

**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 сенсора кисню на
експлуатаційні характеристики бензинового двигуна»

Виконав: студент VI курсу групи Ат-6
Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Тарас БЕРКОВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Мирон МАГАЦ
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 631.359.1: 89

Берковський Тарас Тарасович «Дослідження впливу сенсора кисню на експлуатаційні характеристики бензинового двигуна»: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З.Гжицького , 2025. 57 с.

Табл.1; рис. 15; бібліогр. джерел 27.

Детально розглянуто різновиди сенсорів кисню, з'ясовано форми вихідних сигналів та їхні необхідні значення.

Представлено методику розрахунку теплового балансу бензинового двигуна за некоректно працюючого і справного датчика кисню, що дає можливість проаналізувати ефективну теплоту Q_e .

Проведено розрахунок нагрівального елементу датчика кисню, що дозволило визначити номінальне навантаження на бортову електромережу зі сторони роботи датчика (у період прогрівання), що становить 1,2...1,5 А.

Отримано результати вихідних сигналів датчика кисню, що у подальшому впливають на роботу бензинового двигуна: у процесі прогрівання, значення становили 0,4 В; в період початку роботи сенсора, вихідні сигнали набули більш пологової синусоїдної форми із варюванням значень 0,4 – 0,7 В; за прогрітого двигуна 60°C, значення досягли норми 0,1 – 0,8 В.

Розроблено заходи, що до безпеки проведення комп'ютерної діагностики випускної системи двигуна із іскровим запалюванням.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	8
1.1 Особливості конструкції сенсора кисню та вплив його на техніко-економічні показники двигуна.....	8
1.1.1 Вплив на експлуатаційні характеристики двигуна.....	10
1.2 Ознаки несправності сенсора кисню.....	12
1.3 Основні види кисневих сенсорів та їх особливості.....	11
1.4 Система зворотного зв'язку	13
1.4.1 Титанові сенсори кисню	14
1.4.2 Широкосмугові кисневі датчики	15
1.5 Особливості, спільні для всіх типів кисневих сенсорів	17
1.6 Електронні системи в автотранспортних засобах	18
Висновки до розділу 1.....	20
2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	21
2.1 Тепловий баланс двигуна з електронним управлінням, за некоректної роботи сенсора кисню	21
2.2 Особливості жаростійкої спіралі у сенсорі кисню.....	23
2.2.1 Визначення необхідної потужності нагрівального елементу	24
2.2.2 Розрахунок електричних параметрів	26
Висновки до розділу 2.....	27
3. МЕТОДИКА, ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
3.1 Вплив негативних факторів на роботу датчика кисню	29
3.2 Обладнання для дослідження.....	31
3.2.1 Комп'ютерне діагностичне обладнання	31

3.3 Методика та результати діагностики випускної системи двигуна з електронним керуванням	32
3.4 Наслідки несправності датчика кисню	36
3.5 Результати теплового балансу за некоректної роботи датчика кисню.....	37
Висновки до розділу 3.....	38
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	39
4.1 Небезпечні ситуації	39
4.2 Пожежна безпека.	41
4.3 Охорона праці	44
4.4 Організаційно-технічні рекомендації	45
Висновки до розділу 4.....	49
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	50
5.1 Дослідження експлуатаційних витрат	50
Висновки до розділу 5.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	53
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Сучасні електронні системи автоматизованого керування автомобілями та їх бортовими пристроями, здебільшого побудовані за єдиною принциповою схемою. Різноманітні датчики, перетворюють інформацію про контрольовані неелектричні параметри у форму електричних сигналів. Далі ці сигнали оцифровуються та надходять до електронного блока управління. Отримані дані аналізуються мікроконтролером відповідно до закладеного програмного забезпечення, після чого він керує роботою виконавчих елементів [1]-[3].

Подальший розвиток автомобільної електроніки, значною мірою визначається якістю, надійністю та доступністю датчиків. Починаючи з 1990-х років, автовиробники активно вдосконалюють системи для зниження токсичності вихлопних газів. Це сприяло впровадженню додаткових датчиків для моніторингу роботи двигуна, випускної системи, паливного упорскування, трикомпонентного каталізатора, а також для точного регулювання складу паливоповітряної суміші. Завдяки цьому, стало можливим суттєво зменшити шкідливі викиди в атмосферу.

Для проведення комп'ютерної діагностики автомобілів, необхідне застосування спеціалізованих програмно-апаратних комплексів, які дозволяють оцінювати технічний стан різних систем та їх електронних елементів. Завдяки такому підходу, забезпечується оперативне та точне виявлення несправностей, детальний аналіз електронних систем і корекція помилок, що можуть виникати в процесі експлуатації автомобілів.

Для швидкого й достовірного дослідження впливу сенсора кисню на формування та повноти згоряння паливоповітряної суміші у камерах двигуна, застосовують сучасні діагностичні прилади, зокрема адаптери, осцилографи та мультиметри.

Метою кваліфікаційної роботи, є дослідження вихідних електричних імпульсів сансора кисню та їхній вплив на експлуатаційні характеристики

двигуна.

Для цього необхідно:

1. Проаналізувати літературні джерела, щодо існуючих систем випуску сучасних двигунів з електронним управлінням;
2. Провести оцінку теплового балансу інжекторного двигуна за неякісно працюючого сенсора кисню.
3. За використання діагностичного сканера, оцінити вихідні і вхідні параметри сенсора кисню, на різних режимах роботи двигуна.
4. Розрахувати економічні втрати та представити заходи з охорони праці і техніки безпеки, під час проведення діагностичних робіт.

1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Особливості конструкції сенсора кисню та вплив його на техніко-економічні показники двигуна

Кисневий датчик (лямбда-зонд), є одним із ключових елементів системи керування бензиновим двигуном і суттєво впливає на його експлуатаційні показники. Основна функція цього датчика полягає у визначенні концентрації кисню у відпрацьованих газах. Отримані дані передаються до електронного блока керування двигуном, який на їх основі, виконує корекцію складу паливоповітряної суміші. Оптимальним для повного згоряння вважається стехіометричне співвідношення, що дорівнює приблизно 14,7 частин повітря на 1 частину палива за масою [1]-[3].

1.1.1 Вплив на експлуатаційні характеристики двигуна

- Оптимізація суміші: Кисневий датчик забезпечує безперервне коригування ЕБК кількості впорскуваного палива, з метою підтримання стехіометричного співвідношення, що гарантує максимально повне його згоряння.
- Економія палива: Якісна робота сенсора кисню, сприяє оптимальній паливній ефективності, що веде до зменшення витрати палива.
- Багата суміш (надлишок палива): У разі несправності датчика, коли він передає до ЕБК хибний сигнал про збіднену суміш (хоча фактично вона є збагаченою), блок управління може додатково збільшувати подачу палива. Це спричиняє надмірну його витрату, утворення сажових відкладень, перегрів каталізатора та зростання викидів CO і CH [5]-[8].
- Бідна суміш (нестача палива): У випадку несправності датчика, коли він подає до ЕБК сигнал про збагачену суміш (хоча насправді вона є збідненою), блок управління може зменшувати подачу палива. Наслідком

цього стає: перегрів двигуна, втрата потужності, виникнення пропусків запалювання, пошкодження клапанів і підвищене утворення оксидів азоту (NO_x).

Потужність двигуна:

- Оптимальне згоряння: За умови оптимального складу паливоповітряної суміші, двигун забезпечує максимальну потужність при заданому робочому об'ємі та частоті обертання.

Втрата потужності: Невірний склад паливоповітряної суміші (особливо збідненої) може спричинити помітне зниження потужності двигуна, через зменшення ефективності процесу згоряння.

Викиди шкідливих речовин:

- Зниження викидів: Кисневий датчик виступає одним із основних компонентів системи контролю викидів. Завдяки його роботі, каталітичний нейтралізатор може ефективно функціонувати, перетворюючи токсичні гази (CO , CH , NO_x) на відносно безпечні сполуки (CO_2 , H_2O , N_2).

Стабільність роботи двигуна:

- Стабільний холостий хід: Коректна робота датчика, забезпечує рівномірні оберти колінчастого валу двигуна без коливань на холостому ході.

- Плавність роботи: Нестабільність складу паливоповітряної суміші може спричиняти ривки, провали під час розгону та нерівномірну роботу двигуна.

- Ризик перегріву: Збіднена суміш здатна викликати перегрів двигуна і його складових елементів, зокрема клапанів та поршнів, що зменшує їхній ресурс.

- Засмічування свічок запалювання: Надмірно збагачена суміш, призводить до утворення нагару на свічках, ускладнюючи іскроутворення та провокуючи пропуски запалювання.

- Пошкодження каталізатора: Незгоріле паливо або перегрів, спричинений збагаченою сумішшю, можуть вивести з ладу каталітичний нейтралізатор, ремонт якого є вартісним.

1.2 Ознаки несправності сенсора кисню

У більшості випадків, основними ознаками несправності сенсора кисню, можуть бути [10]:

- Загоряння індикатора "Check Engine" на панелі приладів.
- Суттєве збільшення витрати палива.
- Зниження потужності та динаміки руху автомобіля.
- Чорний дим із випускної труби (ознака багатой суміші).
- Нестабільний холостий хід ("плаваючі" оберти).
- Ривки або провали під час руху автомобіля.
- Відчутний запах незгорілого палива.
- Підвищені екологічні показники.

Кисневий датчик або лямбда-зонд, є ключовим компонентом будь-якого сучасного двигуна, а не просто одним із багатьох сенсорів. Його правильна робота, має вирішальне значення для:

- Оптимальної витрати палива: Дозволяє ЕБУ (електронному блоку управління) двигуном, точно регулювати паливно-повітряну суміш, запобігаючи їй надмірному збагаченню.

- Максимальної потужності: Забезпечує ефективне згорання палива, що впливає на динамічні характеристики автомобіля.

- Зниження шкідливих викидів: Допомогає каталізатору нейтралізувати токсичні гази, мінімізуючи забруднення навколишнього середовища.

- Стабільної роботи двигуна та його довговічності: Підтримує двигун у оптимальному робочому режимі, запобігаючи можливим поломкам.

Ігнорування несправності кисневого датчика може призвести до

збільшення витрат на паливо та потреби у дорогому ремонті, зокрема каталізатора, який є одним з найдорожчих компонентів випускної системи.

Більшість кисневих датчиків, працюють за принципом електрохімічного потенціалу. Вони постійно порівнюють кількість кисню у вихлопних газах із вмістом кисню в атмосферному повітрі. Ця різниця в концентрації, створює електричний сигнал, який надходить до ЕБУ. На основі цього сигналу, ЕБУ коригує подачу палива, підтримуючи ідеальну паливно-повітряну суміш [12]-[17].

1.3 Основні види кисневих сенсорів та їх особливості

Існує два основні типи кисневих датчиків, що відрізняються матеріалом та принципом дії: цирконієві (вузькосмугові) та титанові, а також більш досконалі широкосмугові датчики.

1. Цирконієві кисневі датчики (вузькосмугові). В основі цих датчиків, лежить цирконієва кераміка (діоксид цирконію, ZrO_2). За високих температур (від 300-400°C) вона стає провідною для іонів кисню.

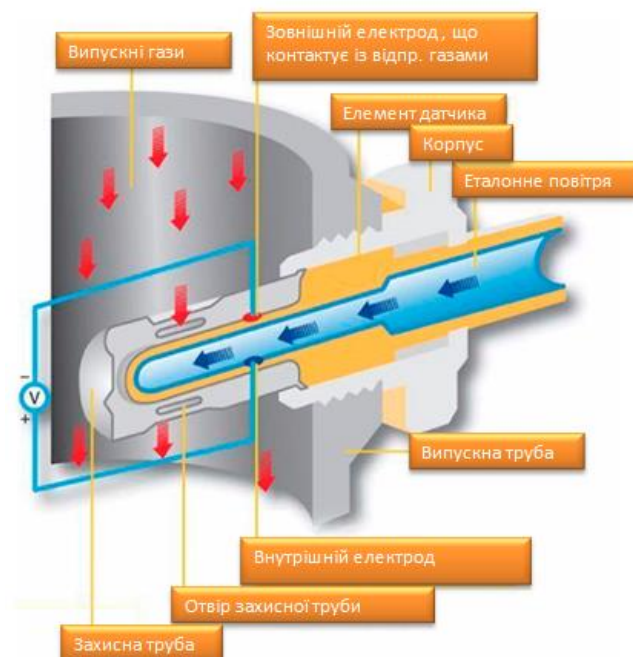
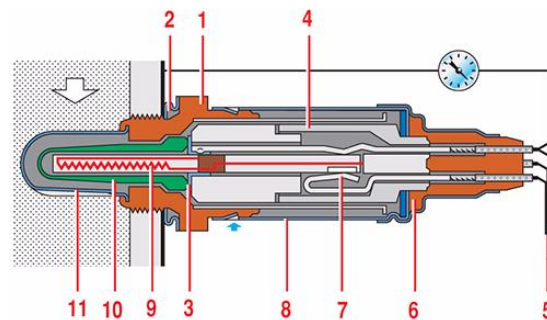


Рисунок 1.1 – Схема роботи цирконієвого датчика [18].

Внутрішня частина датчика, контактує з атмосферним повітрям, а зовнішня — з відпрацьованими газами. Різниця в концентрації кисню між цими середовищами створює електричний сигнал, рис. 1.2



1- металевий корпус із гайкою під ключ; 2 –ущільнення; 3 –протікання електричного сигналу; 4 - керамічний ізолятор; 5 – провідник; 6 - ущільнювальна манжета; 7 - контакт підігріву; 8 - зовнішній захисний корпус з отвором для повітря; 9 – підігрів; 10 - керамічний наконечник; 11 - захисний екран

Рисунок 1.2 - Конструкція цирконієвого датчика [19].

Основний елемент датчика — це порожнистий цирконієвий керамічний наконечник. На його внутрішній і зовнішній поверхнях, є пористе платинове покриття, що виконує роль електродів. Коли кераміка нагрівається до 300-350°C, вона стає провідником, пропускаючи сигнали від зовнішнього електрода до внутрішнього. Ці сигнали генеруються через різницю концентрації кисню у вихлопних газах і виводяться на провідники, рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Особливості конструкції сенсорів кисню [19].

При нагріванні, цирконієва кераміка стає провідником, пропускаючи іони кисню від зовнішнього середовища (з високою концентрацією) до вихлопних газів (з низькою). Це створює електричний струм, сила якого пропорційна різниці в щільності кисню. Цей сигнал надходить до ЕБУ, який на його основі коригує тривалість впорскування палива.

Для коректної роботи датчика, його електроди мають бути ізольовані один від одного, а робоча частина — захищена від контакту з атмосферним повітрям.

1.4 Система зворотного зв'язку

Хоча електронні системи керування двигуном налаштовуються на заводі, вони не можуть врахувати всі чинники, такі як: реальні умови експлуатації та поступовий знос двигуна. Саме тому, потрібен постійний контроль і коригування його роботи.

Цю функцію виконує лямбда-зонд, який працює в парі з електронним блоком управління. Датчик аналізує склад вихлопних газів і надає ЕБУ необхідну інформацію для точного розрахунку та коригування подачі палива.

Цей механізм зворотного зв'язку необхідний, як для бензинових інжекторних, так і для сучасних дизельних двигунів. Без нього, система не зможе підтримувати оптимальну паливну ефективність, рис. 1.4 [22].

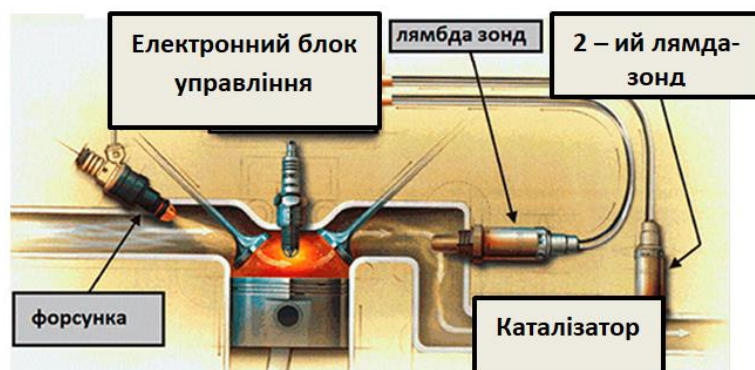


Рисунок 1.4 – Вприск палива із зворотнім зв'язком.

Сигнал, який генерує цирконієвий кисневий датчик, має "двійний" характер. Це означає, що він видає або високу напругу (приблизно 0.8-0.9 В), коли паливна суміш збагачена (з дефіцитом кисню у вихлопних газах), або низьку напругу (близько 0.1-0.2 В), коли суміш збіднена (з надлишком кисню).

Для оптимальної роботи двигуна (так званої стехіометричної суміші) напруга датчика коливається близько 0.45 В.

Ці датчики починають функціонувати тільки після нагрівання. Тому сучасні моделі мають вбудований нагрівальний елемент, що значно прискорює їх вихід на робочий режим. ЕБУ постійно аналізує сигнал датчика, перемикаючи суміш з багатой на бідну і навпаки, щоб підтримувати ідеальні пропорції. Цей тип датчиків працює ефективно лише в дуже вузькому діапазоні.

1.4.1 Титанові сенсори кисню

Титанові кисневі датчики працюють за іншим принципом, ніж цирконієві. Вони не генерують електричний струм самостійно, а змінюють свій електричний опір, відповідно до кількості кисню у вихлопних газах. Це означає, що їм необхідне постійне живлення від ЕБУ для роботи [23].

Дані датчики є вузькосмуговими і мають наступні характеристики:

- Збагачена паливна суміш (з низьким вмістом кисню) призводить до низького опору датчика, і на виході формується висока напруга (зазвичай 3,85–4,5 В).
- Збіднена паливна суміш (з надлишком кисню) викликає високий опір і, відповідно, низьку напругу (0,4–0,6 В).
- Вони вважаються більш точними, ніж цирконієві аналоги, і коштовніші.
- Конструкція титанових датчиків не вимагає доступу до атмосферного повітря, що значно полегшує їх установку.

- Всі моделі стандартно оснащені вбудованим нагрівальним елементом, що забезпечує швидкий вихід на робочу температуру.

1.4.2 Широкосмугові кисневі датчики

Це широкодіапазонні датчики кисню, які можуть вимірювати вміст кисню, як у дуже бідних, так і в надзвичайно багатих паливно-повітряних сумішах. Їхня конструкція складається з двох ключових елементів:

- Вимірювальна комірка (комірка Нернста): як і цирконієві датчики, вона генерує напругу, що залежить від кількості кисню [24].
- Насосна комірка (помпова комірка): через неї проходить електричний струм, який регулює кількість іонів кисню у вимірювальній комірці. Це дозволяє підтримувати постійну опорну напругу, наприклад, 0,45 В, рис. 1.5.

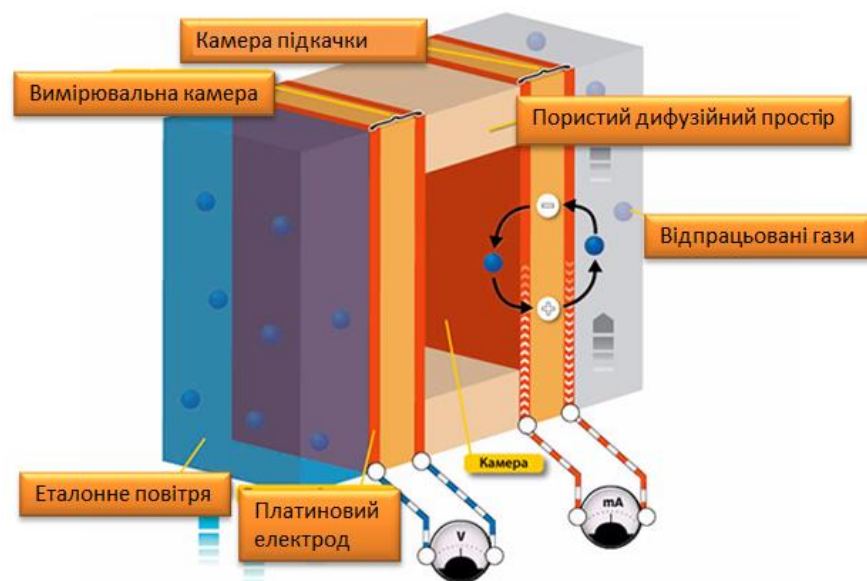


Рисунок 1.5 – Схема роботи широкосмугового датчика кисню.

На відміну від вузькосмугових датчиків, широкосмугові сенсори не мають різких перепадів сигналу. Натомість, електронний блок керування (ЕБК), вимірює силу струму, яка необхідна для підтримки постійної напруги у вимірювальній камері.

- Додатний струм вказує на збіднену суміш, оскільки датчик "викачує" надлишок кисню з камери. Чим вищий струм, тим бідніша суміш.

- Від'ємний струм свідчить про багату суміш, тому що датчик "закачує" кисень у камеру. Чим більше значення струму, тим насиченіша суміш.

Основні характеристики широкосмугових кисневих датчиків:

- Висока точність і швидкість: Ці датчики забезпечують дуже точні та швидкі вимірювання. Це дозволяє електронному блоку керування ефективніше регулювати процес згоряння палива [26].

- Широкий діапазон вимірювання: Вони здатні працювати з будь-якими паливними сумішами — бідними, стехіометричними та багатими. Це особливо важливо для сучасних двигунів, таких як ті, що мають пряме впорскування, системи Lean Burn, а також для дизельних двигунів, рис. 1.6.

- Обов'язковий підігрів: Для роботи датчикам потрібна висока температура (близько 600 °C), тому вони завжди оснащені нагрівальним елементом.

Зазвичай, один широкосмуговий датчик встановлюють перед каталізатором (як передній сенсор), а другий — після нього (задній сенсор). Задній датчик може бути, як широкосмуговим, так і вузькосмуговим і використовується для контролю ефективності каталітичного нейтралізатора.



Жовтий – нагрівальний елемент (-); Синій – Нагрівальний елемент (+);

Білий – I_p (+); Сірий – V_s (+); Чорний – I_p (+), V_s (+).

Рисунок 1.6 – Виводи широкосмугового датчика.

1.5 Особливості, спільні для всіх типів кисневих сенсорів

Всі типи кисневих сенсорів (або лямбда-зондів), мають кілька спільних ключових особливостей, незалежно від їхньої конструкції та принципу дії. Розуміння цих особливостей, є важливим для правильної діагностики та обслуговування системи керування двигуном.

1. Розташування та функції. У сучасних системах керування двигуном, зазвичай використовується два кисневих датчики:

Передній (регулюючий) лямбда-зонд: Завжди розташований перед каталізатором. Його основна функція — вимірювати вміст кисню у вихлопних газах і передавати ці дані електронному блоку керування (ЕБК). На основі цих показань ЕБК постійно коригує склад паливно-повітряної суміші для забезпечення оптимального згоряння.

Задній (діагностичний) лямбда-зонд: Знаходиться після каталізатора. Його завдання — оцінювати ефективність роботи каталітичного нейтралізатора. ЕБК порівнює показання переднього і заднього датчиків. Якщо вони стають схожими, це свідчить про несправність або зниження ефективності каталізатора.

2. Робоча температура та нагрів. Кисневі сенсори потребують високої температури (зазвичай 300-600 °C) для коректної роботи. Тому більшість сучасних датчиків мають вбудований електричний нагрівальний елемент. Це дозволяє сенсорам швидше виходити на робочий режим, особливо при холодному запуску двигуна, забезпечуючи точність вимірювань майже одразу.

3. Умови експлуатації та вразливість до забруднень. Датчики працюють в екстремальних умовах: висока температура та агресивне середовище вихлопних газів, що містять сажу, воду та інші продукти згоряння. Ці фактори призводять до їх поступового зносу.

Особливо чутливі елементи можуть бути пошкоджені або "отруєні" залишками нагару, масла, антифризу, силіконовмісних герметиків або певних

присадок до палива. Це знижує точність їх показань, що призводить до неправильної роботи двигуна, збільшення витрати палива та підвищення викидів.

1.6 Електронні системи в автотранспортних засобах

Термін "Автомобільна електроніка", широко використовується, хоча чіткого визначення ще немає. Загальноприйнято вважати, що це комплексна науково-технічна галузь, що охоплює розробку, виробництво та застосування електронних систем в автомобілях [27].

Сучасна автомобільна електроніка розвивається за двома основними напрямками:

- Удосконалення: покращення існуючих пристроїв та систем.
- Інновації: створення нових функціональних вузлів для автоматизації та механізації.

Завдяки розвитку напівпровідникових та мікроелектронних технологій, вдалося значно модернізувати класичне електрообладнання та розробити нові системи автоматичного керування. Саме ці технології є основою електронного управління в автомобілях.

Автомобільні електронні системи керують неелектричними процесами, за допомогою електронної автоматики. Керуючі сигнали надходять від драйверів, програм, збережених у пам'яті, або зовнішніх факторів.

До складу цих систем входять різноманітні пристрої: електричні, електронні, обчислювальні, механічні, пневматичні, гідравлічні тощо. Всі вони виконують функції, задані електронними системами.

Сьогодні, автомобілі без електронних систем, стають неконкурентоспроможними та сприймаються як застарілі. Розвиток обчислювальної техніки та зростання рівня знань населення, щодо її використання, зробили електроніку невід'ємною частиною автомобіля. Це не просто тенденція, а закономірність, що відображає сучасний технічний

прогрес, рис. 1.7.

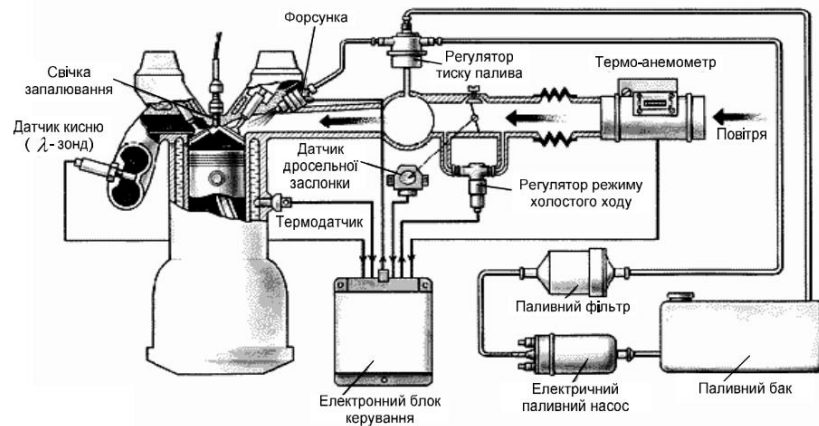


Рисунок 1.7 – Електронна система керування двигуном [25].

Створення та широке впровадження електроніки в автомобілях, були неминучими. Це сталося не лише через суб'єктивні причини, а й завдяки численним об'єктивним перевагам, які вона надає. Електронні системи значно покращують експлуатаційні характеристики автомобіля, підвищуючи його ефективність, безпеку та комфорт.

Електронні системи дозволяють досягти:

- Ефективності: зниження токсичності вихлопних газів, підвищення паливної ефективності та потужності двигуна.
- Безпеки та комфорту: поліпшення керованості, стійкості, гальмівних властивостей, видимості, а також зручності посадки, висадки та загального керування автомобілем. Електроніка також сприяє покращенню прохідності та маневреності.
- Діагностики та обслуговування: більшість сучасних систем мають функцію самодіагностики, що дозволяє швидко виявляти та усувати несправності, відображаючи коди помилок на інформаційному табло. Крім того, ці системи високо надійні та не потребують частого технічного обслуговування.

Електронні системи керування двигуном забезпечують:

- Оптимальний склад паливної суміші: вони створюють ідеальну

робочу суміш для будь-якого режиму роботи двигуна, що покращує його економічні та екологічні показники.

- Оптимізацію запалювання: електронні системи дозволяють збільшити відстань між електродами свічки запалювання на 20–30%, що підвищує напругу у вторинній обмотці. Це сприяє ефективнішому згорянню суміші, збільшенню потужності та полегшенню запуску двигуна.

Відповідно до вище перелічених якісних показників роботи електронних систем управління двигунами внутрішнього згорання, невідємним електронним елементом слугує датчик кількості кисню, що в свою чергу, контролює повноту згорання робочої суміші у циліндрах двигуна.

Тому, наші подальші дії будуть стосуватися досліджень впливу даного датчика, на робочі характеристики бензинового двигуна з електронним керуванням.

Висновки за розділом 1

Проаналізовано науково-технічну літературу, на предмет використання електронних систем управління у двигунах внутрішнього згорання. Зокрема, будови і технічних характеристик сенсорів кисню, що суттєво впливають на формування робочої суміші у циліндрах (за різних умов експлуатації автомобіля).

Детально розглянуто різновиди сенсорів, з'ясовано форму вихідних сигналів та їхні необхідні значення.

Нами доведено, що не до кінця досліджено вплив сенсорів кисню на роботу двигунів внутрішнього згорання в умовах часткових перевантажень. Так, як дані умови, суттєво впливають на амортизаційний період сенсорів кисню.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Тепловий баланс двигуна з електронним управлінням, за некоректної роботи сенсора кисню

Ефективність роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), зокрема якість формування та згоряння робочої суміші, безпосередньо залежить від точної синхронізації всіх процесів. Оптимальне згоряння досягається, завдяки своєчасному впорскуванню палива та коректним моментам відкриття клапанів (для впуску повітря та випуску газів).

Потік повітря, критично необхідний для ефективного змішування з паливом, забезпечується системою повітряної індукції. Центральним елементом контролю в цій системі є дросельна заслінка. Вона змінює своє положення, щоб регулювати обсяг повітря, що надходить у циліндри, дозволяючи таким чином керувати швидкістю та потужністю двигуна.

Ключовим фактором, що забезпечує повноту згоряння, є справність роботи датчика кисню. Проблеми в паливній системі часто спричиняють нагар на свічках запалювання, що збільшує утворення сажі у випускній системі, супроводжуючи накопичення її на робочій поверхні датчика. Такий процес несправності системи, неминуче призводить до несправної роботи датчика кисню та до збільшення витрат палива.

Оцінка теплових втрат

Для оцінки теплових втрат (Q_e), які виникають через нестабільну роботу випускної системи (сенсора кисню), застосовується методика розрахунку теплового балансу сучасного бензинового двигуна. Це дозволяє визначити, як частина загальної теплоти (Q), що виділяється при згорянні, втрачається через несправність вище зазначеного сенсора.

$$Q = Q_n \cdot G_n, \text{ кДж/год} \quad (2.1)$$

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

G_{Π} - годинна витрата палива, кг/год.

Годинна витрата палива розраховується, як добуток ефективної потужності N_e , до питомої витрати палива g

$$G_{\Pi} = N_e \cdot g. \quad (2.2)$$

Тоді Q_e , визначиться:

$$Q_e = 3600 N_e \quad (2.3)$$

А g_e , буде мати вигляд

$$g_e = \frac{Q_e}{Q} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

Теплота, що витрачається у навколишнє середовище Q_B , розраховується за виразом:

$$Q_B = C \cdot i \cdot D^{23} \cdot n^{0,65} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot 3,6, \text{кДж/год} \quad (2.5)$$

де C – коефіцієнт втрат ($C = 0,45 \dots 0,55$) [12];

i – кількість циліндрів;

D – діаметр циліндра, мм;

n – оберти колінчастого валу, об/хв;

α – кое. надлишку повітря.

Теплота g_B (витрачена з системою охолодження), визначиться:

$$g_B = \frac{Q_B}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

Витрати теплоти Q_r , із випускними газами:

$$Q_r = C_p \cdot (T_r - T_{o. c.}) \cdot (G_{\text{пов.}} - G_{\Pi}), \text{кДж/год} \quad (2.7)$$

де C_p – середня теплоємність відпрацьованих газів, $C_p = 1,43$ кДж/кг град;

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

$G_{пов.}$ і $G_{п.}$ – робочий заряд, кг/год.

Кількість впускного повітря $G_{пов.}$ отримаємо за формулою:

$$G_{пов.} = 14,5 \alpha \cdot G_{п.}, \text{ кг/год} \quad (2.8)$$

Приймаємо $G_{п.} = 5,6$ кг/год.

Частку теплоти q_r , у відпрацьованих газах, отримаємо:

$$q_r = \frac{Q_r}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.9)$$

Інші втрати теплоти $Q_{ін.в.}$:

$$Q_{ін.в.} = Q - (Q_e + Q_r + Q_B) \quad (2.10)$$

А, частка $q_{ін.в.}$, визначимо:

$$q_{ін.в.} = \frac{Q_{ін.в.}}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.11)$$

Використання методики розрахунку теплового балансу бензинового двигуна, дозволяє встановити процентне співвідношення теплових витрат, після згоряння паливно-повітряної суміші, у процесі некоректної роботи сенсора кисню.

2.2 Особливості жаростійкої спіралі у сенсорі кисню

На продуктивність (ефективність тепловиділення) нагрівального елементу (нагрівальної спіралі), впливає велика кількість взаємопов'язаних факторів, які можна поділити на дві основні групи: власні характеристики елементу та умови експлуатації.

Власні характеристики елементу. Ці фактори визначаються конструкцією та матеріалами самого нагрівального елементу:

Матеріал спіралі (резистивний матеріал):

- Електричний опір R : Ключовий фактор. Нагрівальний елемент перетворює електричну енергію в теплову відповідно до закону Джоуля-Ленца: $P = V^2 \cdot R = I^2 R$ (де P — потужність, V — напруга, I — струм). Матеріали з високим питомим електричним опором, такі як, ніхром (сплави нікелю та хрому), дозволяють отримати необхідну потужність при менших розмірах.

- Залежність опору від температури: Опір більшості металів зростає з температурою, що впливає на фактичну потужність при робочій температурі.

Геометричні параметри спіралі:

- Довжина L , діаметр дроту d або товщина та ширина стрічки - визначають загальний електричний опір елементу.

- Площа поверхні теплообміну A : Велика площа поверхні сприяє ефективнішій передачі тепла, знижуючи поверхневе навантаження (ват-густину), що важливо для довговічності.

- Потужність (Ват-густина):

- Поверхневе навантаження (ват-густина): Це потужність на одиницю площі поверхні елементу (Вт/см^2). Оптимальна ват-густина забезпечує ефективну тепловіддачу без перегріву спіралі, що може призвести до скорочення терміну служби.

Умови експлуатації та навколишнє середовище.

Ці фактори пов'язані з тим, як елемент використовується і з чим контактує:

- Напруга живлення V : Фактична потужність P прямо пропорційна квадрату напруги $P \propto V^2$. Слід зазначити, що навіть невеликі відхилення напруги, суттєво змінюють теплову потужність.

- Середовище нагрівання:

- Тип теплообміну: Тепло може передаватися теплопровідністю (контакт з твердим тілом), конвекцією (нагрівання рідини або газу) чи випромінюванням.

- Параметри середовища: Швидкість потоку повітря чи рідини, теплоємність, теплопровідність і кінцева температура середовища, яке нагрівається, впливають на інтенсивність відведення тепла. Наприклад, в проточних нагрівачах, збільшення швидкості потоку може підвищити ефективність теплообміну.

- Тепловтрати:

- Ізоляція системи: Втрати тепла в навколишнє середовище знижують загальну ефективність нагріву системи, хоча й не самого елемента.

- Забруднення та накип:

- Накип (у рідинах) або нагар та пил (у повітрі): Будь-які відкладення на поверхні спіралі діють як теплоізолятор, погіршуючи тепловіддачу від спіралі до середовища. Це призводить до перегріву самого елемента, знижуючи його продуктивність та термін служби.

- Робоча температура елемента:

- Чим вища робоча температура, тим вищі тепловтрати випромінюванням та менший термін служби елемента.

2.2.1 Визначення необхідної потужності нагрівального елемента

На початковому етапі, слід задати необхідну теплоту (потужності). Потужність, залежить від об'єму (маси), що нагрівається, різниці температур і часу нагріву.

Для нагрівання повітря чи рідини, використовуємо відому формулу:

$$P = \frac{Q}{t} = c \cdot m \cdot \frac{\Delta T}{\tau} \quad (2.12)$$

Де, P — необхідна потужність нагрівача, Вт;

C - питома теплоємність середовища (для води 4200 Дж/(кг·°C), для повітря 1000 Дж/(кг·°C);

m - маса середовища (кг);

T - різниця температур (°C);

τ - час нагріву, сек.

Слід зазначити, що даний розрахунок не враховує тепловтрати системи (тому, фактична потужність повинна бути на 15-30% вищою).

Так, як об'єм нагрівального простору дачика кисню є надто малим, потужність нагрівального елементу приймаємо 100 Вт.

2.2.2 Розрахунок електричних параметрів

Після визначення необхідної потужності P і знаючи напругу мережі U , слід використати Закон Ома та Закон Джоуля-Ленца.

Опір спіралі (за встановленої робочої температури), визначається за виразом:

$$R = \frac{U^2}{P} \quad (2.13)$$

де, R - необхідний опір нагрівача, Ом;

U — напруга живлення, 12 -14 В;

P — розрахункова потужність, Вт

Довжина дроту, для отримання розрахункового опору R , визначається за формулою опору провідника:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \rightarrow L = \frac{R \cdot S}{\rho} \quad (2.14)$$

де, L - необхідна довжина дроту, м;

ρ — питомий електричний опір матеріалу, Ом мм²/м. Це ключова таблична величина, що залежить від матеріалу (наприклад, для ніхрому Х20Н80 при робочій температурі, $\rho \approx 1,1 - 1,2$ Ом мм²/м);

S — площа поперечного перерізу дроту, мм²;

d — діаметр дроту (мм).

Розрахунок нагрівального елемента (нагрівача) лямбда-зонда (кисневого датчика) зводиться до визначення його опору та споживаної потужності. Мета нагрівача — швидко довести робочу частину датчика (як правило, кераміку на основі діоксиду цирконію) до робочої температури (близько 300 - 600), щоб він почав генерувати точний сигнал одразу після запуску двигуна.

Розраховуємо ключові електричні параметри нагрівального елемента:

Для розрахунків, приймаємо потужність нагрівального елемента $P=15$ Вт (за номінальної напруги 12....14 В.).

Тоді, опір нагрівального елемента розрахуємо за відомою формулою:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{12^2}{15} = 9,6 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Відповідно, споживаний струм від енергомережі автомобіля, визначиться, як:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{9,6} = 1,25 \text{ А} \quad (2.16)$$

Отже, у режимі холостого ходу бензинового двигуна, мінімальне навантаження, на бортову електромережу автомобіля складає близько 1,25 (1,45) А.

Висновки до розділу 2

Розраховано тепловий баланс бензинового двигуна за некоректно працюючого і справного датчика кисню, що дає можливість проаналізувати ефективну теплоту Q_e .

Проведено розрахунок нагрівального елемента датчика кисню, що дозволило визначити номінальне навантаження на бортову електромережу зі сторони роботи датчика (у період прогрівання ДВЗ).

Встановлено, що за більшості випадків роботи ДВЗ, опір нагрівального елемента датчика становить близько 9,6 Ом.

3. МЕТОДИКА, ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив негативних факторів на роботу датчика кисню

Датчик кисню, також відомий як лямбда-зонд, є критично важливим елементом системи керування двигуном, і його робота може бути порушена низкою негативних факторів.

Ось основні негативні фактори, що впливають на роботу датчика кисню:

Експлуатаційні та технічні фактори.

- Забруднення чутливого елемента:
 - Неякісне паливо: Використання бензину з підвищеним вмістом свинцевих сполук, металовмісних присадок (наприклад, фероцену), або інших домішок, призводить до утворення нагару та відкладень на робочій поверхні датчика, блокуючи його здатність реагувати на кисень.
 - Попадання рідин: Витік оливи або антифризу в камеру згоряння (через несправність поршневої групи, прокладки ГБЦ тощо) призводить до забруднення лямбда-зонда.
 - Неправильні герметики: Використання невідповідних силіконових герметиків у випускній системі, може спричинити "отруєння" датчика.
- Термічні навантаження:
 - Перегрів: Несправності в системі запалювання (пропуски запалювання), неправильний кут випередження запалювання або занадто багата суміш, можуть призводити до надмірно високої температури вихлопних газів, що скорочує термін служби датчика.
 - Знос: Ресурсний знос датчика (зазвичай після 60 000 – 100 000 км пробігу) також призводить до погіршення його характеристик.
- Механічні пошкодження:

- Удари: Фізичні удари по корпусу датчика (наприклад, при їзді по бездоріжжю або наїзді на перешкоду) можуть порушити його герметичність або пошкодити внутрішні елементи.

- Неправильний монтаж: Надмірний момент затягування під час встановлення може пошкодити корпус або різьбу.

Електричні Фактори.

- Проблеми з електропроводкою:

- Обрив або коротке замикання: Пошкодження провідників, розплавлення ізоляції від контакту з гарячими елементами вихлопної системи або окислення контактів у роз'ємі, призводять до відсутності сигналу або некоректних показників.

- Відсутність "маси": Корозія вихлопної системи може погіршити контакт "маси".

Вплив систем:живлення та випуску.

- Порушення герметичності вихлопної системи: Просічки або тріщини у випускному колекторі або у вихлопній трубі поблизу датчика, можуть призвести до підсмоктування атмосферного повітря, внаслідок чого, датчик видаватиме неправильні дані про склад суміші.

- Несправності системи живлення: Надмірно багата або бідна паливно-повітряна суміш, спричинена несправністю інших компонентів (наприклад, забитими форсунками або негерметичністю циліндрів), також може призводити до збоїв у роботі лямбда-зонда через некоректний склад газів.

Ознаки несправності лямбда-зонда.

Коли датчик кисню виходить із ладу, це зазвичай проявляється наступними симптомами:

- Збільшення витрати палива.
- Погіршення динаміки автомобіля (погана прийомистість, слабка тяга).
- Нестабільна робота двигуна на холостому ходу або рух ривками.

- Збільшення токсичності вихлопу (зміна запаху або кольору вихлопних газів).
- Загоряння індикатора "Check Engine" на панелі приладів.

Для точної діагностики та визначення причини несправності необхідна комп'ютерна діагностика та перевірка напруги лямбда-зонда.

3.2 Обладнання для дослідження

Найпростіший варіант визначення справності нагрівального елементу датчика кисню, це використання мультиметра (для визначення опору нагрівального елементу), рис. 3.1



Рисунок 3.1 – Визначення опору нагрівального елементу сенсора кисню

Вимірювання опору нагрівального елементу датчика кисню BOSH між двома білими провідниками: 9,4 Ом.

3.2.1 Комп'ютерне діагностичне обладнання

Для швидкого виявлення несправностей у роботі системи випуску бензинового двигуна, було застосовано діагностичний сканер «XTY DIAG» разом із програмним забезпеченням «Ovren-Diag».

На рис. 3.2 наведено діагностичне обладнання та розташування сенсора кисню у сучасному інжекторному двигуні.



Рисунок 3.2 – Розміщення сенсора кисню та комп'ютерне діагностичне обладнання.

Вихідна напруга двоелектродного датчика кисню, добре узгоджується з відносним вмістом кисню у вихлопних газах та в атмосфері. Проте, залежність напруги від концентрації кисню є нелінійною величиною. Датчик має найбільшу чутливість у зоні оптимального співвідношення повітря й палива, коли навіть незначні зміни суміші спричиняють суттєві коливання напруги. Якщо ж суміш занадто збіднена або збагачена, чутливість суттєво зменшується. Низькі значення напруги, свідчать про високий вміст кисню:

- вихід 0,1–0,4 В означає збіднену суміш;
- 0,6–1,0 В відповідає збагаченій.

За напруги приблизно 0,45 В досягається оптимальне співвідношення повітря та палива.

3.3 Методика та результати діагностики випускної системи двигуна з електронним керуванням

Перед проведенням комп'ютерної діагностики автомобіля, необхідно встановити, який саме тип контролера використовується. Після цього, слід обрати відповідний діагностичний адаптер і програмне забезпечення (для підключення до бортової електромережі транспортного засобу).

У подальшому, на моніторі комп'ютера відкриється вікно з переліком параметрів роботи двигуна внутрішнього згоряння. Особливу увагу слід звернути на значення вихідних сигналів виконавчих електронних елементів системи випуску, оскільки було зафіксовано нестійку роботу двигуна на холостому ходу, що супроводжувалася жорсткою та нерівномірною роботою (підтроюванням). Це вказує на недостатнє згоряння паливоповітряної суміші в циліндрах.

Поява на табло панелі приладів «Check Engine» (за визначення програмним продуктом) вибиває коди помилок, рис. 3.3.

ЕБК двигуна (ЕСМ)			
Код	опис	М	А
P0131	Низька напруга кола датчика 02		●
P0134	Ланцюг кисневого датчика 02; не знайдена активність		●
P0171	Паливна суміш занадто бідна		●

Рисунок 3.3 – Коды помилок, під час використання діагностичного комп'ютерного обладнання.

Аналізуючи коди помилок, необхідно дослідити, протягом якого час супроводжувалася негативна робота бензинового двигуна. Із розмови експлуатаційника, було отримано інформацію про використання неякісного палива та пробіг автомобіля складав близько 300 км.

Отже, неякісне паливо привело до збільшеної концентрації сажових відкладень на робочій поверхні давача кисню та свічках запалювання.

Нами представлено інтерфейс програмного забезпечення «Ovren-Diag», де відображається кількість пропусків займання у кожному циліндрі. У наведеному прикладі, проаналізовано роботу справного бензинового двигуна, в якому відсутні пропуски займання. Це свідчить про належний стан системи запалювання, рис. 3.4.

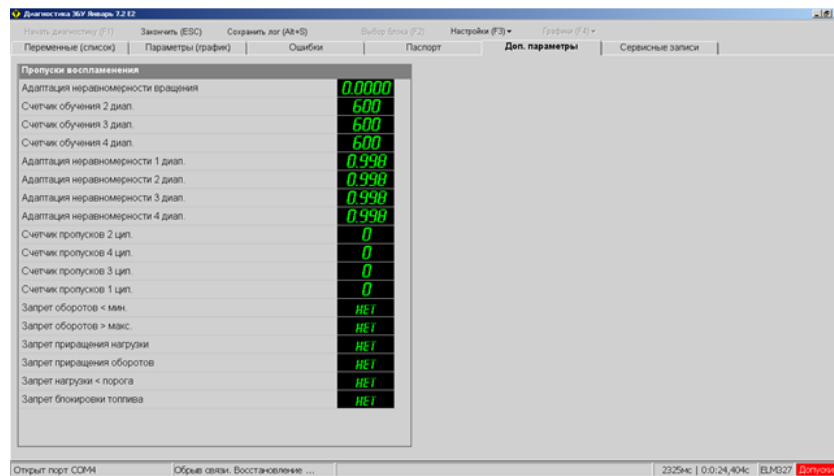


Рисунок 3.4 – Кількість пропусків по циліндрах, за використання діагностичного сканера.

Інший етап наших досліджень стосувався бензинового двигуна, що експлуатувався на неякісному паливі.

Під час роботи автомобіля, спостерігалася нестабільна робота двигуна на холостому ході, що супроводжувалася періодичним «підтроюванням». Із підвищенням частоти обертів колінчастого валу, ці небажані прояви зникали. Крім того, зниження ефективності роботи двигуна (втрата потужності) спостерігалася під час рівномірного руху, після чого через певний час на панелі приладів загорявся індикатор «Check».

Використання діагностичного сканера, дало змогу нам отримати наступні значення роботи циліндрів, рис. 3.5.

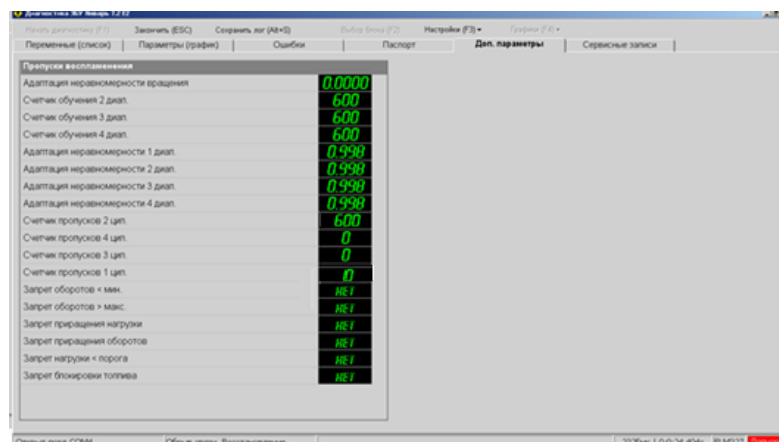


Рисунок 3.5 – Результати комп'ютерної діагностики двигуна за використання неякісного палива (пробіг 300 км).

Аналіз отриманих за допомогою сканера даних роботи циліндрів, виявив значну кількість пропусків запалювання у другому циліндрі (частота яких становить близько 600 п/с). Такий результат свідчить про ймовірне закіпчення свічок запалювання та у подальшову несправну роботу датчика кисню, що спричиняє аварійну роботу ЕБУ(тобто фіксує підвищений рівень вмісту кисню у відпрацьованих газах).

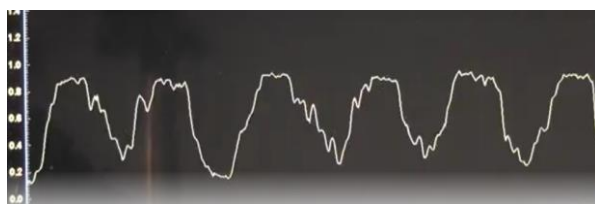
Відповідно, зв'язок роботи динамічного формування робочої суміші у циліндрах двигуна, привів до необхідності використання осцилографу, для визначення значення і форми вихідних електричних сигналів цирконієвого кисневого датчика, рис. 3.6.



(процес прогрівання)



(початок роботи датчика кисню)



(закіпчення робочої поверхні датчика)



(відсутній вихідний сигнал до ЕБУ)

Рисунок 3.6 – Осцилограми вихідних сигналів датчика кисню.

Проаналізувавши форми і значення сигналів цирконієвого датчика, можна цілком зтверджувати, що неякісна робота бензинового двигуна,

пов'язана, за некоректності формування робочої суміші та у добавок, підвищеною подачею палива (причиною якої, є постійно занижені значення показів датчика).

Отже: коректне співвідношення палива і повітря, гарантує мінімальне споживання палива при заданій потужності а екологічні показники - забезпечуються оптимальним згорянням (що мінімізує викиди шкідливих речовин: вуглеводнів, оксидів азоту та чадного газу та забезпечує ефективну роботу каталітичного нейтралізатора).

3.4 Наслідки несправності датчика кисню

Несправний або "лінивий" (повільний) датчик кисню передає неправильні або запізнілі дані до ЕБК, що призводить до серйозних проблем. ЕБК, не маючи достовірної інформації, часто переходить в аварійний режим роботи, табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Наслідки несправності датчика кисню

Характеристика	Наслідок несправності	Причина
Витрата палива	Значне збільшення (іноді до 10-50%).	ЕБК отримує сигнал про "бідну" суміш (або ігнорує несправний датчик) і збагачує її, подаючи зайве паливо.
Потужність і динаміка	Втрата потужності, погіршення динаміки, "смикання" автомобіля під час прискорень.	Неправильно сформована суміш, призводить до неповного згоряння палива і, як наслідок- до зниження ефективності двигуна.
Робота на холостому ходу	Нестабільні оберти, "плавання" обертів, можливе вимикання двигуна.	Некоректні короткострокові та довгострокові паливні корекції.
Каталітичний нейтралізатор	Перегрів та передчасний вихід з ладу.	Надлишок незгорілого палива потрапляє у каталізатор (де згорає), викликаючи різке зростання температури.
Токсичність вихлопу	Різке збільшення токсичних викидів.	Суміш або занадто багата, або занадто бідна, що порушує роботу каталізатора та підвищує вміст СО та вуглеводнів у вихлопних газах.

Аналізуючи вище представлені осцилограми, можна із впевненістю сказати, що під час використання неякісного чи низькооктанового палива, перш за все страждають свічки запалювання та якісна робота сенсора кисню (зменшується роботоздатність до 30000/100000 км пробігу). За таких умов експлуатації автомобіля: втрачається потужність двигуна, підвищуються викиди отруйних речовин, погіршується динаміка руху автомобіля (пропуски запалювання), знижується амортизаційний період двигуна.

3.5 Результати теплового балансу за некоректної роботи датчика кисню

Згідно з методикою (див. розділ 2), було виконано розрахунок теплового балансу інжекторного бензинового двигуна, у результаті якого отримано показники, що свідчать про некоректну роботу датчика кисню. Це також підтверджується спрацьовуванням індикатора «Check» на панелі приладів.

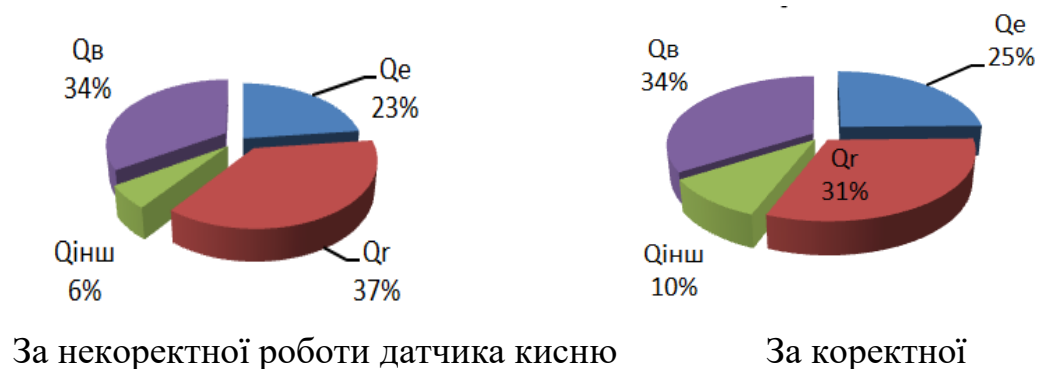


Рисунок 3.1 – Тепловий баланс двигуна.

Аналіз діаграм теплового балансу бензинового двигуна показав, що при некоректній роботі датчика кисню, ефективна теплота становила близько 23%. У разі справної його роботи, це значення зросло на 2% (завдяки більш повному згорянню паливно-повітряної суміші).

Висновки до розділу 3

Відповідно до результатів розрахунку теплового балансу, втрати ефективної теплоти Q_e становили 23%. Причиною цього стала некоректна робота датчика кисню, що призвела до аварійної роботи електронного блоку управління двигуном.

Відповідно, отримано підвищені витрати палива та зниження повноти його згоряння.

Застосування сучасного комп'ютерного діагностичного обладнання, дало змогу оцінити вплив датчика кисню на робочі параметри бензинового двигуна (зокрема нестабільність обертів, зниження потужності та появу індикатора «Check» на панелі приладів):

- за несправного датчика кисню, почергово спостерігалися пропуски у 1 – му і 2 - му циліндрах (кількість пропусків становила 600 п/сек.);
- за допомогою електронного осцилографу, було досліджено форму і значення вихідних сигналів датчика кисню:
 - у процесі прогрівання, спостерігалася пряма лінія із значенням 0,4 В;
 - в період початку роботи сенсора, вихідні сигнали набули більш пологової синусоїдної форми із варюванням значень 0,4 – 0,7 В;
 - за прогрітого двигуна 60°C, значення досягли норми 0,1 – 0,8 В, але форма синусоїди набула зубоподібного вигляду (що пояснюється суттєвим закіпченням робочої поверхні датчика);
 - із появою «Check» на панелі приладів, вихідний сигнал набув форми прямої лінії із стабільним значенням 0,1 В.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Небезпечні ситуації

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]:

- 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.

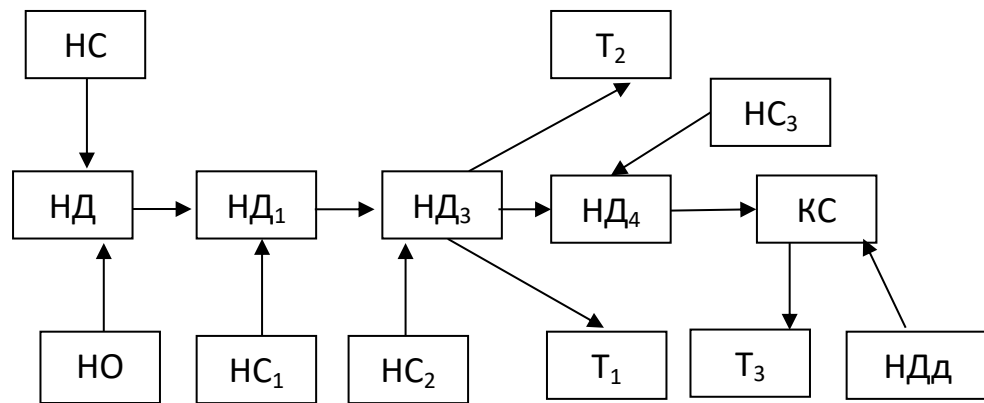
Відповідно, з впровадженням стандартів OBD-II та EOBD, процес діагностики ЕБУ автомобіля уніфікується. На вимогу цих стандартів, одне діагностичне обладнання можна використовувати для тестування автомобілів різних марок. Основною відмінністю стандарту EOBD від OBD-II, є закріплення в наборі його протоколів 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 проведення комп'ютерної діагностики електронного блоку керування сучасним двигуном, рис, 4.1.



HD – відкриття капоту; HC – можливе падіння капоту під час проведення ТО; NO₁ – наявність незначного схилу; HD₁ – зняття заглушки із роз'єму; HC₁ – можливе побиття кінцівок рук; HD₃ – встановлення вилки із адаптера у діагностичний роз'єм; HC₂ – можливе падіння капота та побиття кісті рук; T₁ – травма пальців; T₂ – побиття ліктів рук; HD₄ – фіксація регулювальної шторки; HC₃ – небажане склеювання пальців в умовах низьких температур навколишнього середовища; T₃ – пошкодження пушок пальців рук; KS – защемлення кінцівок; HDд – необхідна допомога іншої особи

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

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 50x20x8 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. 4.2) 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.

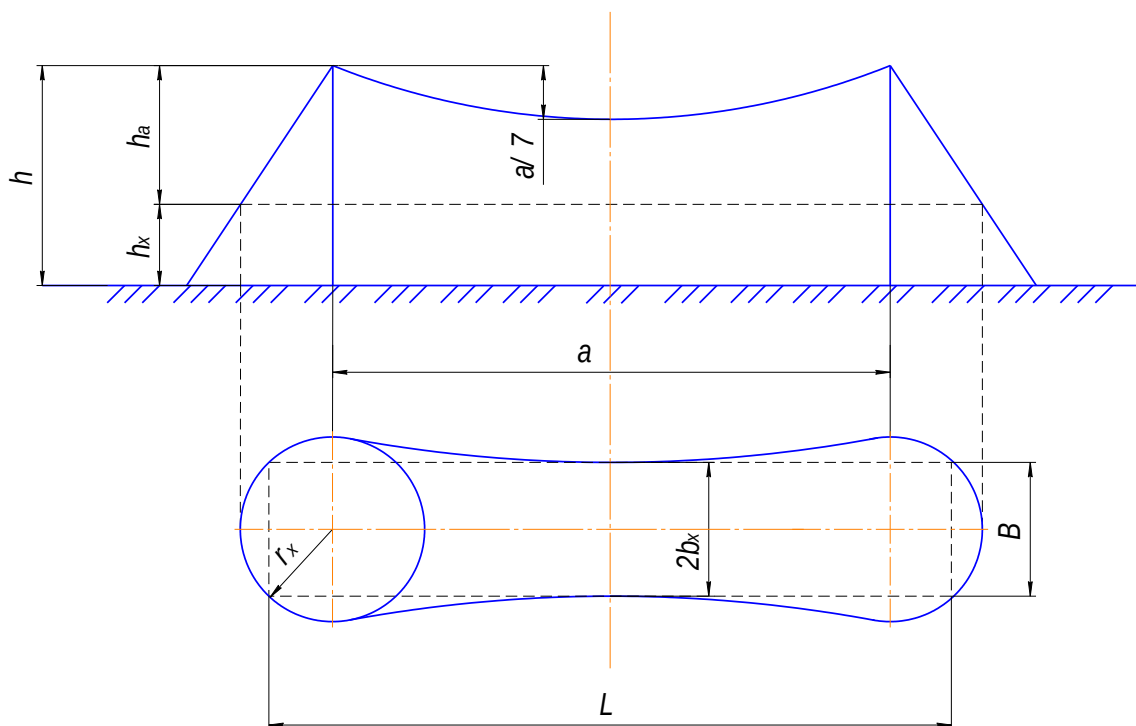


Рисунок 4.2 - Схема блискавкового захисту лабораторії з випробування автомобілів

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

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

Охорона довкілля - це система заходів, направлених на підтримання раціональної взаємодії між діяльністю людини і навколишнім середовищем: зберігання і відновлення природних багатств та розумне їх використання. Все це робиться в інтересах сьогоденних і майбутніх поколінь людей. Ці заходи повинні науково обґрунтовуватись і можуть здійснюватись на різних рівнях; міжнародному, державному, відомчому, виробничому, суспільному та індивідуальному.

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)[1]. 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

Безпечне виконання робіт під час технічної та комп'ютерної діагностики автомобілів, значною мірою визначається такими факторами:

- справною роботою вентиляційної системи та ефективним видаленням шкідливих речовин, що утворюються під час проведення діагностичних операцій;
- належним рівнем підготовки персоналу щодо дотримання правил безпеки під час виконання діагностичних робіт;
- технічно справним станом обладнання, яке застосовується для діагностики;
- наявністю наочних інформаційних матеріалів, що попереджають про можливі небезпечні ситуації під час діагностики;
- проведеними розрахунками пожежної безпеки приміщення, у якому здійснюються ремонтні роботи, а також наявністю системи громозахисту із зоною дії радіусом близько 27,40 м.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Дослідження експлуатаційних витрат

Бортова електронна система легкового автомобіля спричинила процес підвищення коефіцієнта корисної енергії двигуна, що оптимізує всі процеси двигуна, та дозволяє само діагностуватися.

Інженерами дослідниками, розроблене обладнання для сканування роботи ЕБУ, що сприяє у найкоротші строки відновити роботу будь якого механізму, який відмовив чи не забезпечує якісну роботу ДВЗ.

Відповідно, за умови використання діагностичного обладнання, для оперативного виявлення недоліків роботи випускної системи, і завчасного її налагодження, можна дослідити економічні втрати автомобіля.

І тому, затрати на експлуатацію автомобіля будуть мати вигляд [15]:

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

де Z_n – витрати на паливе;

$Z_{зм}$ – витрати на змащувальні матеріали, $Z_{зм} = 0,1$ грн/км;

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

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

$Z_{ш}$ – витрати на шини, $Z_{ш} = 0,6$ грн/км;

$Z_{зн}$ – витрати на заробітну плату водія, $Z_{зн} = 5,5$ грн.

Грошові витрати на придбання пального (для несправної і справної систем випуску) визначаємо за відомою формулою

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

де, $C_n^{\bar{}}$ – вартість палива, $C_n^{\bar{}} = 54,00$ грн/л;

g – витрата палива (з справною системою), $g = 6,5$ л/100 км.

Тоді:

$$Z_n^{\bar{}} = \frac{54 \cdot 6,5}{100} = 3,51 \text{ грн./км}$$

А з несправною системою:

$$З_{\Pi}^6 = \frac{54 \cdot 9,7}{100} = 5,2 \text{ грн./км} \quad 6.3$$

де, $g_{\Pi.П}$ – витрата палива з несправною системою, $g_{\Pi.П} = 9,7$ л/100 км.

Розрахунки показують, що витрати на придбання палива (для дослідного автомобіля з неякісно працюючою системою) є завищені.

Дальше, визначаємо 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 справною і несправною системою, $N_{тр} = 55,1$ грн./1000 км.

$$З_{тр} = 55,1 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,0551 \text{ грн/км}$$

Витрати на амортизаційні відрахування:

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

де, $Ц$ – балансова вартість автомобіля, $Ц = 105200$ грн.;

$A_{\text{в}}$ – нормативні амортизаційні відрахування, $A_{\text{в}} = 0,21$;

l_p – річний пробіг, приймаємо $l_p = 30000$ км;

$A_{\text{кап.р}}$ – нормативні відрахування на капітальний ремонт, $A_{\text{кап.р}} = 0,11$

$$З_{аморт.} = \frac{105200 \cdot 30000 \cdot 0,21}{10^5} + \frac{105200 \cdot 30000 \cdot 0,11}{10^5} = 6727,6 + 3471,6 = 10199,20 \text{ грн.}$$

Згідно виразу (6.1), отримаємо:

- з справною системою

$$З = 3,6 + 0,2 + 0,0551 + 0,40 + 0,7 + 7,5 = 12,55 \text{ грн/км};$$

- з несправною

$$З = 5,2 + 0,2 + 0,0551 + 0,40 + 0,7 + 7,5 = 14,06 \text{ грн/км.}$$

А за річний пробіг витрати будуть становити:

- з справною

$$З_{\text{д}} = 12,55 \cdot 30000 = 376500 \text{ грн./рік};$$

- несправною

$$З_{\text{д}} = 14,06 \cdot 30000 = 420000 \text{ грн./рік.}$$

Отже, річні втрати від несправної системи можуть складати:

$$E = 420000 - 376500 = 43500,00 \text{ грн./рік}$$

Висновки до розділу 5

Збільшені витрати палива були зумовлені некоректною роботою системи випуску, причиною якої, стало використання неякісного палива (неналежної марки). А це може призвести до додаткових щорічних економічних втрат у розмірі близько 43500,00 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проаналізовано науково-технічну літературу, на предмет використання електронних систем управління у двигунах внутрішнього згоряння та зокрема, будову і технічні характеристики сенсорів кисню, що суттєво впливають на формування робочої суміші у циліндрах (за різних умов експлуатації автомобіля).

Детально розглянуто різновиди сенсорів, з'ясовано форму вихідних сигналів та їхні необхідні значення.

Нами з'ясовано, що не до кінця досліджено вплив сенсорів кисню на роботу ДВЗ в умовах часткових перевантажень, так, як дані умови, суттєво впливають на амортизаційний період сенсорів кисню.

Представлено методику розрахунку теплового балансу бензинового двигуна за некоректно працюючого і справного датчика кисню, що дає можливість проаналізувати ефективну теплоту Q_e .

Проведено розрахунок нагрівального елемента датчика кисню, що дозволило визначити номінальне навантаження на бортову електромережу зі сторони роботи датчика (у період прогрівання), що становить 1,2...1,5 А.

Встановлено, що за більшості випадків роботи двигуна внутрішнього згоряння, опір нагрівального елемента датчика становить близько 9,6 Ом.

Відповідно до результатів розрахунку теплового балансу, втрати ефективної теплоти Q_e становили 23%. Відповідно, отримано підвищені витрати палива та зниження повноти його згоряння.

Застосування сучасного комп'ютерного діагностичного обладнання, дало змогу оцінити вплив датчика кисню на робочі параметри бензинового двигуна (зокрема нестабільність обертів, зниження потужності та появу індикатора «Check» на панелі приладів):

- за несправного датчика кисню, спостерігалися пропуски у 1 – му і 2 – му циліндрах (кількість пропусків становила 600 п/сек.);

- за допомогою електронного осцилографу, було досліджено форму і значення вихідних сигналів датчика:

- у процесі прогрівання, спостерігалася пряма лінія із значенням 0,4 В;
- в період початку роботи сенсора, вихідні сигнали набули більш пологової синусоїдної форми із варюванням значень 0,4 – 0,7 В;

- за прогрітого двигуна 60°C, значення досягли норми 0,1 – 0,8 В, але форма синусоїди набула зубоподібного вигляду (що пояснюється суттєвим закіпченням робочої поверхні датчика);

- із появою «Check» на панелі приладів, вихідний сигнал набув форми прямої лінії із стабільним значенням 0,1 В.

Безпечне виконання робіт під час технічної та комп'ютерної діагностики автомобілів, значною мірою визначається такими факторами:

- справною роботою вентиляційної системи та ефективним видаленням шкідливих речовин, що утворюються під час проведення діагностичних операцій;

- належним рівнем підготовки персоналу щодо дотримання правил безпеки під час виконання діагностичних робіт;

- проведеними розрахунками пожежної безпеки приміщення, у якому здійснюються ремонтні роботи, а також наявністю системи громозахисту із зоною дії радіусом близько 27,40 м.

Збільшення витрати палива було зумовлене, некоректною роботою системи випуску, причиною якої стало використання неякісного палива неналежної марки. А це може призвести до додаткових щорічних економічних втрат у розмірі близько 43500,00 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 згорання : [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. 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.

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

17. 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>.

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

19. 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.

20. Яким Р. С. Приводи транспортних машин: навчальний посібник. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2020, 240 с.

21. 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.

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

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

24. Оборський Г.О., Максимов В.Г., Ніцевич О.Д. та інші. Діагностування електронних систем автомобіля (базовий прилад - тестер KTS 570) : метод. посіб. за ред. О.Ф. Дашенко: Наука і техніка, 2012, 186с.

25. 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.

26. 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.

27. 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.