостому ході та при збільшенні обертів. Контролюється, як напруга плавно змінюється (зростає), відображаючи потік повітря.

- в) перевірка частотного сигналу (для цифрових ДМВП). Використовується осцилограф або спеціальний частотомір, для вимірювання частоти прямокутного сигналу, який генерує датчик. Частота змінюється в залежності від маси повітря (наприклад, від 1 кГц до 17 кГц).

4. Функціональний тест (Відмикається ДМВП).

- Процедура. На деяких моделях автомобілів, можна тимчасово відключити роз'єм ДМВП.

- Оцінка. Якщо після відключення, двигун починає працювати більш стабільно або краще реагує на газ, це є ознака (хоча не остаточна) несправності самого датчика. Електронний блок управління (ЕБУ) у цьому випадку переходить в аварійний режим, використовуючи заздалегідь запрограмовані (розрахункові) значення витрати повітря.

1.1.2 Ознаки несправності ДМВП

Несправний ДМВП, може призвести до неправильного розрахунку паливно-повітряної суміші, що проявляється наступними симптомами:

- Нерівна робота двигуна на холостому ходу або його зупинка.
- Втрата потужності та погіршення динаміки при розгоні ("затуплене" прискорення автомобіля).
- Підвищена витрата палива.
- Проблеми з запуском двигуна.
- Поява чорного диму з вихлопної труби (занадто багата суміш).
- Загоряння індикатора "Check Engine".

1.2 Особливості відмов електронних елементів системи та взаємозв'язок ДМВП із електронним блоком керування

Сучасні автомобілі обладнані значною та постійно зростаючою кількістю електронних систем. Однак, ця автомобільна електроніка парадоксально стає головною причиною зниження надійності всіх взаємодіючих систем транспортного засобу. Як ілюструє графік на рис. 1.1, кількість відмов бортової комп'ютерної системи, прямо залежить від часу, що минув з початку експлуатації легкового транспортного засобу [2].

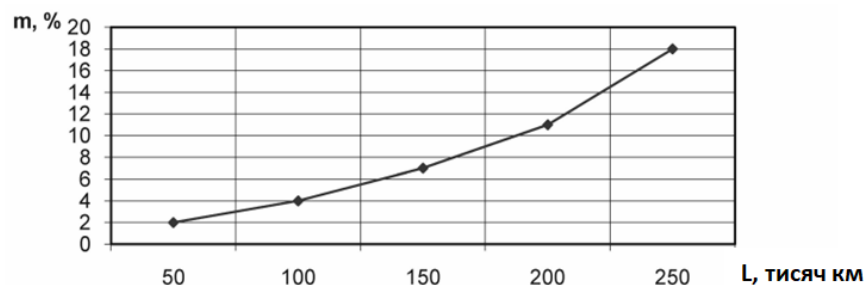
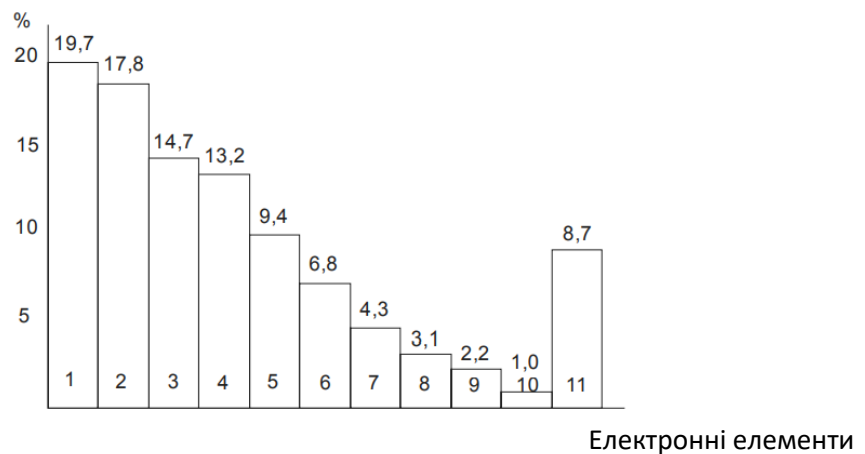


Рисунок 1.1 - Відмови електронних елементів електронної системи управління автомобілем m , %.

Згідно з джерелами [4]–[10] (рис. 1.2), найбільш частими причинами відмов у зазначений період, є несправності таких елементів, як: свічки запалювання (1), давач положення дросельної заслінки (2), давач масової витрати палива (ДМВП) (3), регулятор холостого ходу (4) та інші. Оскільки, датчик масової витрати повітря займає третє місце серед несправних компонентів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), це підкреслює гостру актуальність створення спеціалізованих інструментів для його діагностики.



1 – свічки, 2 – датчик положення дрос. заслінки, 3 – датчик кількості кисню, 4 – регулятор ХХ, 5 – модуль запалювання, 6 – сенсор кисню, 7 – датчик температури, 8 – регулятор тиску палива у рампі, 9 – електробензонасос, 10 – датчик детонації, 11 – інші.

Рисунок 1.2 - Діаграма можливих відмов електронних елементів (%), у бортовій електронній системі управління автомобілем.

У рамках науково-дослідної роботи, наші фахівці розробили спеціальний пристрій для діагностування датчика масової витрати палива, який підходить для широкого спектра моделей автомобілів [11].

Цей діагностичний прилад забезпечує такі ключові можливості:

- Проведення відносної оцінки напруги між еталонним та досліджуваним датчиками.
- Перевірку електричних параметрів датчика, незалежно від зовнішньої температури.

- Контроль діагностичних параметрів (різниця показань в вольтах) без потреби у попередніх розрахунках.
- Високу достовірність визначення технічного стану досліджуваного датчика.
- Значне скорочення часу випробувань ДМВП та оцінки його стану порівняно з існуючими методами.

У праці [6], перевірка датчиків витрати повітря відбувалася шляхом запуску двигуна та подальшого моніторингу показників вольтметра 21 (рис. 1.3), поки ДВЗ працював у режимі холостого ходу.

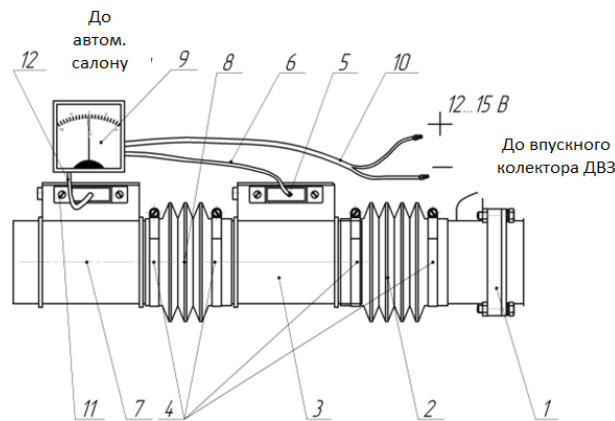


Рисунок 1.3 – Обладнання для діагностики датчика впускного повітря [8].

Принцип роботи давача масової витрати палива (ДМВП) полягає у вимірюванні одного з кількох фізичних параметрів повітряного потоку, що надходить у двигун. Ці параметри можуть включати: кут відхилення повітряної заслінки (або швидкість обертання турбіни), розташованої в потоці; частоту обертання вихрових потоків за спеціальним розсікачем; зниження тиску повітря, після його проходження через дросельний пристрій; зміну температури нагрітого елемента, що знаходиться безпосередньо в потоці повітря, величину прогину чутливої мембрани.

У подальшому, починають плавно змінювати швидкість повітряного потоку за допомогою дросельної заслінки (дросельного вузла 1) автомобіля

(див. рис. 1.3). Під час зміни швидкості повітря, що проходить через датчики ДМВП, (увімкнені за мостовою схемою), вольтметр 21 у всьому діапазоні зміни потоку повітря, повинен відображати нульове значення. Після цього переходять до руху автомобіля, встановлюючи номінальні оберти колінчастого валу, що відповідають режиму максимальної потужності. Одночасно, контролюють показання вольтметра 21 на проміжних значеннях швидкості та навантаження. Після, проводять відносну оцінку напруги еталонного та досліджуваного датчиків і визначають різницю їх сигналів без попередніх розрахунків. На основі цієї різниці, встановлюють технічний стан діагностованого датчика: за умови справності датчика масової витрати повітря, вольтметр має показувати 0...0,21 В (на холостому ході) та 0...0,51 В (у номінальному режимі). Якщо значення перевищують указані межі, датчик вважається несправним.

Запропонований підхід дає змогу істотно скоротити час, необхідний для діагностики датчика масової витрати повітря. Крім того, прискорюється оцінювання його технічного стану, оскільки перевірка проводиться безпосередньо під час руху транспортного засобу, тобто у штатному робочому режимі.

Розроблений метод також усуває потребу використовувати у діагностичному процесі дорогі прилади, такі, як витратомір повітря та вентилятор. Додатково відпадає необхідність, звіряти отримані результати з довідковими значеннями, адже контроль здійснюється за відносними діагностичними параметрами — різницею сигналів еталонного та тестованого датчиків, поданих у вигляді напруги.

1.3 Дія датчика масової витрати повітря на роботу двигуна із іскровим запалюванням

Варто підкреслити, що кількість повітря, яке надходить у циліндри (камери згоряння) двигуна, безпосередньо впливає на його потужність. Саме

тому, для збільшення об'єму повітря, що потрапляє в камери згоряння, застосовують турбонаддув. У такому разі, електронний блок керування подає більшу порцію пального через форсунки. Зазвичай, встановлення турбокомпресора у впускному тракті, потребує глибоких конструктивних змін і ретельнішого технічного обслуговування, щоб гарантувати надійну роботу системи [11].

Доведено, що впускна система, функціонує завдяки різниці тисків, яка виникає між простором у циліндрі двигуна та зовнішнім середовищем у момент такту впуску. Також варто зазначити, що об'єм повітряного заряду, який надходить до двигуна, прямо пропорційний робочому об'єму його циліндрів [6]–[8].

Система впуску може забезпечувати різні режими формування паливоповітряної суміші [14], а саме:

- пошарове сумішоутворення;
- збіднене гомогенне;
- стехіометричне гомогенне.

Пошарове утворення суміші відбувається за умов роботи двигуна на малих і середніх обертах. У цьому режимі, дросельна заслінка залишається відчиненою, закриваючись лише для створення необхідного розрідження у впускному тракті.

У режимі збідненого гомогенного сумішоутворення, двигун працює у проміжному режимі (наприклад, під час перемикання передач). Тут, впускні заслінки залишаються закритими, тоді як дросельна заслінка відкривається, збільшуючи крутний момент на виході.

Стехіометричне гомогенне сумішоутворення, застосовується на підвищених обертах колінчастого вала та під час значних навантажень. У цьому випадку, впускні заслінки перебувають у відкритому стані, а дросельна заслінка змінює ступінь відкриття таким чином, щоб забезпечити оптимальний крутний момент.

Кількість повітря, що надходить у камери згоряння, визначається датчиком масової витрати повітря. Принцип його роботи полягає в тому, що повітряний потік охолоджує один із сенсорних елементів, а електронна схема перетворює різницю температур у відповідний електричний сигнал, який передається до електронного блоку керування автомобіля.

Сучасні двигуни внутрішнього згоряння (з точковим упорскуванням палива), можуть комплектуватися двома типами інжекторних систем, які відрізняються між собою складом електронних компонентів та характером електричного сигналу (частотного або аналогового). На рис. 1.4 показано датчик кількості повітря (та його електрична схема живлення), що встановлений у впускному тракті двигуна.

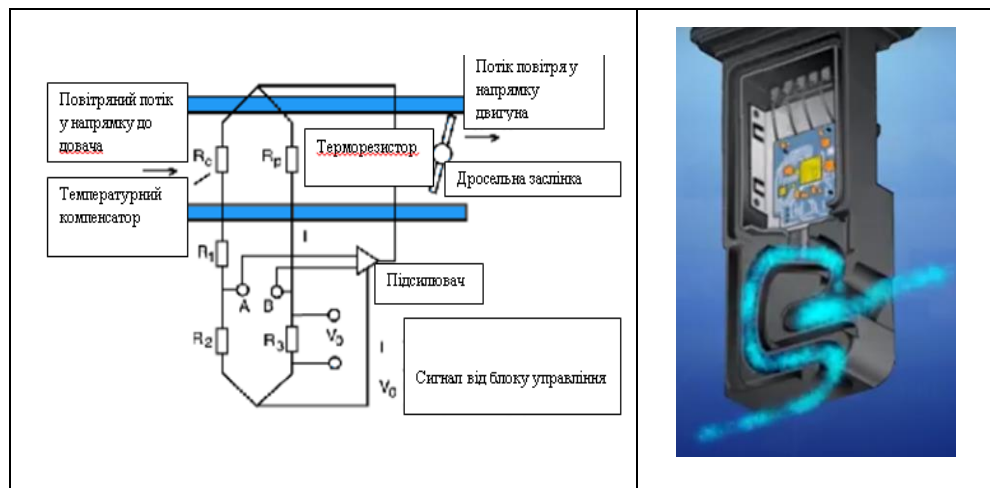


Рисунок 1.4 – Схема взаємозв'язку робочих електронних елементів датчика кількості повітря із зовнішніми факторами.

У першому випадку, застосування частотного датчика вимірювання, здійснюється за зміною частоти сигналу, що залежить від витрати повітря. У другому ж варіанті, коли використовуються аналогові чутливі елементи (тобто змінюється рівень вихідної напруги). На основі отриманих електричних даних, електронний блок керування визначає тривалість імпульсів, які забезпечують своєчасне відкриття електромагнітних форсунок відповідно до порядку роботи циліндрів.

На рис. 1.5 та 1.6 представлено датчик витрати повітря, виробництва BOSCH.



Рисунок 1.5 - Давач витрати повітря фірми BOSCH [21].

Особливістю датчиків кількості повітря є те, що вони надзвичайно чутливі до зміни середовища, у якому вони знаходяться. Тому, (не тільки у зміні швидкості руху повітряних мас, повз чутливі елементи) попадання відпрацьованих газів, вологи чи пилу у впускну магістраль, можуть призвести до збою роботи датчика. Відповідно, у більшості випадків, ЕБУ переходить у аварійний режим роботи або підвищується показник корекції по подачі палива, що є небажаним явищем.

1.4 Ознаки неякісної роботи датчика масової витрати повітря

Перш ніж перевіряти датчик, переконайтеся, що наявні симптоми вказують саме на нього [11]:

- Зниження потужності двигуна, "тупість" при прискоренні.
- Нестабільні або плаваючі оберти на ХХ.

- Двигун глухне (особливо при зупинці або на перехресті).
- Підвищена витрата палива.
- Загоряння індикатора "Check Engine" ЕБУ фіксує помилки, пов'язані з некоректним сигналом ДМВП).
- Ривки та смикання при прискоренні.

На рис. 1.6, відображено розміщення датчика кількості повітря у впускній системі бензинового двигуна.

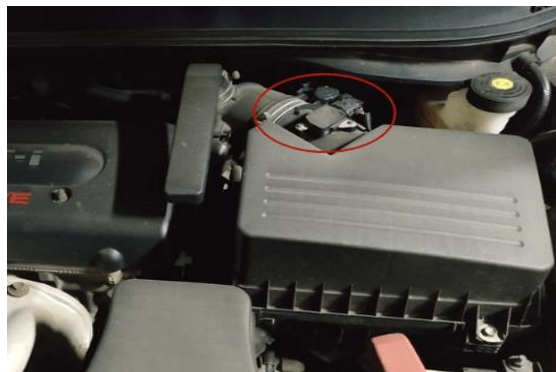


Рисунок 1.6 – Датчик кількості повітря у впускній системі двигуна

Аналізуючи розміщення даного датчика, слід зазначити, що дане положення, дає можливість його легкого демонтажу і встановлення (так, як у більшості випадків автомобілів, він може зазнавати динамічних відмов (через порушення контактів у з'єднаннях провідників, що подають електричні імпульси до ЕБУ).

Висновки до розділу 1

Техніко-економічний аналіз літературних джерел засвідчує, що ефективність роботи датчика масової витрати повітря в впускній системі двигуна внутрішнього згоряння, значною мірою визначається чистотою повітря (яке надходить у магістраль після повітряного фільтру), а також імовірністю проникнення у впускну систему продуктів неповного згоряння вуглеводнів (під час продувки камер згоряння). Такі фактори можуть

спричинити утворення сажових відкладень на чутливих терморезисторах датчика.

Слід підкреслити, що працездатність давача масової витрати повітря істотно залежить від своєчасної заміни повітряного фільтра та дотримання правил експлуатації автомобіля, особливо в умовах інтенсивного міського руху.

У зв'язку з цим, подальші дослідження виконуватимуться відповідно до зазначених вище завдань і стосуватимуться роботи витратоміра повітря у впускній магістралі двигуна.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок повітряного потоку у впускній магістралі двигуна із електронним управлінням

У багатьох сучасних витратомірах реалізовано принцип вимірювання, на основі роботи двох чи більше ультразвукових перетворювачів [6].

У таких системах, точність визначення швидкості повітряного потоку переважно залежить від вимірювання часу проходження ультразвукових імпульсів, що поширюються назустріч потоку. Однак, суттєвим недоліком подібних рішень є зниження точності, оскільки швидкість ультразвуку значно залежить від температури середовища. Такий підхід є прийнятним для побутових приладів, де параметри потоку змінюються незначно. До того ж більшість існуючих промислових та автомобільних ультразвукових витратомірів визначають об'ємну витрату, тоді, як системи керування двигуном внутрішнього згорання, потребують вимірювання саме масової витрати повітря. Тому застосування такого методу в автомобільних умовах призведе до значної похибки, під час зміни температури всмоктуваного повітря.

Для підвищення точності вимірювання масової витрати повітря, пропонується використовувати в якості інформаційного параметра не час проходження ультразвукових сигналів, а фазовий зсув між хвилями, що поширюються за напрямком потоку та у протилежному напрямку [14].

У представленому методі, недостатня точність вимірювання, зумовлена значною залежністю швидкості поширення ультразвуку від температури. Подібний метод визначення витрати газу, повітря чи рідини є доцільним переважно в побутових приладах, де параметри потоку змінюються незначно. Крім того, наявні ультразвукові витратоміри, що використовуються в промисловості та автомобілебудуванні, вимірюють об'ємну витрату, тоді як системи керування двигуном внутрішнього згорання потребують даних про

масову витрату. Тому застосування такого підходу в автомобільному витратомірі спричинить істотну похибку при зміні температури повітря, що надходить у двигун.

Для покращення метрологічних показників вимірювача масової витрати повітря, пропонується використовувати в ролі інформаційного параметра (не час проходження ультразвукових сигналів), а фазовий зсув між ультразвуковими хвилями, що поширюються за напрямком потоку повітря та у протилежному напрямку.

У такій реалізації, ультразвуковий давач містить три ультразвукові перетворювачі: один виконує функцію випромінювача (ІУЗП), а два інші слугують приймачами ультразвукових імпульсів (ПУЗП1,2). Також до складу схеми входять два підсилювачі напруги У1,2 та два фазові детектори ФД1,2, рис. 2.1.

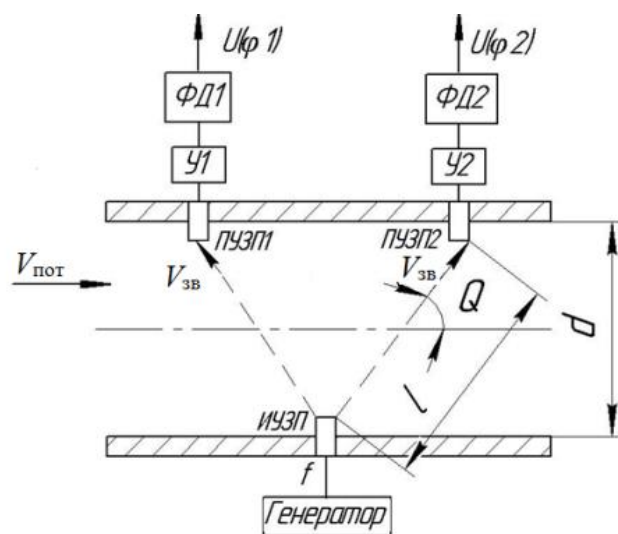


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема датчика витратоміра повітря

Час, за який ультразвуковий сигнал проходить крізь повітряний потік, визначається довжиною його траєкторії l , що залежить від діаметру трубопроводу d , кута введення ультразвуку в потік θ , а також від швидкості поширення ультразвуку в повітрі $V_{зв}$ і швидкості руху самого потоку $V_{пот}$.

Початковими параметрами для розрахунку масової витрати повітря є фазові зсуви сигналів, отриманих від приймальних ультразвукових перетворювачів.

$$\varphi_1 = \frac{l}{V_{зв} - V_{пот} \cdot \cos\theta} \cdot \omega, \varphi_2 = \frac{l}{V_{зв} + V_{пот} \cdot \cos\theta} \cdot \omega, \quad (2.1)$$

де, ω – частотні коливання звуку.

Тоді, швидкість потоку повітря отримаємо за:

$$V_{пот} = \frac{l \cdot \omega \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{2 \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \cos\theta} \quad (2.2)$$

Аналізуючи форму визначення швидкості потоку повітря, бачимо, що вона є залежна від зсуву фаз ультразвуку φ_1 , φ_2 і його швидкості в повітряному потоці $V_{зв}$.

Параметри l , ω , $\cos$ є постійними величинами, що залежать від конструкційних особливостей ультразвукового давача.

Тоді, отримавши швидкість потоку повітря $V_{пот}$, можна розрахувати об'ємну витрату повітря W за наступним виразом:

$$W = V_{пот} \cdot S = V_{пот} \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}, \quad (2.3)$$

де S – площа поперечного перерізу впускної магістралі.

Відповідно, визначаємо масу витраченого повітря m у впускному тракті двигуна (із певною густиною повітря ρ та об'ємом W) за наступною формулою

$$M = W \cdot \rho \quad (2.4)$$

А густину повітряного заряду, визначимо за:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}, \quad (2.5)$$

де P - абсолютний тиск повітряного заряду; M – молярна маса повітря; R – універсальна газова стала; T – температура, K .

Для визначення абсолютного тиску, в розробленому вимірювальному пристрої застосовано промисловий датчик. Значення температури повітря розраховується на основі залежності швидкості поширення ультразвуку від температури, що визначиться за:

$$V_{зв} = V_{зв}(0^\circ) + 0,59 \cdot T_c \quad (2.6)$$

де $V_{зв}(0^\circ)$ – ш-сть звуку повітря при $0^\circ C$, приймаємо 332 м/с;

T_c – температура повітря, $^\circ C$.

Здійснивши певні перетворення, масова витрата повітря визначиться за наступною формулою:

$$m = \frac{l \cdot \omega \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{2 \cdot \varphi_1 \varphi_2 \cos \theta} \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{P \cdot M}{R \cdot (1,695 \cdot \left(\frac{l \cdot \omega (\varphi_1 + \varphi_2)}{2 \varphi_1 \varphi_2} - V_{зв}(0^\circ) \right) + 273)} \quad (2.7)$$

На основі отриманої формули, для визначення масової витрати повітря, була створена структурна схема ультразвукового вимірювача миттєвої масової витрати. У штатному режимі, генератор подає синусоїдальний сигнал на випромінюючий ультразвуковий перетворювач. Ультразвукова хвиля, проходячи крізь повітряний потік, потрапляє у сферу дії перетворювачів, що розміщені як у напрямку руху повітря, так і проти нього. Відповідно, фазові зсуви ультразвукових хвиль змінюються відповідно до швидкості потоку.

Для підвищення точності визначення передавальної функції ультразвукового давача миттєвої масової витрати повітря, необхідно застосовувати еталонний задавач повітряного потоку з нормованими

метрологічними характеристиками (з точністю, що перевищує параметри розробленого давача по всьому діапазону витрат — від 0 до 500 кг/год).

У витратомірах, де масова витрата визначається за швидкістю поширення ультразвукової хвилі, приймання ультразвукового сигналу відбувається з певною затримкою, величина якої залежить від рівня фонового шуму двигуна, табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Взаємозв'язок кількості повітря від кута повороту розподільчого валу

$\Delta\Phi$, град.	m , кг/год
0	0
121,7	3
284,2	7
446,7	11
609,5	15
772,7	19
977,2	24

Конструктивні особливості та принцип роботи цього витратоміра усувають вплив шумів двигуна. Це зумовлено тим, що ультразвукові хвилі передаються безперервно, а швидкість потоку визначається за зміною їх фази, а не за часом проходження імпульсу. Крім того, на відміну від традиційних датчиків, температура повітря обчислюється на основі температурної залежності швидкості ультразвуку, що дозволяє зменшити похибку вимірювання.

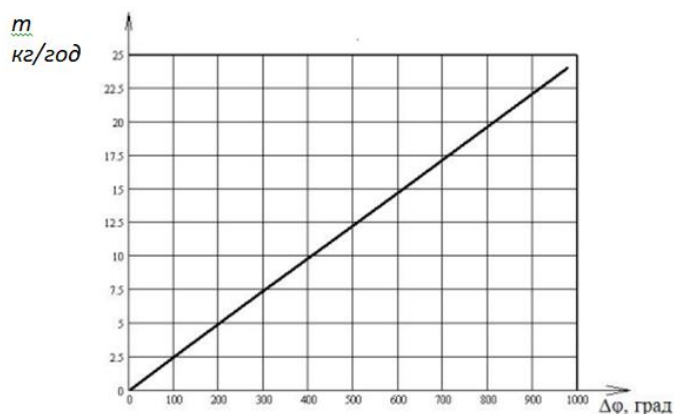


Рисунок 2.2 – Графічне відображення зміни кількості повітря, від кута повороту розподільчого валу.

Такий підхід дає змогу з підвищеною точністю визначати масову витрату повітря в обох напрямках, спираючись на дані, про миттєву температуру та густину повітряного середовища.

2.2 Методика розрахунку теплового балансу двигуна, за неякісно працюючого витратоміра повітря

Якість підготовки та згоряння робочої суміші в камерах згоряння, визначається правильним і своєчасним налаштуванням робочих процесів. Точний вибір моменту впорскування палива та відкриття впускних і випускних клапанів, має істотний вплив на ефективність процесу згоряння. Система контролю подачі повітря в інжекторних двигунах охоплює різні елементи та функції, що забезпечують оптимальний впуск повітря і сприяють ефективному формуванню паливно-повітряної суміші. Одним із головних компонентів, який регулює кількість повітря, що надходить у двигун, є дросельна заслінка - вона визначає об'єм всмоктуваного повітря і впливає на навантаження двигуна.

Якщо датчик витрати повітря працює некоректно (через забруднення його робочих елементів), електронний блок керування двигуном переводить систему в аварійний режим. Таким чином, використовуючи методику розрахунку теплового балансу ДВЗ, можна визначити втрати ефективної (корисної) теплоти Q_e , що виникають під час роботи двигуна в аварійному режимі.

Для цього слід обчислити загальну кількість теплоти Q , яка виділяється після згоряння робочої суміші, використовуючи відому формулу.

$$Q = Q_n \cdot G_n, \text{ кДж/год} \quad (2.8)$$

де Q_n - нижня питома теплота згоряння палива, кДж/кг;

G_n - годинна витрата палива, кг/год.

Годинна витрата палива визначиться, як добуток ефективної потужності N_e , і питомої витрати палива g

$$G_{\Pi} = N_e \cdot g. \quad (2.9)$$

А теплота Q_e , визначиться:

$$Q_e = 3600 N_e \quad (2.10)$$

Тоді, теплота g_e визначиться за виразом

$$g_e = \frac{Q_e}{Q} \cdot 100 \% \quad (2.11)$$

Відповідно, теплота Q_B , що виходить у навколишнє середовище, визначиться, як:

$$Q_B = C \cdot i \cdot D^{23} \cdot n^{0,65} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot 3,6, \text{ кДж/год} \quad (2.12)$$

де C – коефіцієнт втрат ($C = 0,45 \dots 0,55$) [10];

i – кількість циліндрів;

D – діаметр циліндра, мм;

n – к-сть обертів колінчастого валу, об/хв;

α – коефіцієнт надлишку повітря.

Теплота g_B , (яка витрачається з системою охолодження), розрахується за наступним виразом:

$$g_B = \frac{Q_B}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.13)$$

А теплота Q_{Γ} , що виходить із відпрацьованими газами, розрахується як:

$$Q_r = C_p \cdot (T_r - T_{o.c.}) \cdot (G_{пов.} - G_{п.}), \text{ кДж/год} \quad (2.14)$$

де C_p – середня теплоємність відпрацьованих газів, $C_p = 1,42$ кДж/кг град;

T_r і $T_{o.c.}$ – температури газу і охолоджуючого середовища, К;

$G_{пов.}$ і $G_{п.}$ – кількість робочого заряду, кг/год.

Масова кількість повітря $G_{пов.}$, визначиться за формулою

$$G_{пов.} = 14,5 \alpha \cdot G_{п.}, \text{ кг/год} \quad (2.15)$$

приймаємо $G_{п.} = 5,7$ кг/год.

Тоді, частка теплоти q_r , (що міститься у відпрацьованих газах), визначиться за:

$$q_r = \frac{Q_r}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.16)$$

Інші витрати теплоти, $Q_{ін.в.}$ визначимо за формулою:

$$Q_{ін.в.} = Q - (Q_e + Q_r + Q_b) \quad (2.17)$$

Тоді, частка $q_{ін.в.}$ визначиться:

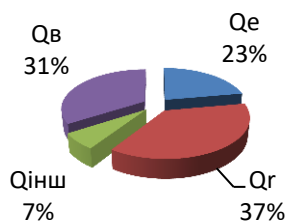
$$q_{ін.в.} = \frac{Q_{ін.в.}}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.18)$$

Застосування цієї вище наведеної методики ТБД, дало змогу визначити кількість тепла, що виділяється після згоряння робочої суміші в ситуаціях,

коли система "Motronic" некоректно налаштовує моменти впорскування палива.

Відповідно, побудовані діаграми теплового балансу досліджуваного двигуна (з коректно і некоректно працюючого датчика кількості повітря), рис. 2.3.

**За некоректно працюючого
давача кількості повітря**



**За коректно працюючої
впускної системи**

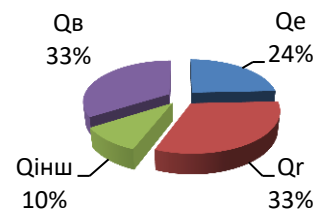


Рисунок 2.3 – Тепловий баланс двигуна (за якісної і неякісної роботи датчика кількості повітря).

Аналіз діаграм теплового балансу двигуна показав, що за умов некоректної роботи датчика кількості повітря ефективна теплота становить 23%, тоді як при його справному функціонуванні, цей показник зростає до 24%.

Це свідчить про підвищену ефективність роботи двигуна у другому випадку.

Висновки до розділу 2

Запропонована методика теоретичного дослідження, дає змогу розрахувати кількість повітря у впускній магістралі, яке повинно пройти через активні електронні елементи датчика повітря, залежно від частоти обертання двигуна та зміни фаз газорозподілу досліджуваного бензинового ДВЗ.

Виконано тепловий аналіз роботи двигуна (за умов справної та несправної роботи датчика кількості повітря у впускному тракті). В результаті встановлено, що ефективна теплота становить 23% у разі некоректної роботи давача та 24% — за його нормального функціонування.

3. МЕТОДИКА, ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика дослідження справності ДМВП

1. Візуальний огляд:

- Розташування: ДМВП зазвичай розташований між корпусом повітряного фільтра та дросельною заслінкою, рис. 3.1.



Рисунок 3.1 - Розміщення ДМВП.

- Перевірка з'єднань: Слід оглянути роз'єм та електропровідники на наявність пошкоджень, окислення або розривів.
- Стан чутливого елементу: Необхідно демонтувати датчик і обережно оглянути внутрішню частину (нитки або плівки). Наявність бруду, пилу, вологи або слідів оливи є поширеною причиною некоректної роботи.

2. Діагностика за допомогою OBD-II сканера (це найбільш точний і надійний метод):

- Зчитування кодів помилок. Необхідно підключити OBD-II сканер (або професійний діагностичний прилад) і перевірте наявність кодів, пов'язаних із масовою витратою повітря (наприклад, P0100 – P0104).
- Перевірити параметри у реальному часі (Live Data):
 - Необхідно запустити двигун і прослідкувати за показниками маси повітря (Mass Air Flow, MAF);

- на холостому ходу (прогрітий двигун), значення повинні відповідати зазвичай близько 2,5...5,5 г/с (для бензинових двигунів, залежить від об'єму).

- при різкому натисканні на педаль екселератора, показники повинні швидко зростати, а потім плавно повертатися до норми. Нестабільні або занадто низькі/високі показники, свідчать про несправність.

3. Перевірка мультиметром (слід зазначити, даний метод вимагає електричну схему конкретного датчика та його номінальне значення напруги):

- Напруга живлення. Перевіряють, чи подається необхідна напруга живлення (зазвичай 12 чи 5 В на відповідні контакти роз'єму).

- Вихідна напруга (Signal Voltage):

- Підключають плюсовий щуп мультиметра (в режимі вимірювання постійної напруги) до сигнального контакту, а мінусовий – до маси автомобіля.

- На вимкненому двигуні (запалення увімкнене) напруга має становити в межах 0,98 – 1,03 В ("базова" напруга). Якщо вона підвищена (наприклад, 1,04 В і вище), датчик, ймовірно, забруднений або несправний.

- На холостому ходу (прогрітий двигун) напруга повинна бути трохи вищою (залежно від моделі, наприклад 1,2 – 1,6 В).

- При підвищенні обертів (до 3000 об/хв), вихідна напруга повинна зростати (до 4,0 – 4,8 В).

4. Тест відключення (орієнтовний):

- Попередження: Цей метод може викликати запис помилки в ЕБУ.
- Дія: При працюючому двигуні на холостому ходу, необхідно вимкнути електричний роз'єм ДМВП.

- Результат: Якщо після відключення, двигун починає працювати стабільніше (ЕБУ переходить в аварійний режим, використовуючи табличні

значення замість невірних даних датчика), це є ознакою несправності датчика масової витрати палива, рис 3.2.



Рисунок 3.2 – Визначення вихідного сигналу ДМВП
(за увімкненого запалювання)

Аналізуючи покази мультиметра, зазначений датчик є справним.

У випадку виявлення тріщини у впускній магістралі (шлангу), відбувається процес всмоктування зайвого повітря (неврахованого датчиком). Тоді, електронний блок визначає його через покази сенсора кисню і подає зайву кількість палива у циліндри двигуна, що є небажаним явищем.

3.2 Особливості несправної роботи датчика МВП

Для контролю та оцінювання параметрів повітря, що надходить у циліндри двигуна автомобіля, застосовують давач масової витрати повітря. Потік повітря спрямовується до камери згоряння, де він змішується з паливом для забезпечення роботи ДВЗ. Датчик фіксує характеристики цього процесу та передає їх до електронного блока управління (ЕБУ), який, у свою чергу, коригує положення дросельної заслінки, з метою збільшення або зменшення повітряного потоку. Отримані дані, є необхідними для правильного дозування повітря і стабільної роботи двигуна, що дозволяє підтримувати його потужність та ефективність.

Так, як працездатність датчика відіграє ключову роль у стабільній роботі двигуна, важливо регулярно контролювати стан цього компоненту. Якщо з'являються ознаки його несправності, необхідно замінити давач, щоб відсутність коректних сигналів про масову витрату повітря не спричинила серйозніші збої та пошкодження в інших системах автомобіля.

3.3 Методика для оцінки електротехнічного стану датчика масової витрати повітря

Якщо виникають описані вище симптоми, наступним кроком є визначення, чи потрібен ремонт або заміна ДМВП. З'ясувати це можна, шляхом від'єднання датчика. Процедура виконується за такою послідовністю:

- Запустити двигун автомобіля.
- Легко натиснути педаль акселератора (на холостому ходу), щоб пришвидшити його прогрів.
- Вимкнути двигун.
- Від'єднати клему від несправного електронного компоненту.
- Повторно запустити двигун.

На рис. 3.3, зображено покази витрати палива бензинового двигуна із справним (новим) і несправним датчиком витрати повітря (коли електронний блок керування переходить у аварійний режим роботи).

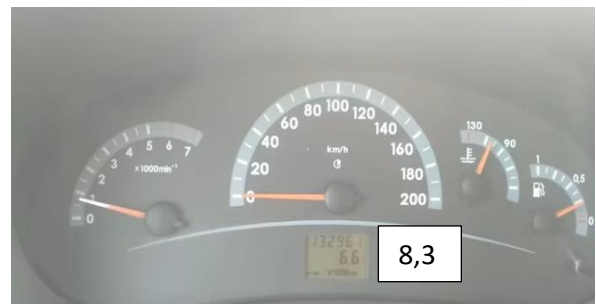
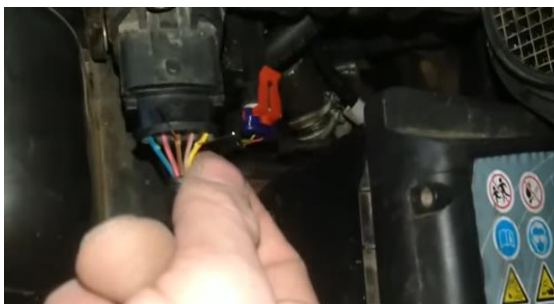


Рисунок 3.3 – Вплив датчика кількості повітря на паливну систему бензинового двигуна.

Відповідно, на панелі приладів отримали витрату палива 6,6 л на 100 км (за використання справного датчика), а за несправного - 8,3 літри.

По даному експерименту, несправний датчик підлягає заміні і відновленню не підлягає.

3.3.1 Результати досліджень

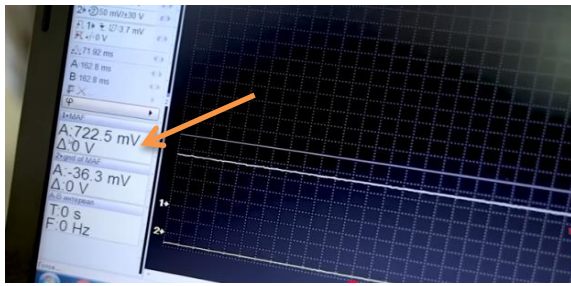
У більшості ДМВП, робочим виконавчим елементом слугує плівковий нагрівальний елемент, який розігрівається до певної температури. Тобто, коли через датчик не проходить потік повітря, температура меттєво нормується за 0,1 сек.. Як тільки двигун запускається, потік повітря охолоджує вимірювальний елемент, супроводжуючи збільшення вихідної напруги (стабілізуючи температуру нагрівального елементу). Цей період називають - час прогріву датчика.

Під час незначного натискання на педаль екселератора (за вихідної напруги 1,5 В) – кількість повітря складає – 4,06 г/сек., рис. 3.4.

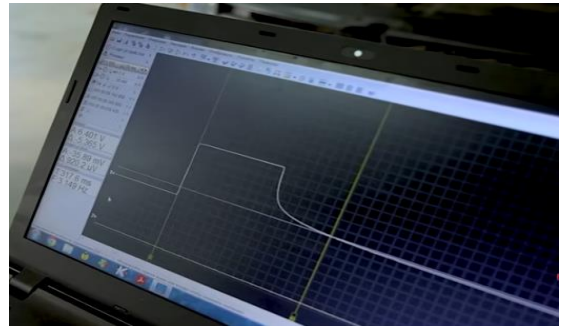


Рисунок 3.4 – Осцилограми зміни показів кількості повітря, під час перегазовки та вихідна напруга 3,1 В.

За увімкненого запалювання, вихідні електричні імпульси датчика МВП, мають слідуочу форму і значення, рис. 3.5.



За увімкненого запалювання



Час прогрівання плівкового елемента, 0,3 сек.

Рисунок 3.5 – Дослідження сигнального електричного імпульсу ДМВП

Якщо, після проведення певних операцій (по заміні провідників чи відновленні контактуючих елементів), частота обертів колінчастого валу на холостому ходу не стабілізувалася, це свідчить про те, що джерелом несправностей у роботі двигуна є давач, рис. 3.6. У результаті цього, ЕБУ переводить двигун у аварійний режим роботи, що призводить до підвищеної витрати палива та погіршення екологічних показників.



Рисунок 3.6 – Неякісна герметизація електропроводників.

Після виявлення несправності давача, експлуатація автомобіля не рекомендується, оскільки це може погіршити ситуацію та спричинити більш серйозні пошкодження двигуна.

Якщо у попередній методиці, відновлення роботи датчика можна було виконати у максимально короткий час, то для його перевірки мультиметром, потрібна певна підготовка. Необхідно уважно визначити розташування плюсового та мінусового контактів, щоб правильно під'єднати щупи

мультиметра. Після підключення щупів до відповідних контактів, слід спостерігати за показаннями приладу. Якщо за ввімкненого запалювання, мультиметр показує значення в межах 0,7–1,04 В, давач вважається працездатним. Якщо ж напруга перевищує ці значення, електронний елемент потрібно замінити, рис. 3.7.

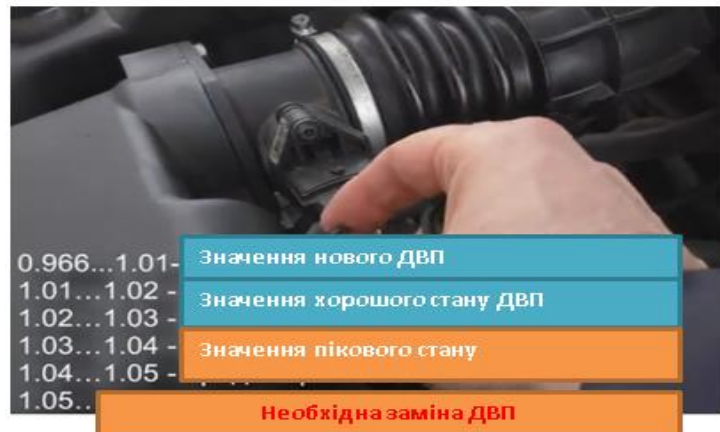


Рисунок 3.7 – Сигнальні значення ДМВП.

3.3.2 Вплив впускної системи на роботу ДМВП

Основною причиною несправностей ДМВП, є несвоєчасна заміна повітряного фільтра. Частинки пилу та інші забруднювачі елементи можуть накопичуватися на чутливій пластині датчика, що зрештою призводить до його пошкодження або виходу з ладу. Багатьох несправностей можна уникнути, якщо регулярно очищувати або своєчасно міняти повітряний фільтр, хоча сам датчик масової витрати повітря, певною мірою піддається очищенню (та цей метод не завжди дає бажаний результат).

Серйозну небезпеку для вище наведеного датчика становлять недорогі газові установки, які не забезпечують належної чистоти у впускній магістралі. Хоча у сучасних ГБО, вибухи у впускному колекторі майже не трапляються, у деяких автомобілях з LPG-системами, конструктивні особливості можуть спричиняти такі явища. Це веде до осідання сажі та

незгорілих вуглеводнів на робочих елементах датчика, що негативно впливає на його роботу.

3.3.3 Оцінка сигнальних електричних імпульсів ДМВП, залежно від літражу двигуна

Варто звернути увагу, що один і той самий датчик масової витрати повітря, може встановлюватися на двигуни з різним об'ємом. У такому разі, форма осцилограм його електричних імпульсів змінюватиметься, рис. 3.8.

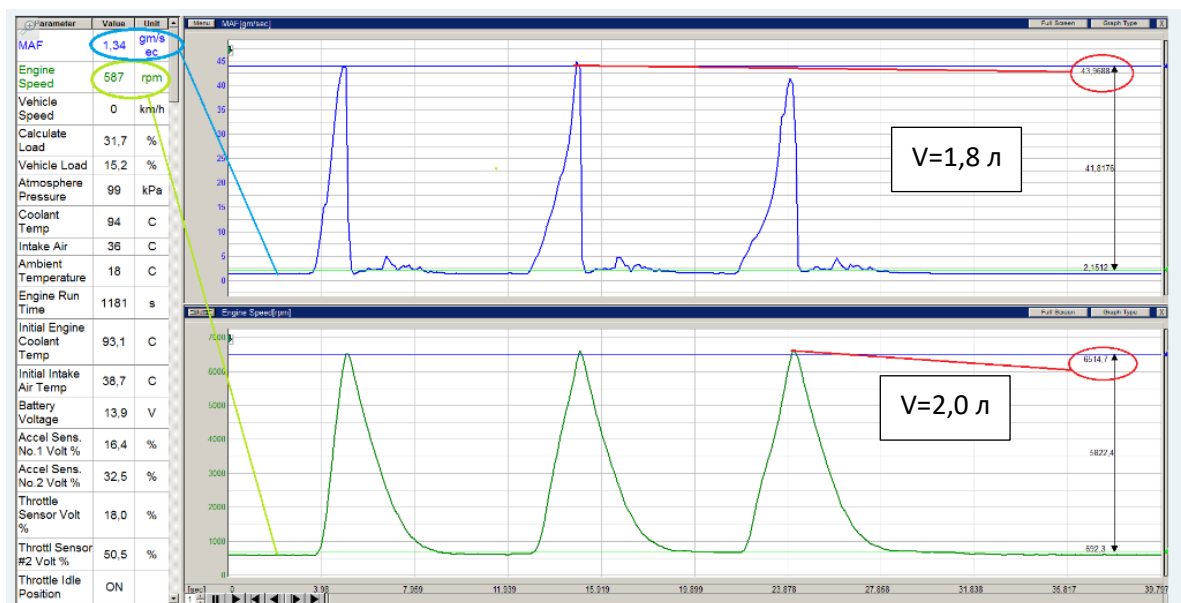


Рисунок 3.8 – Форма електричних імпульсів датчика масової витрати палива на двигунах із різним літражем циліндрів.

Проаналізувавши осцилограми, можна впевнено зазначити, що в двигуна з об'ємом 2,0 л базова частина графіків є більш пологою порівняно з двигуном об'ємом 1,8 л. Це свідчить про роботу силового агрегату з повільнішим та плавнішим зниженням обертів колінчастого валу.

3.3.4 Результати досліджень датчика повітря BOSH, за різних швидкісних режимів двигуна

За допомогою програмного середовища «Electude» було проведено дослідження вихідних електричних імпульсів датчика масової витрати повітря в умовах різних швидкісних режимів роботи двигуна з електронною системою керування.

Застосувавши електронний осцилограф і модель віртуального двигуна з електронним управлінням, ми проаналізували сигнали датчика масової витрати повітря (для різних швидкісних характеристик силового агрегату з системою «Motronic»). Отримані результати подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень

Номер провідника ДМВП та одиниці вим.	1200 об/хв	2000 об/хв	3000 об/хв	4000 об/хв	4500 об/хв	5000 об/хв	5500 об/хв
1 (В)	0,012						
2 (В)	0,6	0,82	0,93	1,22	1,38	1,51	1,68
3 (В)	5						

Відповідно до табличних даних (див.табл.3.1), побудовано графік залежності, рис. 3.9.

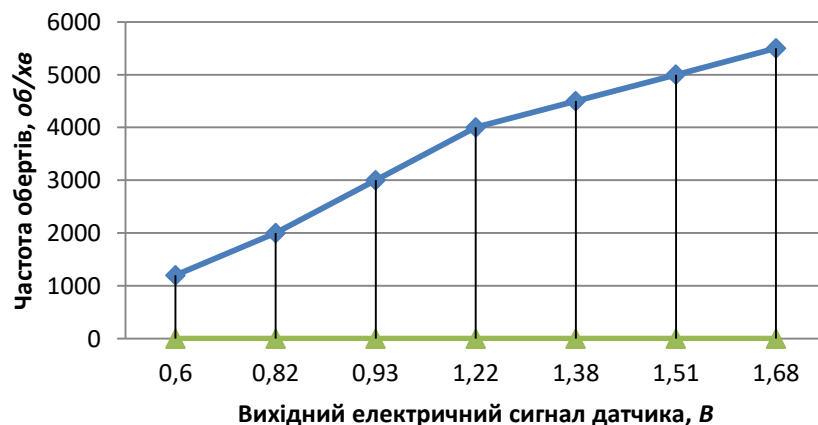


Рисунок 3.9 – Графічне відображення залежностей електричних імпульсів датчика повітря, від обертів колінчастого валу двигуна.

Висновки до розділу 3

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показав, що на датчик масової витрати повітря припадає близько 17,6% усіх відмов у системах електронного керування двигуном, а його середній ресурс становить орієнтовно 30,9 тис. км.

Несправність датчика кількості повітря, призводить до збільшення витрати палива, зменшення потужності двигуна та погіршення екологічних характеристик.

У процесі дослідження встановлено, що при ввімкненому запалюванні, вихідна напруга датчика витрати повітря (виробництва BOSCH) становить близько 0,6 В (що є в межах норми).

Максимальне робоче значення сигналу — 1,68 В — фіксується при оптимальній частоті обертання колінчастого валу, що дорівнює 5500 об/хв.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Небезпечні обставини під час проведення комп'ютерної діагностики транспортних засобів

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 [4]-[9]:

- не допускати вимикання 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:

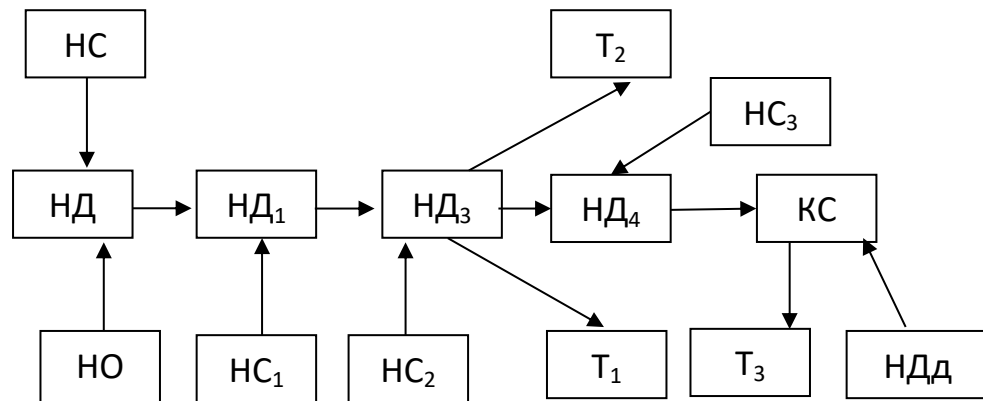
- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огороження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого 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 травмонезбезпечної 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 проведення комп'ютерної діагностики електронного блоку керування сучасним двигуном, рис, 4.1.



НД – відкриття капоту; НС – можливе падіння капоту під час проведення ТО; НО₁ – наявність незначного схилу; НД₁ – зняття заглушки із роз'єму; НС₁ – можливе побиття кінцівок рук; НД₃ – встановлення вилки із адаптера у діагностичний роз'єм; НС₂ – можливе падіння капота та побиття кісті рук; Т₁ – травма пальців; Т₂ – побиття ліктів рук; НД₄ – фіксація регулювальної шторки; НС₃ – небажане склеювання пальців в умовах низьких температур навколишнього середовища; Т₃ – пошкодження пушок пальців рук; КС – заземлення кінцівок; НДд – необхідна допомога іншої особи

Рисунок 4.1 - Блок-схема небезпечних ситуацій під час проведення комп'ютерної діагностики сучасного автомобіля

4.2 Особливості пожежної безпеки

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.

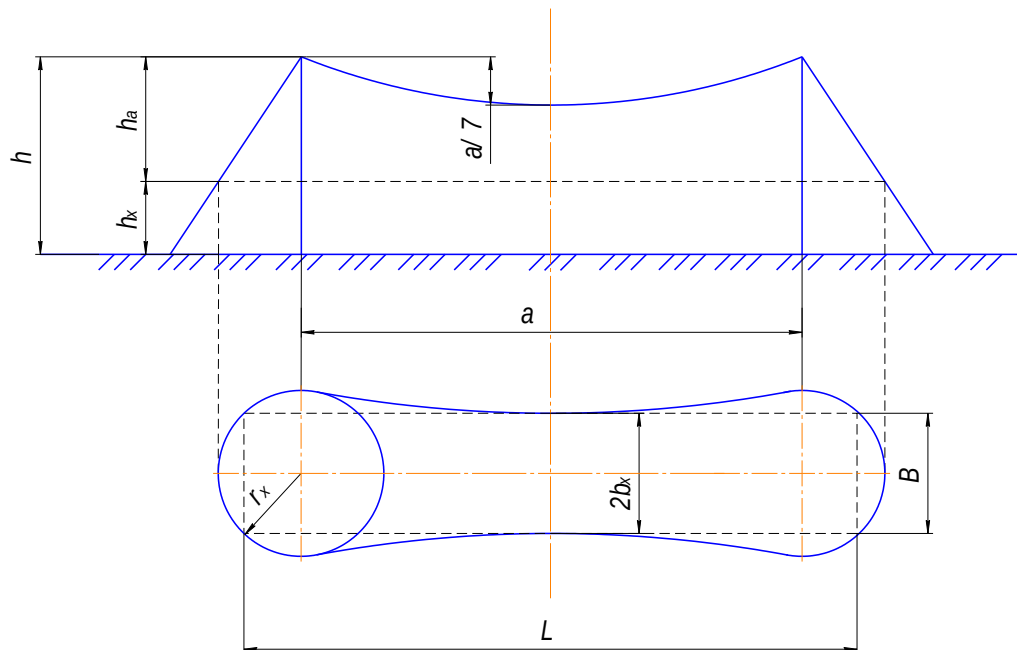


Рисунок 4.1 - Схема блискавкового захисту лабораторії з випробування автомобілів

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

4.3 Охорона праці робочого персоналу

Охорона праці під час комп'ютерної діагностики транспортного засобу, є важливою для забезпечення безпеки працівників і попередження можливих ризиків. Ось деякі аспекти, які слід враховувати:

Вентиляція приміщення. Слід переконатися, що приміщення, де проводиться діагностика, добре провітрюється. Це особливо важливо при використанні хімічних речовин або якщо виникає необхідність у скиданні вихлопних газів.

Заземлення обладнання. Правильне заземлення комп'ютерного обладнання та автомобіля, є ключовим для уникнення електростатичного розряду, що може пошкодити електроніку.

Особистий захист. Слід забезпечити працівників відповідним особистим захистом, таким як: рукавиці, окуляри та захисний одяг, особливо при взаємодії з хімічними речовинами чи мастилами.

Вимкнення автомобіля. Необхідно забезпечити, щоб автомобіль був вимкнений та ключ вийнятий перед тим, як розпочати будь-які діагностичні роботи.

Безпека електроживлення. Необхідно уникати взаємодії з електричними системами автомобіля, особливо з високовольтними системами (якщо такі є), не маючи відповідної кваліфікації та заходів безпеки.

Навчання персоналу. Необхідно переконатися, що персонал має відповідну підготовку та розуміє правила безпеки під час роботи з комп'ютерною діагностикою автомобіля.

Ці заходи допоможуть забезпечити ефективну та безпечну процедуру комп'ютерної діагностики автомобіля, зменшуючи ризик та захищаючи здоров'я працівників.

4.4 Організаційно-технічні рекомендації

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 сполук, 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.

Одним з найбільш використовуваних ресурсів у побуті - вода. Найбільшим її споживачем є сільське господарство.

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.

Висновки до розділу 4

Розроблено комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та охорони праці під час проведення комп'ютерної діагностики автомобіля.

Сформовано модель можливих небезпечних ситуацій, що можуть виникнути в процесі дистанційної діагностики транспортного засобу.

Надано опис вимог пожежної безпеки для приміщення, у якому виконуються експериментальні та діагностичні роботи.

Обґрунтовано та методично викладено організаційно-технічні рекомендації, які слід враховувати під час здійснення дистанційної діагностики автомобілів.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Дослідження економічних витрат

Економічні витрати автомобіля з електронним керуванням під час аварійного режиму роботи, можуть бути значними і включати різні аспекти.

Ось деякі із можливих:

Ремонт електроніки. В аварійних ситуаціях, може виникнути необхідність у серйозному ремонті або заміні електронних компонентів і систем.

Вартість зазначених вище робіт може бути значною, через високу складність сучасних електронних систем [7].

Вартість заміни частин. Якщо аварійний режим призвів до пошкодження виконавчих елементів автомобіля (давачі, блоки управління і інш.), то вартість їх заміни або відновлення можуть бути досить значні.

Втрати від зупинки. Якщо автомобіль перебуває в аварійному режимі, це може призвести до зупинки або обмеження його функцій. А також спричинити втрати для власників, пов'язані з невикористанням транспортного засобу.

У випадку аварії, пов'язаної з електронікою, можуть збільшитися страхові витрати, особливо якщо необхідно відновлювати чи здійснювати заміну дорогих електронних елементів.

Визначення та усунення проблем у системах електронного керування, може вимагати великих трудовитрат та витрат на діагностику.

У загальному, слід зазначити, що економічні витрати в аварійному режимі для автомобіля з електронним керуванням, можуть бути значними через високотехнологічні компоненти, складність діагностики та ремонту.

5.2 Дослідження експлуатаційних витрат автомобіля, за некоректної роботи давача масової витрати повітря

Використання комп'ютерного діагностичного обладнання для аналізу електронного блоку керування автомобілем, дозволяє вчасно виявляти проблеми у роботі виконавчих електронних елементів, які формують або коригують електричні сигнали від робочих механізмів, що контролюються блоком управління. Для розрахунку економічних витрат, коли досліджуваний автомобіль потрапляє в аварійний режим роботи (за неякісної роботи ДМВП), використовується методика, яка детально описана у джерелі [5].

Отже, витрати на експлуатацію автомобіля будуть визначатися за наступною формулою:

$$Z = Z_n + Z_{зм} + Z_{ТО} + Z_{ав} + Z_{ш} + Z_{зн} \quad (6.1)$$

де Z_n – витрати на паливе;

$Z_{зм}$ – витрати на змащувальні матеріали, $Z_{зм} = 1,8$ грн./км;

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

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

$Z_{ш}$ – витрати на шини, $Z_{ш} = 0,19$ грн./км;

$Z_{зн}$ – витрати на заробітну плату водія, $Z_{зн} = 10,00$ грн.

Грошові витрати на придбання палива (з справною і несправною системою) визначаємо за відомою формулою:

$$Z_n^6 = \frac{C_n^6 \cdot g}{100} \quad 6.2$$

де, C_n^6 – вартість палива, $C_n^6 = 53,00$ грн./л;

g – витрата палива (з несправною системою), $g = 10,0$ л/100 км.

Тоді:

$$Z_n^6 = \frac{53,00 \cdot 10,00}{100} = 5,30 \text{ грн/км}$$

Тоді, із справною системою:

$$Z_n^e = \frac{C_n^e \cdot g_n}{100}, \quad 6.3$$

де, $g_{п.п}$ – витрата палива із справною системою, $g_{п.п} = 7,5$ л/100 км.

Отже:

$$З_{п}^в = \frac{53,00 \cdot 7,5}{100} = 3,70 \text{ грн./км}$$

Розрахунки показують, що витрати на придбання палива для автомобіля з справною системою є нижчими, відносно несправної.

Тоді, витрати на ТО автомобіля:

$$З_{то} = N_{тр} \cdot l_{тр} \cdot 10^{-3} \text{ грн./км} \quad 6.4$$

де, $N_{тр}$ – витрати на автомобіль з модернізованою системою і базовою, $N_{тр} = 82,2$ грн./1000 км.

$$З_{то} = 72,2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0822 \text{ грн./км}$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$З_{амор} = \frac{Ц \cdot l_p \cdot A_B}{10^5} + \frac{Ц \cdot l_p \cdot A_{кап.р}}{10^5}, \text{ грн} \quad 6.5$$

де, $Ц$ – балансова вартість автомобіля, $Ц = 150600,00$ грн.;

A_B – нормативні амортизаційні відрахування, $A_B = 0,22$;

l_p – річний пробіг, приймаємо $l_p = 15500$ км;

$A_{кап.р}$ – нормативні відрахування на капітальний ремонт, $A_{кап.р} = 0,14$

$$З_{аморт} = \frac{150600 \cdot 15500 \cdot 0,22}{10^5} + \frac{150600 \cdot 15500 \cdot 0,14}{10^5} = 5135,50 + 3268,02 = 8403,52 \text{ грн.}$$

Згідно виразу (6.1), отримаємо:

- для несправної системи

$$З = 5,30 + 1,8 + 0,0822 + 0,22 + 0,25 + 10,00 = 17,65 \text{ грн./км};$$

- за справної

$$З = 3,70 + 1,8 + 0,0822 + 0,22 + 0,25 + 10,00 = 16,05 \text{ грн./км.}$$

А за річний пробіг витрати будуть становити ($\delta = 0,01$ - коеф., що враховує простій автомобіля, тобто пробіг рівний близько 14850 км/рік):

- зі справною

$$З_{д} = 16,05 \cdot 14850 = 238342,50 \text{ грн./рік};$$

- несправної

$$З_{д} = 17,65 \cdot 14850 = 262102,50 \text{ грн./рік.}$$

Отже, річні економічні витрати від некоректної роботи витратоміра повітря, склали:

$$E = 262102,50 - 238342,50 = 23760,00 \text{ грн./рік}$$

Висновки до розділу 5

Несправна робота датчика масової витрати повітря у впускній системі двигуна з точковим упорскуванням палива, переводить електронний блок керування в аварійний режим. У результаті, зростає витрата палива та збільшується викид шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Таке порушення в роботі датчика, спричиняє додаткові щорічні фінансові втрати, що становлять приблизно 23760,00 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Техніко-економічний аналіз літературних джерел засвідчує, що ефективність роботи датчика масової витрати повітря в впускній системі двигуна внутрішнього згоряння, значною мірою визначається чистотою повітря (яке надходить у магістраль після повітряного фільтра), а також імовірністю проникнення у впускну систему продуктів неповного згоряння вуглеводнів (під час продувки камер згоряння).

Слід підкреслити, що працездатність давача масової витрати повітря істотно залежить від своєчасної заміни повітряного фільтра та дотримання правил експлуатації автомобіля, особливо в умовах інтенсивного міського руху.

Запропонована методика теоретичного дослідження, дає змогу розрахувати кількість повітря у впускній магістралі, яке повинно пройти через активні електронні елементи датчика повітря, залежно від частоти обертання двигуна та зміни фаз газорозподілу досліджуваного бензинового ДВЗ.

Виконано тепловий аналіз роботи двигуна (за умов справної та несправної роботи датчика кількості повітря у впускному тракті). В результаті встановлено, що ефективна теплота становить 23% у разі некоректної роботи давача та 24% — за його нормального функціонування.

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показав, що на датчик масової витрати повітря припадає близько 17,6% усіх відмов у системах електронного керування двигуном, а його середній ресурс становить орієнтовно 30,9 тис. км.

Несправність датчика кількості повітря, призводить до збільшення витрати палива, зменшення потужності двигуна та погіршення екологічних характеристик.

У процесі дослідження встановлено, що при ввімкненому запалюванні, вихідна напруга датчика витрати повітря (виробництва BOSCH) становить близько 0,6 В (що є в межах норми).

Максимальне робоче значення сигналу — 1,68 В — фіксується при оптимальній частоті обертання колінчастого валу, що дорівнює 5500 об/хв.

Розроблено комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та охорони праці під час проведення комп'ютерної діагностики автомобіля.

Сформовано модель можливих небезпечних ситуацій, що можуть виникнути в процесі дистанційної діагностики транспортного засобу.

Надано опис вимог пожежної безпеки для приміщення, у якому виконуються експериментальні та діагностичні роботи.

Обґрунтовано та методично викладено організаційно-технічні рекомендації, які слід враховувати під час здійснення дистанційної діагностики автомобілів.

Несправна робота датчика масової витрати повітря у впускній системі двигуна з точковим упорскуванням палива, переводить електронний блок керування в аварійний режим. У результаті, зростає витрата палива та збільшується викидання шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Таке порушення в роботі датчика, спричиняє додаткові щорічні фінансові втрати, що становлять близько 23760,00 грн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бороденко Ю.М., Гнатов А.В., Аргун Щ.В. Мехатронні системи автомобіля. Част. 1. Силовий привід: підручник. Харків: ХНАДУ, 2023. 300 с.
2. Бороденко Ю.М., Гнатов А.В., Аргун Щ.В. Мехатронні системи автомобіля. Част. 2. Ходова частина: підручник. Харків: ХНАДУ, 2024. 226 с.
3. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.: Арістей. 2006, 292 с.
4. Гряник І. М., Лахман С.Д. та інші Охорона праці: Київ.: Урожай. 1994, 187 с.
5. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту: Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. – 230 с.
6. 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.
7. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів/ Вид. Либідь. К.: 2018, 400 с.
8. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004, 168 с.
9. Розрахунок економічної ефективності механізму / Електронний ресурс, режим доступу: <https://www.google.com/url>.
10. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання / Навчальний посібник .Вища школа, 2001. 180с.
11. Шевчук Р.С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник). Львів: Львівський національний аграрний університет, 2016, 236 с.
12. Грицук І.В., Вербовський В.С., Володарець М.В., Краснокутська З.І., Погорлецький Д.С., Бородін С.І. Особливості розробки циклу теплової

підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора / Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет 33 конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 25 – 27.

13. Двигуни внутрішнього згоряння : [підручник]: у 6 т. / [за редакцією проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А. Ф. Шеховцова].:Т. 2 : Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. Харків : Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004, 367 с.

14. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. К.: Каравела, 2009, 400с.

15. Навчальне середовище «Electude». Електронний ресурс, режим доступу: <https://lnau.electude.eu>.

16. Войтов В. А., Чепурний Ю.В. Метод віброакустичного дослідження клапанного механізму двигуна внутрішнього згорання. Збірник наукових праць. 2020. N 2. Р.72. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.20>.

17. Яценко К.Г., Блещенко М.О., Коростильов Г.Л., Чепурний Ю.В. Експериментальне дослідження віброакустичним методом клапанного механізму двигуна внутрішнього згоряння. Системи озброєння і військова техніка. 2020. N 1(61). С. 177-182. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.21>.

18. 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.

19. 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.

20. Сирота В. І., Сахно В. П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія. Навчальний посібник К.: Арістей, 2007, 288 с.

21. Максимов В.Г. Загальні принципи діагностування електронних систем автомобіля. Наука і техніка, 2012, 392с.

22. Оборський Г.О., Максимов В.Г., Ніцевич О.Д. та інші. Засоби та методи діагностування систем автомобіля в умовах станції технічного обслуговування (базовий прилад - комплекс FSA-740) : метод. посіб., за ред. М.Б. Копитчука: Наука і техніка, 2012, 188с.

23. Максимов В.Г., Ніцевич О.Д., Дрома І. А. Основи методів діагностування електронних систем керування автомобілем. Праці Одеського політехнічного університету, 2013. Вип.3(42), с. 60-65.

24. 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.

25. Бороденко Ю.М., Гнатов А.В., Аргун Щ.В. Мехатронні системи автомобіля. Частина 2 «Ходова частина», підручник. Харків: ХНАДУ, 2024. – 226 с.

26. Кашканов А. А., Кужель В.П., Грисюк О.Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомоб. транспорту: навчальний посібник, Вінниця: ВНТУ, 2010. 230 с.

27. Солтис А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Арістей, 2010. – 155 с.