



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ
ТА ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Дослідження шляхів діагностування каталітичних нейтралізаторів
автомобільних систем випуску у ДП «Кіровоградський облавтодор» ВАТ ДАК
«Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградська ДЕД» м.
Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи АТ-23М Дмитро СКРИПНИК
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Михайло КРАСОТА
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація
та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

_____ Скрипнику Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження шляхів діагностування каталітичних
нейтралізаторів автомобільних систем випуску у ДП «Кіровоградський
облавтодор» ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградська
ДЕД» м. Кропивницький»

керівник роботи Красота Михайло Віталійович, канд. техн. наук. доц., _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 20__ року
№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації,
патенти, _____ нормативні акти з технічного обслуговування
автомобілів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити) _____

4.1 Розділ 1 Аналіз виробничої діяльності бази переддипломної практики

4.2 Розділ 2 Дослідження за тематикою магістерської роботи

4.3 Розділ 3 Методика та результати експериментальних досліджень

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт та задачі досліджень; 2. Аналіз дефектів каталітичних нейтралізаторів; 3. Відомі методи діагностування каталітичних нейтралізаторів; 4. Методика та обладнання проведення досліджень; 5. Результати експериментальних досліджень.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	25.10.2024	
2	Розділ 2	15.11.2024	
3	Розділ 3	5.12.2024	
4	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	
5			

Магістрант _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Реферат

Магістерська робота виконана на базі підприємства ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» ДП «Кіровоградський облавтодор» філії «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький.

Робота складається з 59 аркушів пояснювальної записки, яка включає 3 розділи, ілюстративний матеріал.

В кваліфікаційній роботі розглянуто конструктивні особливості основних типів каталітичних нейтралізаторів, процеси функціонування та основні несправності, які можуть виникати при їх роботі. Проаналізовано способи діагностування каталітичних нейтралізаторів, що використовуються на даний момент в сервісі автомобілів.

В роботі запропоновано метод оцінки технічного стану каталітичного нейтралізатора за результатами індивідуального аналізу проб відпрацьованих газів та засоби контролю.

Встановлено, що достовірний контроль стану каталітичного нейтралізатора в експлуатації можливий за одночасної оцінки не менше трьох вихідних параметрів. Тривимірні поверхні та рівняння регресії, що описують ці поверхні, дозволяють з високою точністю визначити взаємозв'язки складу відпрацьованих газів та частоти обертання ДВЗ з технічним станом каталітичного нейтралізатора.

Об'єкт дослідження - процес зміни технічного стану каталітичного нейтралізатора системи випуску автомобіля із двигуном внутрішнього згоряння.

Предмет дослідження - закономірності зміни показників токсичності відпрацьованих газів ДВЗ залежно від технічного стану каталітичного нейтралізатора.

Мета дослідження - забезпечення екологічних показників ДВЗ в експлуатації за рахунок підтримки працездатності систем випуску на основі підвищення достовірності діагностування її елементів використанням методу аналізу відпрацьованих газів.

Зміст

Вступ	
1. Аналіз діяльності підприємства бази-практики.....	
1.1 Загальні відомості про підприємство.....	
1.2. Структура підприємства -бази практики.....	
2. Аналіз стану питання.....	
2.1 Конструкції каталітичних нейтралізаторів.....	
2.2 Процеси зношування та основні несправності каталітичних нейтралізаторів	
2.3 Методи діагностування каталітичних нейтралізаторів.....	
3. Результати досліджень.....	
3.1 Дослідження ділянок падіння тиску в каталітичному нейтралізаторі.....	
3.2 Обґрунтування режимів роботи двигуна при діагностуванні каталітичного нейтралізатора.....	
3.3 Методика експериментальних досліджень, обладнання та прилади для виконання досліджень	
3.4 Результати експериментальних досліджень.....	
Висновки.....	
Список використаної літератури.....	

Вступ

Актуальність теми. У сучасних умовах галузі експлуатації автомобільного транспорту на першому плані висувуються завдання, пов'язані з розробкою, підтримкою та збереженням працездатності систем контролю екологічних та експлуатаційних параметрів сучасних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Основні напрями забезпечення необхідного технічного стану ДВЗ в експлуатації включають удосконалення та створення принципово нових систем та вузлів дезактивації токсичних компонентів вихлопу, розробку засобів та методів діагностування систем зниження токсичності газів, що відпрацювали.

При експлуатації систем ДВЗ виникають відмови, які характеризуються новими діагностичними ознаками, невідомими у практиці діагностування. Внаслідок цього виникають невизначеності при встановленні стану системи нейтралізації відпрацьованих газів та причин виникнення несправностей, які значно впливають на економічність транспортних засобів. Розкрити невизначеність дозволяє дослідження та розробка нових засобів та методів оцінки їх технічного стану. Одним із таких методів є використання оціночних параметрів процесу газообміну для пошуку та усунення несправностей елементів цих систем у ДВЗ, що визначають можливість досягнення підвищеного екологічного класу транспортних засобів в умовах реальної експлуатації.

У зв'язку з цим розробка методу діагностування каталітичних нейтралізаторів ДВЗ, що базується, зокрема, на аналізі складу та вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах, безперечно, актуальна.

Об'єкт дослідження - процес зміни технічного стану каталітичного нейтралізатора системи випуску автомобіля із двигуном внутрішнього згоряння.

Предмет дослідження - закономірності зміни показників токсичності відпрацьованих газів ДВЗ залежно від технічного стану каталітичного нейтралізатора.

Мета дослідження - забезпечення екологічних показників ДВЗ в експлуатації за рахунок підтримки працездатності систем випуску на основі

підвищення достовірності діагностування її елементів використанням методу аналізу відпрацьованих газів.

Завдання дослідження:

1) виконати аналіз відомих методів оцінки технічного стану систем випуску та нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ з іскровим запалюванням;

2) експериментально дослідити закономірності зміни перепаду тиску на каталітичному нейтралізаторі, складу відпрацьованих газів залежно від опору каталітичного нейтралізатора;

3) розробити методику оцінки технічного стану каталітичного нейтралізатора на основі аналізу складу відпрацьованих газів в окремих циліндрах та дати техніко-економічну оцінку її застосування.

Наукова новизна та положення, що висувуються для публічного захисту:

1) встановлено залежності параметрів складу та вмісту газів, що відпрацьовали, при селективному методі відбору проб відпрацьованих газів від технічного стану елементів систем випуску ДВЗ;

2) отримані результати експериментальних досліджень складу відпрацьованих газів ДВЗ у вигляді таблиць ідентифікації технічного стану каталітичного нейтралізатора;

3) розроблено методологію комплексного визначення технічного стану каталітичного нейтралізатора автомобілів, що відрізняється застосуванням селективного методу відбору проби відпрацьованих газів; обґрунтовано діагностичні параметри та режими для оцінки технічного стану елементів системи випуску в ДВЗ;

Практична цінність роботи:

Запропоновано методику підвищення ефективності та достовірності діагностування технічного стану системи випуску шляхом вдосконалення методів та засобів індивідуального газоаналізу відпрацьованих газів.

1. Аналіз діяльності підприємства бази-практики

1.1 Загальні відомості про підприємство

«Кіровоградська дорожня експлуатаційна діляниця була організована як відокремлений структурний підрозділ дочірнього підприємства (ДП) «Кіровоградський облавтодор» відкритого акціонерного товариства Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України» за наказом наказу Державної служби автомобільних доріг України від 17.08.2004р. No 114» [1].

«Кіровоградська дорожньо-експлуатаційна діляниця організована для виконання економічних інтересів та відповідно до потреб держави, населення регіону та розвитку країни шляхом покращення і розвитку мережі автомобільних доріг загального користування, покращення можливостей економічного та соціального розвитку виробничого сектору економіки регіону, покращення ефективності застосування матеріальних, фінансових та інших ресурсів та ґрунтується на спільній діяльності, розподілу праці і кооперації.

На сьогодні підрозділ «Кіровоградська ДЕД» дочірнього підприємства «Кіровоградський облавтодор» ВАТ державної акціонерної компанії «Автомобільні дороги України» здійснює такі наступні напрямки діяльності:

- здійснення робіт на замовлення Служби автомобільних доріг у Кіровоградській області, зокрема: експлуатація, утримання та повний (капітальний) та частковий (поточний) ремонт автомобільних шляхів загального користування» [1].

«Комплекс доріг які обслуговуються підрозділом, сягає 190,2 кілометри. Зокрема:

- автомобільна дорога Н-14 «Олександрівка-Кіровоград-Миколаїв» км 70+362 - км 153+196-82,8 кілометри;

- автомобільна дорога Н-14-1 «Південний обхід» м. Кіровоград км 0+000 - км 25+580 – 25 кілометри;

-автомобільна дорога Н-23 «Кіровоград-Кривий Ріг-Запоріжжя» км 0+000 - км 81+735 - 81,7 кілометри.

На балансі підрозділу є в наявності асфальтобетонний завод у с. Куцівка Новгородківського району Кіровоградської області.

Виробнича потужність підприємства по випуску асфальтобетонної продукції та гранітного щебеню складає близько 10000 тон.

З листопада 2008 року було введено в експлуатацію мобільний ваговий комплекс (ППВК) для встановлення ваги наднормативних транспортних засобів.

Вимірювання ваги проводяться на території всієї Кіровоградської області» [1].

1.2. Структура підприємства - бази практики.

«Основним структурним підрозділом підприємства виконується завдання по задоволенню економічних інтересів та забезпеченню потреб нашої держави, населення області та оборони країни в цілому, а також в підвищенні розвитку та поширенні автомобільних доріг загального користування, збільшення можливостей економічного та соціального розвитку підприємства бази-практики, збільшення ефективності застосування матеріальних, фінансових та людських ресурсів на базі спільної їх діяльності, виконання розподілу праці та кооперації. З цією метою підрозділ здійснює впровадження та виконання відповідних державних програм» [1].

«На даному етапі розвитку підприємства виробничі потужності використовуються лише на 70 %. Це пояснюється економічним спадом в регіоні і зростаючою конкуренцією з боку малих підприємств, що спеціалізуються на виконанні окремих видів технічних обслуговувань та ремонтів транспортних засобів. Керівництво «Кіровоградська ДЕД» проводить ряд заходів які мають на меті покращення якості обслуговування і ремонту мережі автомобільних доріг індивідуальних користувачів і організацій міста» [1].

«Кіровоградська ДЕД» виконує будівництво, ремонт та експлуатацію автомобільних доріг загального користування, забезпечує виконання окремих державних програм.

Основними видами виробничої діяльності підприємства є:

- здійснення робіт з будівництва, перебудови, ремонту та експлуатації автомобільних доріг, мостів, тунелів, інших споруд та елементів облаштування доріг;

- дотримання стабільної роботи на автомобільних шляхах в умовах виникнення стихійного лиха, аварії чи катастрофи і усунення їхніх наслідків;

- розбудова промисловості та виготовлення будівельних, дорожньо-будівельних матеріалів і елементів конструкцій, інших видів виробів, які потрібні для будівництва та виконання ремонту автомобільних шляхів і інфраструктурних споруд на них;

- розбудова родовищ по видобутку будівельних матеріалів, переробка гірських порід, виробництво готових будівельних матеріалів;

- здійснення підготовки та виконання розкривних робіт, виконання буріння;

- виготовлення товарів народного вжитку;

- придбання, доставка та продаж продукції, будівельних матеріалів і енергоносіїв;

- здійснення автомобільних перевезень вантажів і пасажирів як в межах території України, так і за її кордонами;

- організація і покращення мережі інфраструктурних об'єктів дорожнього сервісу;

- технічне обслуговування та ремонт шляхової будівельної техніки і автотранспортних засобів;

- виробництво дорожніх знаків, різних типів інформаційних та рекламних білбордів, знаків з інформації з техніки безпеки, невеликих архітектурних форм;

- організація роботи системи інформаційного забезпечення на

автомобільних шляхах;

- виготовлення і продаж сільськогосподарської продукції;
- здійснення бартерних, клірингових та лізингових операцій;
- виконання правових, аудиторських та консультаційних послуг;
- здійснення діяльності у галузі маркетингу, а також надання посередницьких, транспортно-складських та експедиційних послуг;
- обслуговування та утримання комп'ютерних мереж та їх розміщення на будівельних конструкціях;
- інженерно-геологічні, топо-геодезичні та інженерно-гідрометеорологічні роботи;
- здійснення фінансового та економічного аналізу виробничої діяльності;
- надання послуг по складанню проектно-кошторичної документації;
- здійснення наукових, а також науково-дослідних робіт, виконання проектного вишукування та дослідно-конструкторських робіт, виконання інженерно та економіко-консультаційних видів послуг;
- здійснення зовнішньо-економічної діяльності;
- забезпечення покриття і страхування ризику робітників на будівництві та ремонті автомобільних шляхів загального користування;
- виконання будівництва об'єктів соціально-побутової сфери діяльності, здійснення житлово-комунальних послуг;
- забезпечення природоохоронних видів діяльності, які мають на меті зниження негативної дії шкідливих факторів виробництва на природне середовище, впливу на здоров'я і майно людей;
- здійснення ринкової оцінки об'єктів нерухомості, промислового обладнання та автотранспортних засобів;
- виконання охороні послугів при виконанні вантажних перевезень;
- здійснення інших функцій, пов'язаних з реалізацією покладених на нього завдань, які не суперечать чинному законодавству.

До складу «Кіровоградська ДЕД» входять підрозділи, окрім дільниці, невеликі

виробництва, будівлі ремонтно-механічної майстерні та інші дільниці» [1].

2. Аналіз стану питання

2.1 Конструкції каталітичних нейтралізаторів

Каталітична нейтралізація газів, що відпрацювали, заснована на підвищенні швидкості протікання хімічних процесів за рахунок використання спеціальних каталізаторів. При проходженні газів уздовж поверхонь, покритих активним каталітичним шаром, відбуваються три основні процеси: адсорбція, власне самі хімічні реакції та десорбція.

«Такі системи класифікують за такими ознаками:

за типом – окислювальні (окисляють CO та CH до CO₂ та H₂O),
відновлювальні (відновлюють азот з NO_x) та трикомпонентні
(окислюють CO, CH та відновлюють NO_x);

за призначенням - головні та пускові;

по виконанню – одно- та двокамерні;

за типом носія каталізатора – з насипним чи монолітним носієм;

за матеріалом носія – з керамічним чи металевим носієм;

за матеріалом активного каталітичного шару - з благородними або звичайними матеріалами» [2, 3].

Окислювальний каталітичний нейтралізатор. «В окисних нейтралізаторах збільшуються швидкості перебігу реакцій перетворення CH і CO в CO₂ і H₂O, H₂ за наявності O₂. Для роботи такого нейтралізатора потрібний вільний кисень. Тому, в двигуні з іскровим запаленням при $\alpha < 1$ перед

нейтралізатором в потік газів, що відпрацювали, вводять додаткову кількість кисню (з вторинним повітрям) (рис. 2.1). Вони працюють при температурі 300...800 °С, а як каталізатори (речовин, що прискорюють перебіг реакцій окислення) в них застосовують платину і паладій. Цим нейтралізатором перетворити оксиди азоту на малотоксичні речовини не можливо.

Окислювальні каталітичні нейтралізатори вперше почали використовуватися на автомобілях у 1975 році у зв'язку із введенням у США норм граничної токсичності газів, що відпрацювали. В даний час каталітичні нейтралізатори, що працюють виключно на принципі реакції окислення, застосовуються дуже рідко» [2, 3].

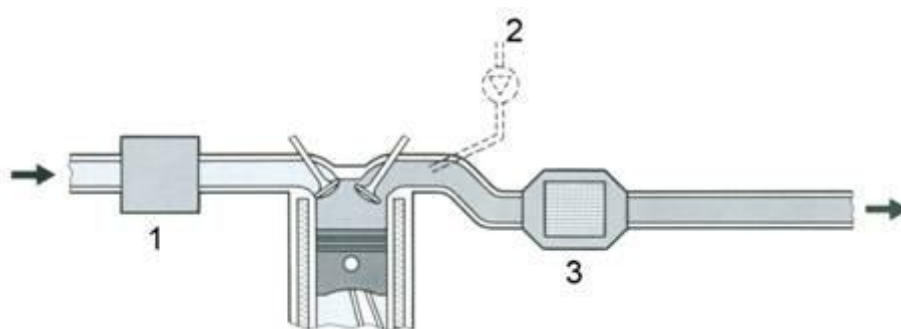


Рисунок 2.1 – Схема системи випуску відпрацьованих газів з окисним каталітичним нейтралізатором:

1 – дозатор палива; 2 – насос подачі додаткового повітря; 3 – окисний каталітичний нейтралізатор

Відновлювальний каталітичний нейтралізатор. «У нейтралізаторах відновного типу відбуваються реакції перетворення CH , CO і NO на CO_2 , H_2O , N_2 . Для відновлення NO_x потрібно створити відновне середовище, тобто, хімічно зв'язати кисень, що знаходиться у відпрацьованих газах. Тому, в відновлювальному каталітичному нейтралізаторі 4 (рис. 2.2) оксид азоту під дією каталізатора перетворюється на аміак, який піддається розкладанню в окисному нейтралізаторі 3. У ньому ж відбувається допалювання оксиду вуглецю та вуглеводнів» [2, 3].

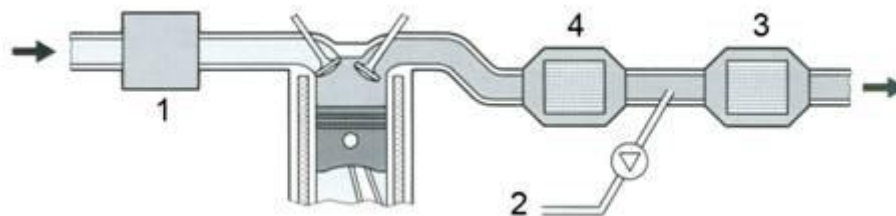


Рисунок 2.2 - Схема системи випуску відпрацьованих газів з

відновлювальним та окислювальним каталітичним нейтралізаторами:

1 – дозатор палива; 2 – насос подачі додаткового повітря; 3 – окисний каталітичний нейтралізатор; 4 – відновлювальний каталітичний нейтралізатор

Нейтралізатори цього типу в даний час не використовуються, оскільки для їх ефективного застосування необхідна робота двигуна $\alpha < 1$, що погіршує економічність двигуна.

Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор. «Перед трикомпонентним каталітичним нейтралізатором стоїть завдання перетворювати на нешкідливі компоненти шкідливі речовини, що утворюються при згорянні робочої суміші - вуглеводні (CH), оксид вуглецю (CO) і оксиди азоту (NOX). Як кінцевий продукт утворюються водяна пара (H₂O), вуглекислий газ (CO₂) і азот (N₂).

Перетворення шкідливих речовин (очищення газів, що відпрацювали) здійснюється в дві стадії: спочатку оксид вуглецю і вуглеводні перетворюються за рахунок окислення. Кисень, необхідний для окислення, є у вигляді залишкового кисню у відпрацьованих газах за рахунок неповного згоряння, або він забирається в оксидів азоту, кількість яких таким чином знижується.

Концентрація шкідливих речовин у неочищених газах залежить від коефіцієнта надлишку повітря α . Рівень перетворення вуглеводнів та оксиду вуглецю збільшується зі зростанням коефіцієнта надлишку повітря. При $\alpha = 1$ частка цих шкідливих компонентів дуже мала. При вищому коефіцієнті надлишку повітря концентрація цих шкідливих речовин залишається низькому рівні.

Ступінь перетворення оксидів азоту в діапазоні збагаченої суміші ($\alpha < 1$) є прийнятною. Найнижча концентрація NOX відповідає стехіометричній суміші (α

=1). Але вже невелике збільшення вмісту кисню у газах, що відпрацювали, за рахунок підвищення коефіцієнта надлишку повітря ($\alpha > 1$) перешкоджає зниженню кількості оксидів азоту і різко підвищує їхню концентрацію у відпрацьованих газах.

Для того, щоб відсоток перетворення трикомпонентним каталітичним нейтралізатором всіх трьох токсичних компонентів відпрацьованих газів (CO, CH, NO) був якомога вищим, ці компоненти повинні знаходитися у відпрацьованих газах у хімічній рівновазі. Для цього потрібно стехіометричне співвідношення палива та повітря в робочій суміші ($\alpha = 1$). Тому «вікно», що забезпечує значення α дуже близьке до одиниці, вкрай мало. Сумішоутворення має регулюватися замкнутим контуром лямбда-управління (рис. 2.3). Він дозволяє підтримувати суміш суміші з точністю $\pm 1\%$ » [2, 3].

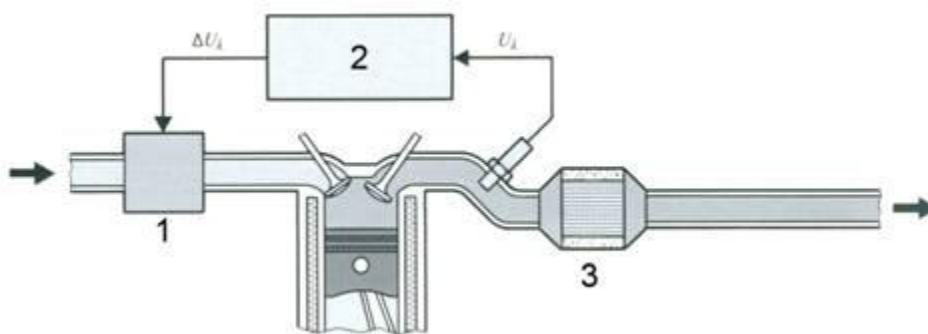


Рисунок 2.3 - Схема системи випуску газів, що відпрацювали, з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором:

1 – дозатор палива; 2 – електронний блок керування; 3 – трикомпонентний каталітичний нейтралізатор

«Каталітичний нейтралізатор (рис. 2.4) складається із сталевго корпусу 6, підкладки-носія 5 і активного каталітичного покриття з благородних металів 4. Каталітичне покриття саме не вступає в хімічні реакції, але однією своєю присутністю прискорює їх перебіг» [2, 3].

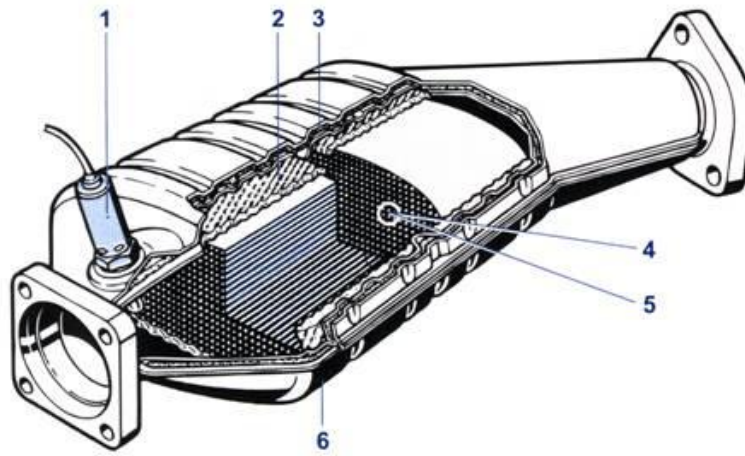


Рисунок 2.4 – Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор:

1 – лямбда-зонд; 2 – гофрований підстилаючий шар; 3 – теплоізолююча подвійна оболонка; 4 - абсорбційний шар із покриттям з благородних металів; 5 – підкладка-носій; 6 – корпус нейтралізатора

Поширені два типи підкладки-носія: керамічні та металеві моноліти.

«Керамічні моноліти» є керамічні тіла, пронизані кількома тисячами дрібних каналів, якими перепускаються відпрацьовані гази (рис. 2.5). Кераміка виготовляється з термостійкого магнієво-алюмінієвого силікату. Моноліт, що надзвичайно чутливо реагує на механічну напругу, закріплений у металевому корпусі. Для цього застосовуються мінеральні мати, що розширюються (2, рис. 2.4), які при першому нагріванні розширюються, надійно фіксуючи моноліт в необхідному положенні.

Керамічні моноліти є найчастіше застосовуваними нині підкладками-носіями каталітичного покриття.

Кераміка зроблена досить вогнетривкою – витримує температуру до 800-850°C. Але все одно при несправності системи живлення та тривалій роботі на Perezbagacheniy robuchiy sumishi monoelit mozhe ne vitrimati ta oplavitsya – i todi katalitichnyi neytralizator viyde z ladu» [2, 3].



Рисунок 2.5 – Каталітичний нейтралізатор із керамічною підкладкою

«**Металевий моноліт**, є альтернативою керамічному, виготовлений з дрібнофорованої металевої фольги товщиною 0,05 мм (рис. 2.6) і закріплений методом високотемпературного паяння. Завдяки тонкостінній структурі розміщується більше газових каналів на одній і тій же площі. Це дозволяє збільшити площу робочої поверхні, отримати менший протитиск, прискорити розігрів каталітичного нейтралізатора до робочої температури та, головне, розширити температурний діапазон до 1000...1050°C» [2, 3].



Рисунок 2.6 – Каталітичний нейтралізатор із металевою підкладкою.

«Керамічні та металеві моноліти вимагають покриття з оксиду алюмінію (Al_2O_3) – так званий абсорбційний шар (5, рис. 2.7). Цей шар збільшує ефективну

поверхню каталітичного нейтралізатора у 7000 разів. Це дозволяє максимально збільшити ефективну площу контакту каталітичного покриття з вихлопними газами – до величин близько 20 тис. м². Нанесений поверх нього каталітичний шар, що діє, містить благородні метали, а саме платину, паладій і родій. У трьохкомпонентних каталітичних нейтралізаторах платина та паладій викликають окислення CO та CH, а родій «бореться» з NOx. До речі, родій – субпродукт при отриманні платини – найцінніший у цій трійці.

Зміст шляхетних металів у каталітичному нейтралізаторі становить близько 1...3 г. Ця величина залежить від робочого об'єму двигуна» [2, 3].

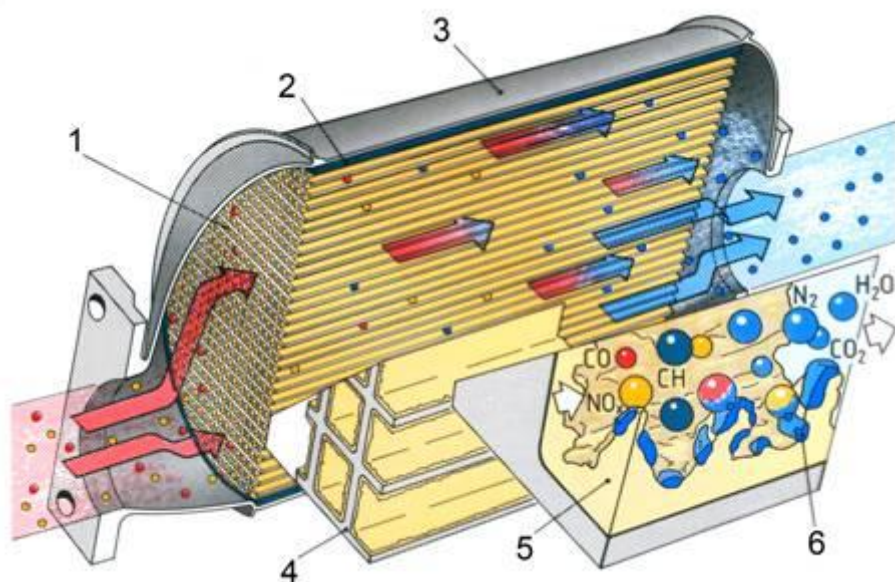


Рисунок 2.7 – Процеси, що відбуваються у трикомпонентному каталітичному нейтралізаторі з керамічною підкладкою:

1 – стільника; 2 – гофрований підстилюючий шар; 3 – корпус нейтралізатора; 4 – керамічна підкладка; 5 – абсорбційний шар; 6 – покриття з благородних металів

Температура каталітичного нейтралізатора відіграє дуже важливу роль у забезпеченні ефективності очищення газів, що відпрацювали [3, 4, 5].

Перетворення шкідливих речовин у трикомпонентному каталітичному нейтралізаторі починається лише за робочої температури понад 300°C. Ідеальні умови роботи, що забезпечують високий ступінь очищення газів, що

відпрацювали, і тривалий термін служби нейтралізатора, знаходяться в діапазоні температур 400...800°C.

Час, необхідний для розігріву, може досягати декількох хвилин і залежить від типу двигуна, способу його експлуатації та температури повітря. Холодний каталізатор практично неефективний - отже, необхідно зменшити час досягнення температури активації.

Цю проблему можна вирішувати шляхом наближення нейтралізатора до двигуна, додатковим підігрівом чи встановленням спеціального пускового нейтралізатора.

«Каталітична обробка газів, що відпрацювали, за допомогою трикомпонентного каталітичного нейтралізатора в даний час є найефективнішим методом очищення цих відпрацьованих газів для бензинових двигунів, що працюють на гомогенних горючих сумішах при $\alpha=1$. У цю систему включений замкнутий контур лямбда-управління, за допомогою якого контролюється склад горючої суміші. Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор може майже повністю очищати відпрацьовані гази від таких шкідливих речовин, як оксид вуглецю, вуглеводні та оксиди азоту при гомогенному розподілі та стехіометричному складі робочої суміші. Але ці ідеальні режими роботи можуть дотримуватися не завжди. Незважаючи на це, в середньому можна виходити зі зниження кількості шкідливих речовин у газах, що відпрацювали, більш ніж на 98%» [2, 3].

Каталітичний нейтралізатор з накопичувачем NO_x . «До цього часу система очищення відпрацьованих газів двигунів з безпосереднім упорскуванням була проблематичною. Це пов'язано з тим, що оксиди азоту, що утворюються при роботі на бідних гомогенних і пошарових сумішах, не можуть бути відновлені у звичайних трикомпонентних нейтралізаторах до рівня, що допускається законодавством.

Тому для двигунів з безпосереднім упорскуванням бензину застосовують накопичувальні нейтралізатори, які здатні утримувати оксиди азоту під час роботи на бідних сумішах. При заповненні нейтралізатора до межі проводиться

переведення його на режим регенерації, у процесі якого накопичені в ньому оксиди азоту виводяться та відновлюються до азоту» [2, 3].

Система випуску газів, що відпрацювали, з накопичувальним нейтралізатором показана на рис. 2.8.

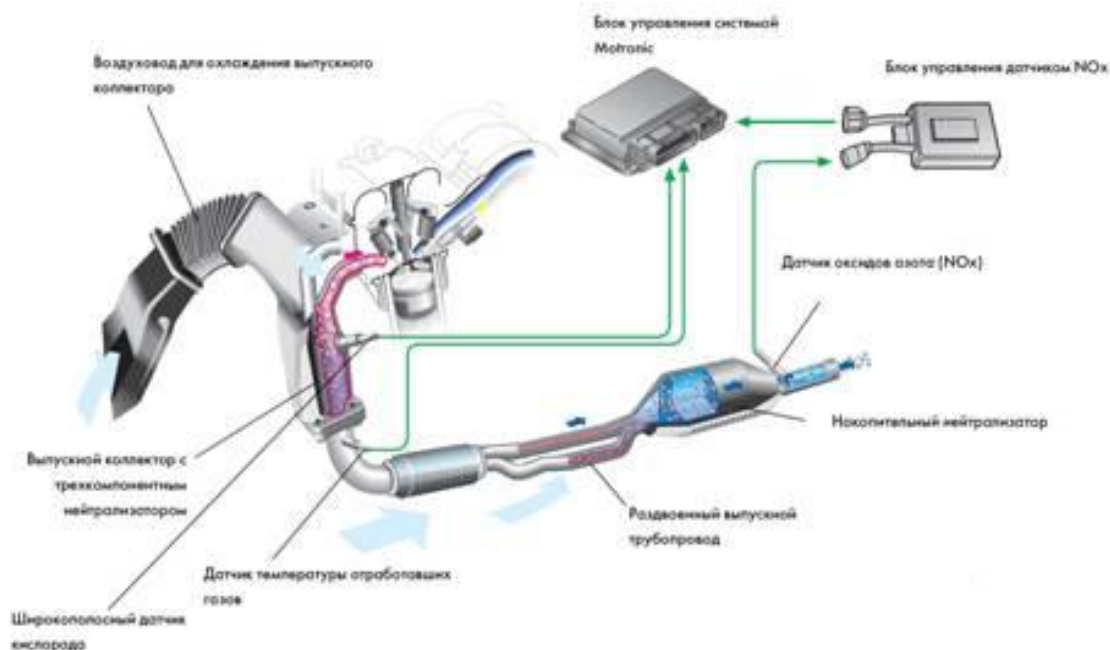


Рисунок 2.8 – Система випуску відпрацьованих газів із накопичувальним нейтралізатором

«Здатність цього накопичувального нейтралізатора накопичувати NO_x сильно залежить від температури. Вона досягає максимуму в діапазоні 300 ... 400 °С. Завдяки цьому робочий діапазон температур набагато нижчий, ніж у трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. З цієї причини для каталітичного допалювання компонентів відпрацьованих газів повинні застосовуватися два окремі каталітичні нейтралізатори, перший - трикомпонентний каталітичний нейтралізатор відразу після двигуна (передній) (рис. 2.8) і другий віддалений від двигуна нейтралізатор з накопичувачем NO_x в якості основного» [2, 3].

«Ще одним способом зниження температури відпрацьованих газів є охолодження випускного трубопроводу потоком свіжого повітря, що направляється на нього. Крім того, застосування роздвоєного випускного

трубопроводу перед накопичувальним нейтралізатором дозволяє знизити температуру газів за рахунок збільшення тепловіддачі через розвинену поверхню трубопроводу. При одночасному використанні обох заходів вдається знижувати температуру газів, що відпрацювали, на 30...100°C залежно від швидкості автомобіля.

Для вимірювання температури відпрацьованих газів у випускний трубопровід після попереднього трикомпонентного нейтралізатора вкручують датчик температури відпрацьованих газів. Вироблені ним сигнали надходять на вхід блоку керування двигуном.

За сигналами датчика температури газів, що відпрацювали блок управління двигуном розраховує, зокрема, температуру в накопичувальному нейтралізаторі.

Цей вимір необхідний, оскільки:

- накопичувальний нейтралізатор здатний затримувати оксиди азоту тільки за температур від 250 до 500°C, до яких він повинен прогріватися при роботі двигуна на бідних сумішах;
- місце оксидів азоту в накопичувальному нейтралізаторі може займати сірка, для видалення якої необхідно підняти температуру в нейтралізаторі до 650°C вище.

У датчику знаходиться вимірювальний резистор із негативним температурним коефіцієнтом. Це означає, що з підвищенні температури його опір зменшується, а напруга з його виході відповідно збільшується. У блоці керування двигуном кожне значення цієї напруги зіставляється з певним значенням температури» [2, 3].

«Каталітичний нейтралізатор з накопичувачем NOX має конструкцію, подібну до трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. На додаток до каталітичного покриття з платини, паладію та родію він має ще спеціальні добавки, які здатні накопичувати оксиди азоту. Типовими матеріалами, здатними до накопичення, є, наприклад, оксиди калію, кальцію, стронцію, цирконію, лантану або барію» [3, 4, 5].

«Покриття для накопичення NOX і покриття каталітичного

трикомпонентного нейтралізатора можуть наноситися на загальний носій-підкладку.

За рахунок наявного покриття з благородних металів каталітичний нейтралізатор із накопичувачем NOX у режимі $\alpha=1$ функціонує як трикомпонентний каталітичний нейтралізатор. Додатково він перетворює не зменшилася в збіднених газах, що відпрацювали, кількість оксидів азоту. Але це перетворення не здійснюється безперервно, як у випадку оксиду вуглецю та вуглеводнів, а протікає у три стадії:

- накопичення NOX;
- вилучення NOX;
- перетворення.

Накопичення NOX (Рис.2.9).

Оксиди азоту каталітичним шляхом окислюються на поверхні платинового покриття діоксид азоту NO₂. Потім NO₂ вступає у реакцію зі спеціальними оксидами на каталітичній поверхні та з киснем з утворенням нітратів. Так, наприклад, NO₂ з оксидом барію BaO утворює хімічну сполуку нітрат барію Ba(NO₃)₂. Завдяки цьому каталітичний нейтралізатор з накопичувачем NOX під час роботи двигуна на суміші з надлишком повітря забезпечує накопичення оксидів азоту» [3, 4, 5].



Рисунок 2.9 – Процес накопичення NOX

«Існують два різні способи визначення фази повного заповнення каталітичного нейтралізатора:

- спосіб моделювання, що забезпечує розрахунок кількості накопичених у нейтралізаторі NOX з урахуванням температури нейтралізатора;
- спосіб безперервного вимірювання концентрації NOX у відпрацьованих газах за допомогою датчика NOX, розташованого за нейтралізатором» [6, 7].

Найбільш точним є другий спосіб.

Датчик, що визначає оксиди азоту, слід вкрутити у випускну трубу безпосередньо за накопичувальним нейтралізатором. Він дозволяє визначити концентрацію оксидів азоту та кисню у відпрацьованих газах. Сигнали з нього передаються на вхід блоку управління (рис. 2.8).

За сигналами датчика визначається:

- діє нейтралізатор чи ні;
- чи відповідає налаштування встановленого перед нейтралізатором широкопasmового датчика кисню на стехіометричну суміш, або її необхідно скоригувати. Для цього в блоці управління датчиком оксидів азоту передбачена мікросхема, що забезпечує отримання на електродах датчика оксидів азоту стрибкоподібного сигналу, подібного до сигналу вузькосмугового датчика кисню. Цей сигнал дозволяє дуже точно визначати склад суміші, наближеної до стехіометричного складу.
- наскільки повно використана накопичувальна здатність нейтралізатора і чи потрібно його перевести на режим регенерації не тільки по оксидів азоту, але і по сірці.

Вилучення NOX та їх перетворення. «Із збільшенням кількості накопичених оксидів азоту (завантаження) зменшується можливість подальшого хімічного зв'язування оксидів азоту. З певної кількості повинна здійснюватися регенерація, тобто. накопичені оксиди азоту повинні видалятися та перетворюватися. Для цього на короткий час відбувається перемикання роботи двигуна на режим використання збагаченої гомогенної паливної суміші ($\alpha < 0,8$) (рис. 2.10).

При пошаровому сумішоутворенні накопичувальний нейтралізатор здатний вловлювати оксиди азоту протягом 90 секунд. Після цього проводиться регенерація нейтралізатора протягом двох секунд.

Процеси вилучення NOX і перетворення їх у азот та вуглекислий газ протікають окремо (рис. 2.11). Як відновники використовуються H_2 , CH і CO . Найнижча швидкість реакції реєструється під час використання CH , найбільша – при H_2 . Процес вилучення (розглянутий при використанні оксиду вуглецю як відновник) здійснюється таким способом, при якому оксид вуглецю розкислює нітрат, наприклад, нітрат барію $Ba(NO_3)_2$, оксид, наприклад, оксид барію BaO . При цьому утворюються вуглекислий газ та монооксид азоту. Потім каталітичне покриття з родію розкислює оксиди азоту за допомогою оксиду вуглецю азот і вуглекислий газ» [2, 3].

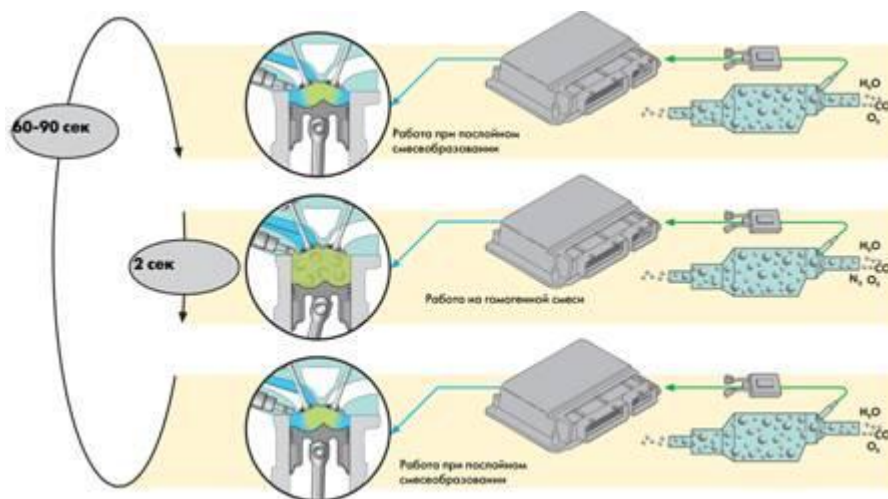


Рисунок 2.10 – Цикл видалення оксидів азоту

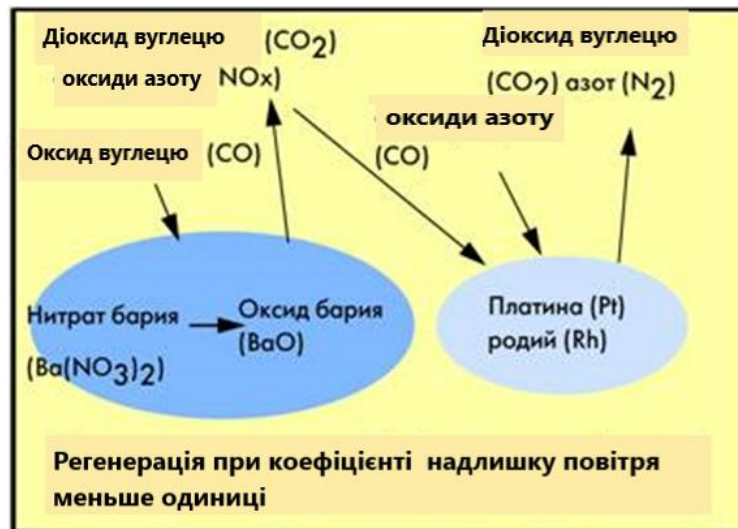


Рисунок 2.11 – Процес регенерації NO_x

2.2 Процеси зношування та основні несправності каталітичних нейтралізаторів

Каталізатор доокислює компоненти у відпрацьованих газах при використанні рекомендованого для конкретного двигуна палива, справних двигунів та масло системи [8, 9]. За порушення цих умов домішки забивають конденсатор, реакції проходять повільніше, фільтр засмічується, що перешкоджає виходу газів. Внаслідок цього знижується тяга, і завести машину стає неможливо. До причин забруднення каталізатора відносяться:

- використання неякісного палива;
- попадання у вихлоп оливи;
- різні механічні несправності двигуна;
- несправні лямбда-зонди;
- механічне руйнування стільникових структур каталітичного нейтралізатора.

Першою несправністю активного елемента каталітичного нейтралізатора є його оплавлення, що проявляється у вигляді спікання стільників і що призводить до утрудненого проходження газів, що відпрацьовували. Зазвичай це відбувається після

того, як перевищено поріг температури газів 900 градусів.



Рисунок 2.12 - Спикання стільників каталітичного нейтралізатора

Етильований бензин, що містить інші домішки, або дешевший бензин недостатньо прогорає в двигуні і утворює речовини, на проходження яких каталітичний нейтралізатор не розрахований [10]. Фільтри каталізатора забиваються сажею, сіркою, парафіном, домішки нагорають на стільниках, перешкоджаючи реакції та забиваючи отвори.

Через знос прокладок, маслоснімних кілець і клапанів масло потрапляє у вихлоп, також стаючи небажаною домішкою. Будь-яка несправність, пов'язана з недостатнім прогорання палива або попаданням оливи, веде до засмічення каталізатора. Несправність каталізатора говорить про проблеми з двигуном, його тривалу експлуатацію в поганому технічному стані [11].

Датчики кисню, або лямбда-зонди, контролюють збагачення киснево-паливної суміші. Їхні несправності ведуть до підвищення температури. Каталізатор чутливий до цього фактора, оскільки працює при температурах, близьких до 800 градусів.

Якщо на гарячий конденсатор потрапляє вода з калюж або снігових кучугур, відбувається руйнування кераміки стільників. Конвертери чутливі також до ударів та механічних коливань. Погані дороги, пересічена місцевість, камені, що випадково вискочили з-під коліс, швидко руйнують структуру фільтрів.

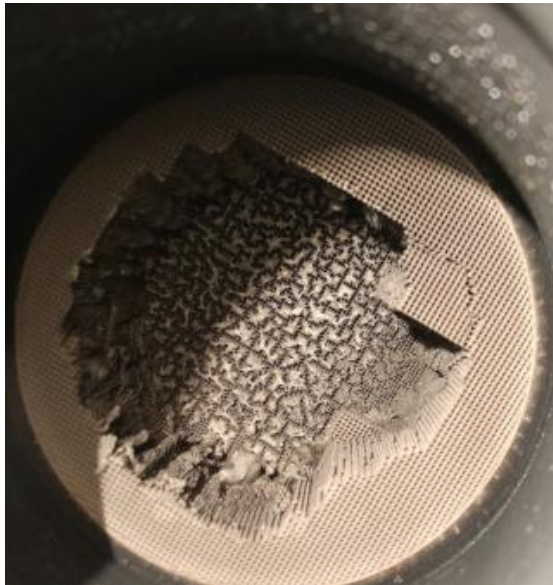


Рисунок 2.13 - Руйнування стільників каталітичного нейтралізатора

Невідповідний автомобільний каталізатор може спричинити поломку машини. Для деяких ринків, де традиційно використовується лише якісне паливо, випускаються моделі з меншим розміром сот, які забиваються швидше. Каталізатор має відповідати марці авто.

Ознаки несправного каталізатора. Проблеми в роботі автомобільного каталітичного нейтралізатора проявляються у вигляді певних діагностичних ознак. Ознаки, що виявляються під час експлуатації, додаткової перевірки або при розбиранні фільтра, є першими сигналами:

- слабка динаміка у ситуаціях, коли за відчуттями двигун повинен «тягнути» краще;
- старт із кількох спроб у повністю холодному чи, навпаки, прогрітому стані;
- повільний набір обертів, зупинка на значенні 2–4 тис. без подальшого піднімання.

З повністю неробочим каталітичним каталізатором (рис. 2.14) двигун заводиться дуже погано, а у випадку, якщо запуск все ж відбувався – відразу гложне [11, 12].



Рисунок 2.14 – Повністю зруйнований каталітичний нейтралізатор.

Розглянемо детальніше діагностичні ознаки несправних каталітичних нейтралізаторів.

Погіршення розгінної динаміки. Найбільш характерною та частою ознакою, що свідчить про те, що з вашим нейтралізатором почалися якісь проблеми, є помітне зниження потужності двигуна транспортного засобу. Свої відчуття водії описують по-різному: "зникла потужність", "Двигун став слабшим", "Пішла колишня динаміка розгону". Проте сенс "скарг" у своїй залишається незмінним. Показники розгону та максимальної швидкості при цьому дещо погіршуються. Особливо явно ця проблема стає помітною під час роботи мотора на знижених передачах (на високих оборотах). Причиною всьому є засмічення серцевин каталізатора сажею та продуктами палива. Таким чином, вихлопні гази змушені долати додатковий опір своїм шляхом. Підсумовуючи, можна сказати, що погіршення потужності є найважливішою ознакою несправності каталізатора автомобіля.

Проблеми із запуском двигуна машини. У випадку поганого запуску двигуна, або якщо двигун глохне практично відразу після запуску, причини таких проблем можуть бути пов'язані із забитим сажею каталізатором. Справа в тому, що при пошкодженні внутрішніх елементів нейтралізатора відбувається суттєве підвищення опору у всій випускній системі автомобіля. Таким чином, каталізатор є своєрідною перешкодою, що заважає процесу природного видалення

відпрацьованих газів. Очевидно, що нічого хорошого це не обіцяє.

Збільшена витрата палива. Ще однією ознакою того, що нейтралізатор автомобіля забився, є часткове збільшення витрат палива. Однак, не варто розглядати цей симптом окремо від інших ознак. Для більш-менш точної діагностики необхідно обов'язково враховувати інші важливі особливості поведінки автомобіля.

Слабкий потік вихлопних газів. Якщо каталізатор автомобіля забитий це неминуче позначиться на швидкості витікання газів з вихлопної труби. Переконатися в цьому можна досить простим способом, без використання дорогого обладнання та приладів.

Токсичність відпрацьованих газів. Явний токсичний вихлоп, що відчувається відчуттями, а також за допомогою газоаналізатора [13, 14].

2.3 Методи діагностування каталітичних нейтралізаторів

На сьогодні існує декілька способів діагностування технічного стану каталітичного нейтралізатора [15, 16, 17].

Самодіагностика бортовими системами автомобіля.

Існує три види протоколу з діагностування: OBD-I, OBD-II та Японський протокол.

1. OBD-I, протокол першого покоління. До нього належать такі показники системи:

- сигнальна лампа несправності(MIL);
- коди несправності(DTC);
- основні датчики;
- дозування палива;
- система рециркуляції відпрацьованих газів двигуна (EGR);
- ланцюги, що перевіряються на наявність обриву та короткого

замикання.

2. OBD-II, протокол другого покоління. До нього належать такі показники:

- постійна перевірка працездатності систем;
- розширена діагностика кисневого датчика;
- розширена діагностика корекції подачі палива;
- визначення пропусків запалювання;
- перевірка продуктивності каталітичного нейтралізатора;
- перевірка системи рециркуляції газів двигуна (EGR);
- перевірка роботи термостату;
- коди несправності(DTC);
- потік послідовної передачі;
- перевірка системи керування парів палива;
- перевірка допоміжної системи подавання повітря;
- удосконалені умови включення сигнальної лампи несправності (MIL);
- діагностичний роз'єм;
- система кондиціонування;
- система примусової вентиляції автомобіля;
- перевірка додаткових елементів.

3. Японський протокол з діагностики систем управління двигуном і автомобілем має більш жорсткі вимоги. Основні системи, що належать до Японського протоколу:

- коди несправності DTC;
- потік послідовної передачі;
- розширена діагностика кисневого датчика;
- розширена діагностика корекції подачі палива;
- перевірка системи EGR;
- перевірка інших елементів.

Для ефективної роботи необхідний контроль складу паливної суміші. Він повинен дорівнювати стехіометричному коефіцієнту (14,5-14,7). Якщо паливна

суміш буде багатшою, то знизиться ефективність нейтралізації CO та CH, якщо бідніше, - NOx.

Для контролю складу паливної суміші використовують датчик кисню (лямбда-зонд), який встановлюють у випускному колекторі таким чином, щоб вихлопні гази обтікали робочу поверхню датчика [18]. Датчик є гальванічним джерелом струму, що змінює напругу в залежності від температури і наявності кисню у вихлопній трубі. Матеріал його, як правило, – керамічний елемент на основі двоокису цирконію, покритий платиною. Конструкція його передбачає, що частина з'єднується із зовнішнім повітрям, інша - з вихлопними газами всередині труби [3].

Залежно від концентрації кисню у вихлопних газах на виході датчика з'являється сигнал. Рівень цього сигналу може бути низьким (0,1-0,2) або високим (0,8...0,9). Існують також датчики, рівень сигналу яких виході змінюється від 0,1 до 4,9 [4].

При перевірці продуктивності каталітичного нейтралізатора порівнюють дані кисневого датчика (S1) і після (S2) каталітичного нейтралізатора. Порівняння проводять за вмістом кисню в ланцюгу та дорогоцінних металів у тонкому покритті. При нормальному технічному стані, при контурі управління із зворотним зв'язком, у високопродуктивних каталітичних нейтралізаторах має місце досить кисню.

В результаті цього порівняно з частотою і амплітудою коливань напруги переднього кисневого датчика, що підігрівається, частота і амплітуда коливань напруги заднього підігрівається кисневого датчика знижуються.

«У міру погіршення продуктивності каталітичного нейтралізатора внаслідок перегріву та руйнування внаслідок хімічних реакцій у ньому знижується кількість кисню. Напруга заднього кисневого датчика починає коливатися з більшою частотою та амплітудою, значення яких наближаються до значень переднього датчика» [19, 20].

«Надлишок повітря в суміші вимірюється вельми оригінальним способом - шляхом визначення випускних газах вмісту залишкового кисню (O₂). Тому

лямбда-зонд розташований у випускному колекторі перед каталізатором. На деяких сучасних моделях автомобілів є ще один лямбда-зонд. Знаходиться він на виході каталізатора. Цим досягається велика точність приготування суміші та контролюється ефективність роботи каталізатора (рис. 2.15)» [19, 20].

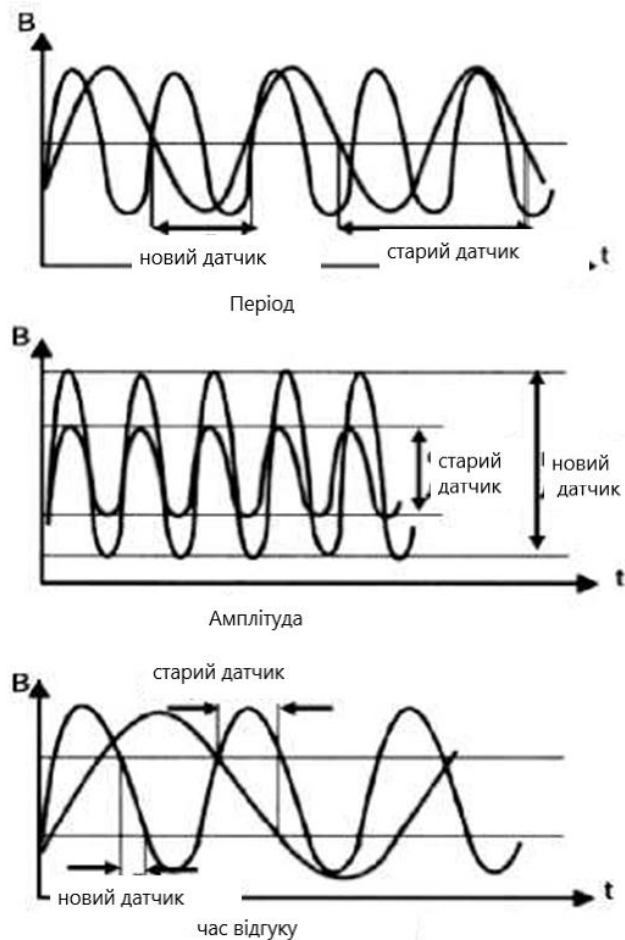


Рисунок 2.15. Показання датчиків кисню

Для обчислення кількості кисню в каталітичному нейтралізаторі при перевірці розраховують частоту коливань напруги переднього та заднього кисневих датчиків при частково відкритій дросельній заслінці, замкнутому контурі управління паливною системою після прогріву двигуна та при допустимій температурі нейтралізатора. Ступінь коливань визначається розподілом загальної кількості коливань заднього кисневого датчика число коливань переднього датчика.

Ступінь коливань, близька до нуля, вказує на велику кількість кисню в нейтралізаторі і, отже, його високу вуглеводневу продуктивність. Ступінь

коливань, близька до одиниці, вказує на малу кількість кисню в нейтралізаторі і, отже, низьку вуглеводневу продуктивність. Якщо фактичний ступінь коливань перевищує заданий, каталітичний нейтралізатор вважається несправним. Якщо перевірка нейтралізатора не завершується під час поїздки, розраховані дані зберігаються в енергонезалежній пам'яті електронного блоку керування і використовуються для перевірки каталітичного нейтралізатора під час наступної перевірки, навіть якщо вона є короткою.

Для отримання точного діагнозу каталізатора спочатку проводять контроль самих лямбда-зондів [19].

Перевірку продуктивності каталітичного нейтралізатора виконують у два етапи:

1. Негативні результати перевірки на першому етапі вказують на необхідність подальшої перевірки.
2. На другому етапі аналізують сигнали переднього (рис. 2.16) та заднього (рис. 2.17) кисневих датчиків і лише після цього визначають стан каталітичного нейтралізатора.

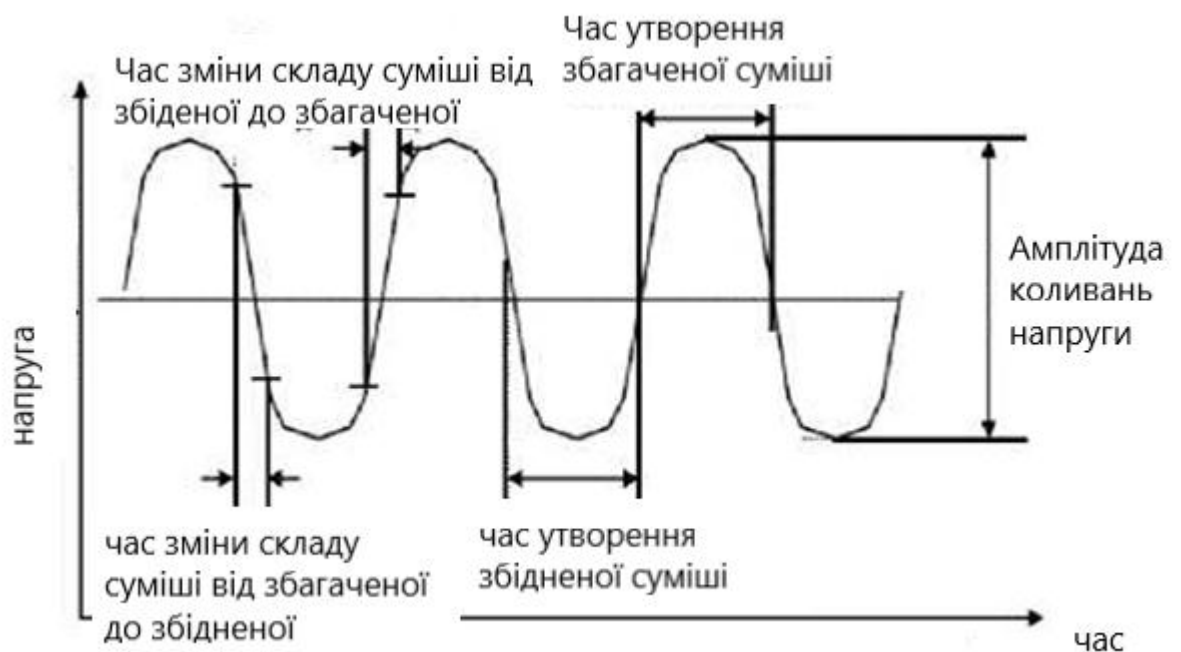


Рисунок 2.16 - Перевірка переднього кисневого датчика (S1)

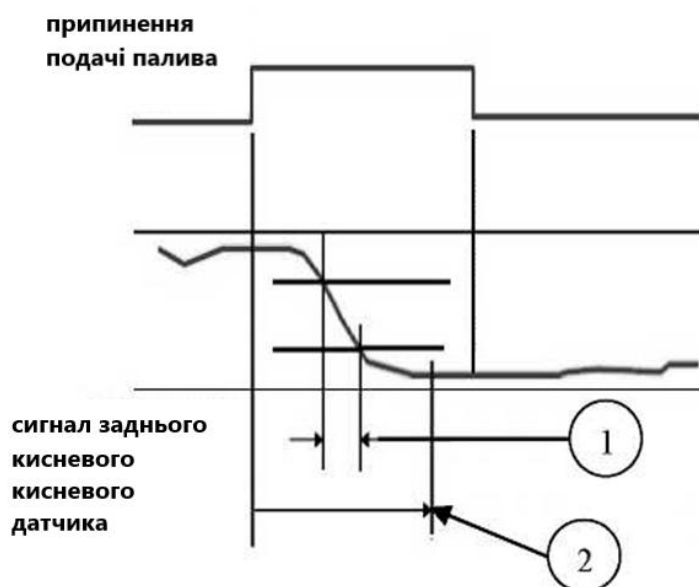


Рисунок 2.17 – Перевірка заднього кисневого датчика (S2): 1 – час відгуку заднього кисневого датчика; 2 – рівень напруги заднього кисневого датчика через певний проміжок часу.

Такий ретельний аналіз сигналів дозволяє підвищити точність визначення продуктивності нейтралізатора. Негативний результат перевірки першому етапі не вказує на несправність каталітичного нейтралізатора.

Каталітичний нейтралізатор може бути працездатним і в той же час перебувати на межі працездатності, або, в іншому випадку, через застосування несертифікованого палива може бути багато сірки (рис. 2.18 і 2.19).

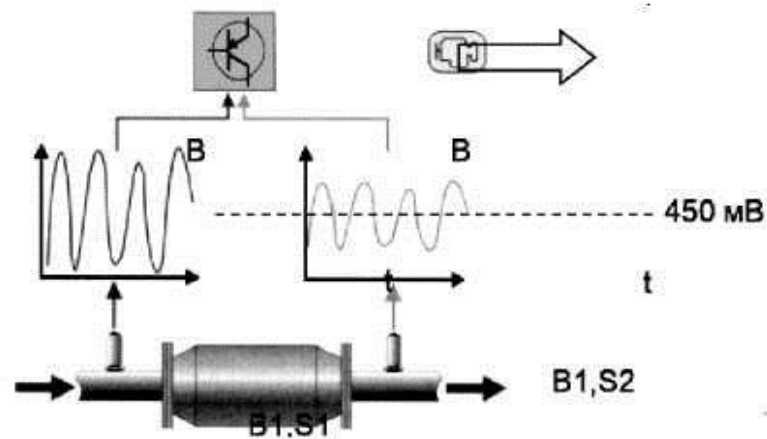
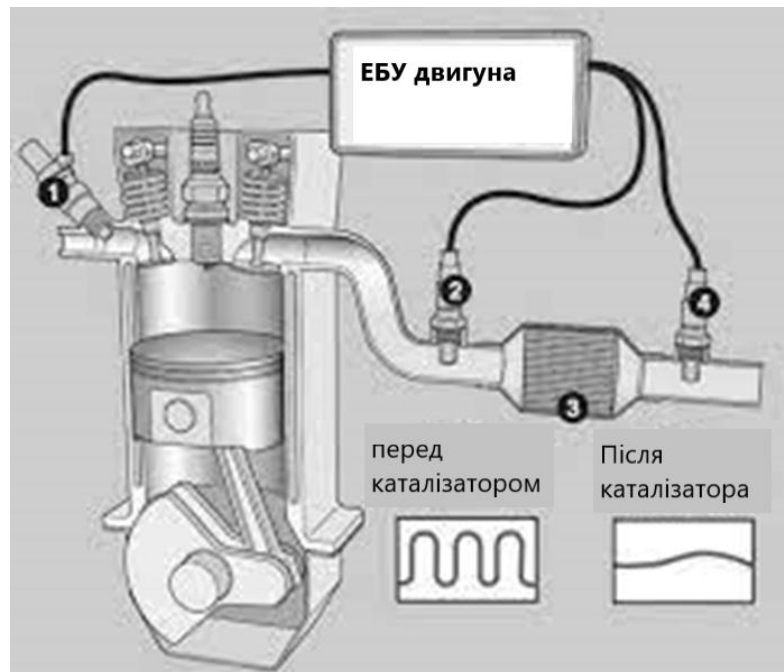


Рисунок 2.18 – Забруднений каталітичний нейтралізатор

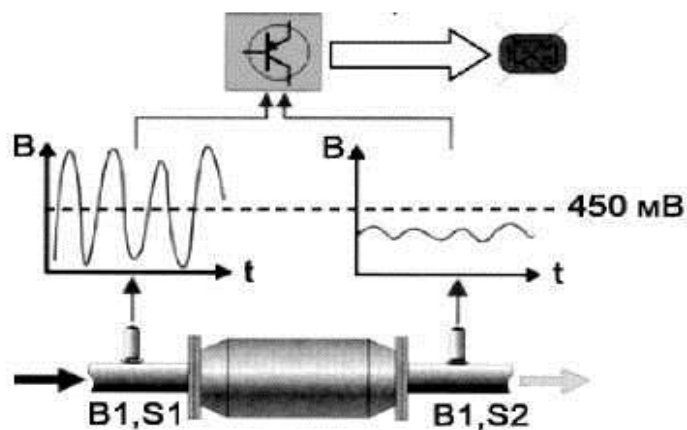


Рисунок 2.19 – Робочий стан каталітичного нейтралізатора

Датчик кисню повідомляє контролеру упорскування про концентрацію

кисню у відпрацьованих газах. Контролер приймає сигнал з лямбда-зонда, порівнює його зі значенням, прошитим у його пам'яті, і, якщо сигнал відрізняється від оптимального для поточного режиму, коригує тривалість упорскування палива в той чи інший бік. Таким чином, здійснюється зворотний зв'язок з контролером упорскування та точне підстроювання режимів роботи двигуна під поточну ситуацію з досягненням максимальної економії палива та мінімізацією шкідливих викидів [27, 28].

При працездатному стані датчиків лямбда-зонда або каталітичного нейтралізатора на сигнальну лампу живлення не подаватиметься.

Ресурс датчика вмісту кисню становить 50-100 тис. км і значною мірою залежить від умов експлуатації, якості палива та стану двигуна. Підвищена витрата оливи, перезбагачена суміш та неправильно відрегульований кут випередження запалення скорочують ресурс лямбда-зонда.

У сучасних автомобілях, сертифікованих чинним стандартом захисту навколишнього середовища, особливе місце посідають несправності каталізатора, які визначаються блоком управління двигуна. При виявленні такої несправності блок управління включає індикатор несправності та в пам'ять записуються коди P0420 та/або P0430.

Помилки, які фіксуються ЕБУ, мають п'ятизначний код [16, 17]. Кожен знак у помилці визначає характер виникнення та систему, в якій виникла помилка. Як приклад наведено помилку P0440 випускної системи автомобіля (рис. 2.20).

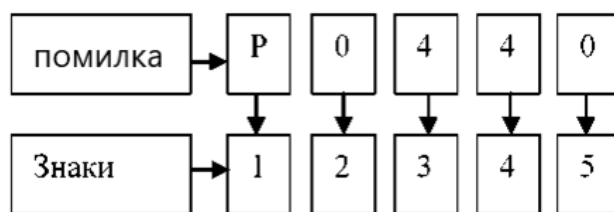


Рисунок 2.20 – Розшифровування помилок по знакам.

Знак 1:

- Р – силова передача;
- В – кузов;
- С – шасі;

- U – не визначено.

Знак 2:

- 0 - код стандартуSAE/ISO;
- 1 - код виробника;
- 2 - код стандартуSAE/ISO.

Знак 3:

- 0 – вся система;
- 1 - допоміжна система подачі повітря/приготування суміші;
- 2 – паливна система;
- 3 – система запалювання;
- 4- Додатковий контроль токсичності випускних газів;
- 5 - круїз-контроль/система управління оборотами холостого ходу;
- 6 - вхідний/вихідний сигнал, блоки управління;
- 7 - коробка передач/трансмсія.

Знаки 4 та 5 відносяться до серійного номера автомобіля.

При поновленні помилки блок керування опитує датчики при запуску двигуна або при параметрах, коли виникла помилка. Якщо несправність не була усунена, а помилка видалена з пам'яті, то несправність знову зафіксується в пам'яті електронного блоку керування. Для усунення такої несправності слід провести повну діагностику з аналізом та вибором параметрів [29, 30].

Діагностика за допомогою мотор-тестера. Перевірку стану роботи лямбда-зонда за допомогою діагностичного обладнання (мотор-тестера) та програмного забезпечення здійснюють у такій послідовності [20, 21]:

- 1) підключити обладнання до електронного блоку управління;
- 2) ідентифікувати діагностований автомобіль за допомогою програмного забезпечення та бази даних;
- 3) вибрати відповідний вид перевірки;
- 4) визначити перелік фактичних параметрів, що підлягають перевірці (трохи більше чотирьох).

При визначенні фактичних параметрів слід вибирати параметри, за якими в процесі перевірки можна буде оцінити роботу системи, що діагностується (рис. 7).

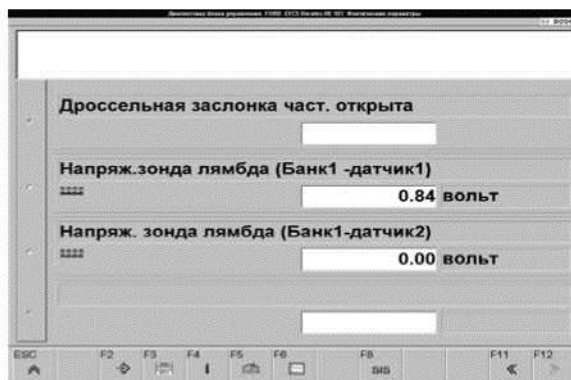


Рисунок 2.21 – Перелік фактичних параметрів вимірювання.

Ця перевірка проводиться за різних режимів роботи двигуна і дозволяє відобразити мінімальні та максимальні значення параметрів та отримувати графічні залежності (рис. 2.22) [21, 22].

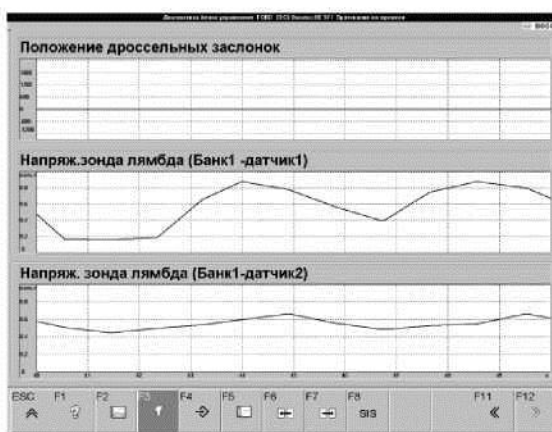


Рисунок 2.22 - Відображення отриманих даних в графічному вигляді

Контроль токсичності вихлопу газів, що відпрацювали, здійснюється з використанням системного тестера. У ході роботи тестера показники змінювалися залежно від температури двигуна та режиму навантаження, що істотно збільшує достовірність отриманих значень (рис. 2.23) [22, 23].

Тиск у випускній системі сягає 200 кПа, що становить близько 2 кгс/см². Такий каталізатор потребує заміни.

Перевірка технічного стану вимірюванням протитиску за допомогою манометра. Суть даного тесту полягає у перевірці показників тиску перед каталітичним нейтралізатором. При забитому нейтралізаторі тиск у вихлопній системі автомобіля неминуче збільшується. Нормальним тиском у випускній системі перед нейтралізатором вважається показник 0,3 кгс/см². Якщо значення тиску вищі можливо зробити висновок про несправність нейтралізатора.

Особливо добре цей метод актуальний для автомобілів з екологічним стандартом від ЕВРО-3 і вище. Суть методу полягає в установленні манометра манометра по черзі в отвір перед нейтралізатором і після при роботі двигуна. Якщо різниця тисків у магістралі більше 10-15% (перед входом у нейтралізатор значення вище), то нейтралізатор вважається з незадовільним проходженням газів.

Послідовність вимірювання протитиску наступна [23, 24, 25].

1. Демонтується датчик кисню (ДК). Як правило, він закручений у випускний колектор двигуна. Для його викручування можна використовувати високу головку або накидний ключ.

2. Встановлюється манометр.

В отвір під датчик кисню встановлюємо манометр та затягується його гайка (рис. 2.25). У даному випадку використовується манометр для вимірювання компресії в двигуні автомобіля, з гумовим шлангом.



Рисунок 2.25 - Вимірювання протитиску.

Для вимірювання протитиску манометр закручують в отвір під датчик кисню у впускному колекторі двигуна автомобіля

Порядок вимірювання величину протитиску наступний. Спочатку запускається двигун. Виставляються оберти колінчастого валу в межах 2500 об/хв і знімаються показання манометра. Нормальний протитиск, який свідчить про справний каталітичний нейтралізатор знаходиться в межах 2-3 бари (0,2-0,3 МПа або 0,2-0,3 кг/см²), якщо є перевищення хоча б на 0,5 бари, це свідчить про забитість каталітичного нейтралізатора. Якщо значення ще більші, то швидше за все його соти оплавилися значною мірою і нейтралізатор потрібно замінити.

Перевірка за допомогою ендоскопу. Ендоскоп (рис. 2.26) — мініатюрна відеокамера, яка вводиться в отвори для датчиків кисню. За допомогою ендоскопу оглядають торцеві поверхні нейтралізаторів на предмет руйнування [26, 27].

Далі через другий датчик лямбда ми оглядаємо каталізатори візуально. Якщо вони починають розсипатися механічно, то манометр нам нічого не покаже, але є небезпека, що кераміка потрапить у двигун (рис. 2.27).

Для цього використовується ендоскоп рис. 2.26.



Рисунок 2.26 - Автомобільний ендоскоп

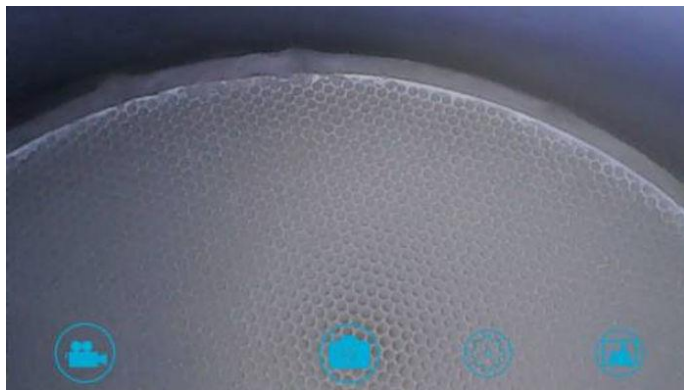


Рисунок 2.27 - Результат ендоскопії нейтралізатора.

Демонтаж корпусу і огляд тіла каталітичного нейтралізатора безпосередньо. Цей спосіб застосовується в тих випадках, коли нейтралізатор знятий або є підстави для його демонтажу.

3. Результати досліджень

3.1 Дослідження ділянок падіння тиску в каталітичному нейтралізаторі

Були встановлені залежності показників токсичності відпрацьованих газів та частоти обертання колінчастого валу двигуна від технічного стану каталітичного нейтралізатора та інших другорядних факторів.

Представимо у загальному вигляді модель рис. 3.1, що розкриває залежність величини перепаду тиску на окремих ділянках каталітичного нейтралізатора для подальшого моделювання тренду зміни стану системи випуску відпрацьованих газів.

Розглянемо падіння тиску на окремих ділянках каталітичного нейтралізатора (рис. 3.1).

Такими ділянками є (див. рис. 3.1) місця, вказані на схемі поворотанням стрілок.

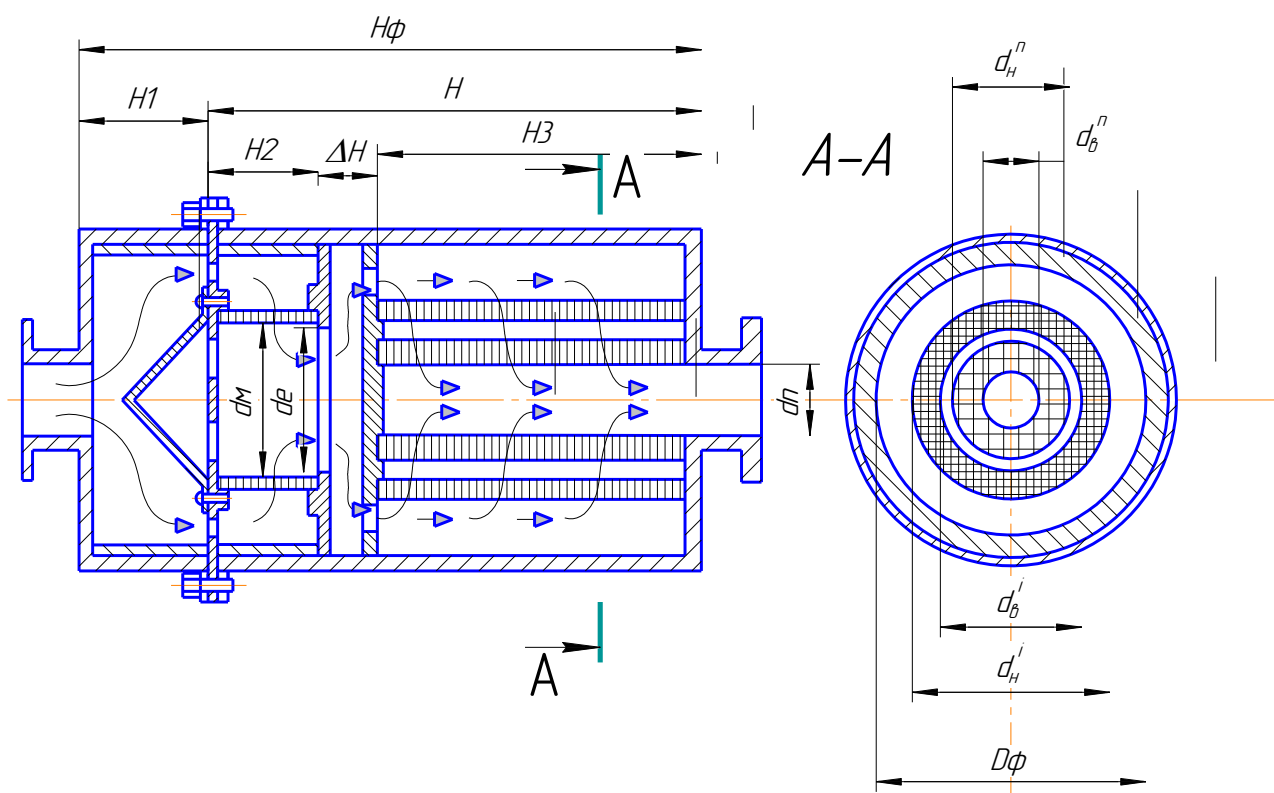


Рисунок 3.1 – Схема ділянок падіння тиску каталітичного нейтралізатора

Кожна з ступенів впливають на сумарний опір каталітичного нейтралізатора, але з різною питомою вагою. Аналіз схеми, дозволяє припустити, що домінуючий

вплив на сумарний перепад тиску має зона проходження газів через стільники нейтралізатора рис. 3.1.

Вимірювання показують, що величина перепаду тиску становить $\Delta p = 10$ кПа. Для більшості сучасних автозасобів ця величина перепаду тиску гранична за вимогами нормативно-технічної документації заводів виробників.

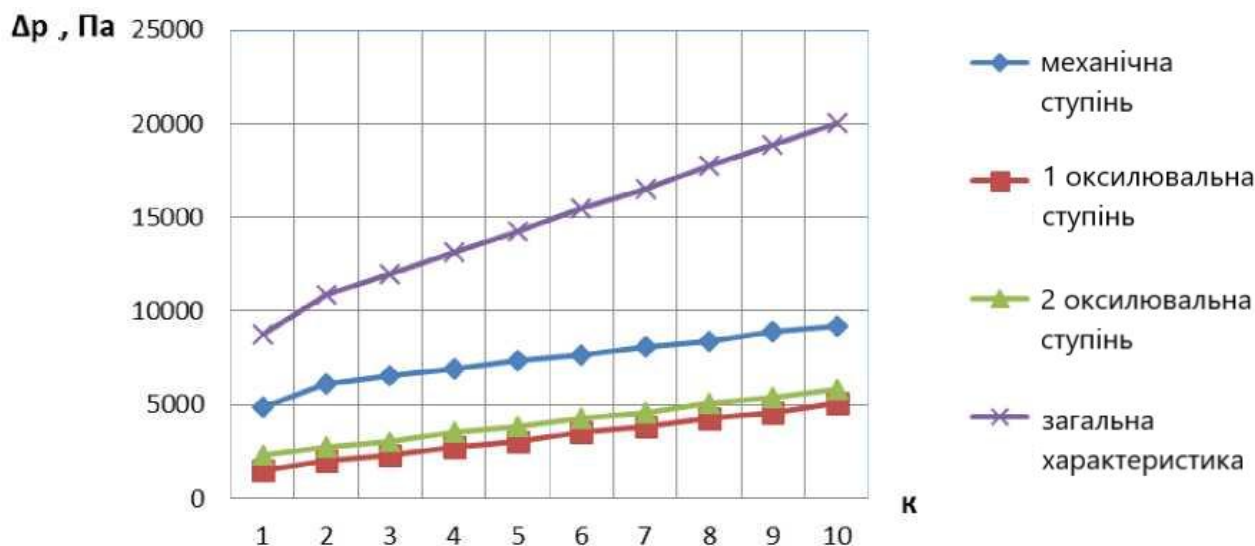


Рисунок 3.2 - Залежність величини перепаду тиску Δp , Па від коефіцієнта враховує опір стільників каталітичного нейтралізатора K

Наслідком падіння тиску є затримка випуску відпрацьованих газів, значне погіршення процесу згоряння, що призводить до зниження коефіцієнта ефективності нейтралізації.

Найбільша ефективність перетворення відпрацьованих газів лежать у зоні $\alpha = 0,96 \dots 1,00$. Будь-які відхилення поза виділеної зони неприпустимі. Однак, такі умови під час експлуатації трапляються. Вони пов'язані зі зміною режимів роботи ДВЗ, які характеризуються широкою варіацією тривалості впорскування палива та зміною складу паливо-повітряної суміші.

Так як на параметри токсичності відпрацьованих газів істотно впливає склад паливно-повітряної суміші, виникає потреба в аналізі взаємозв'язку частоти обертання колінчастого валу двигунів від якісно-кількісного складу паливо-повітряної суміші рис. 3.3.

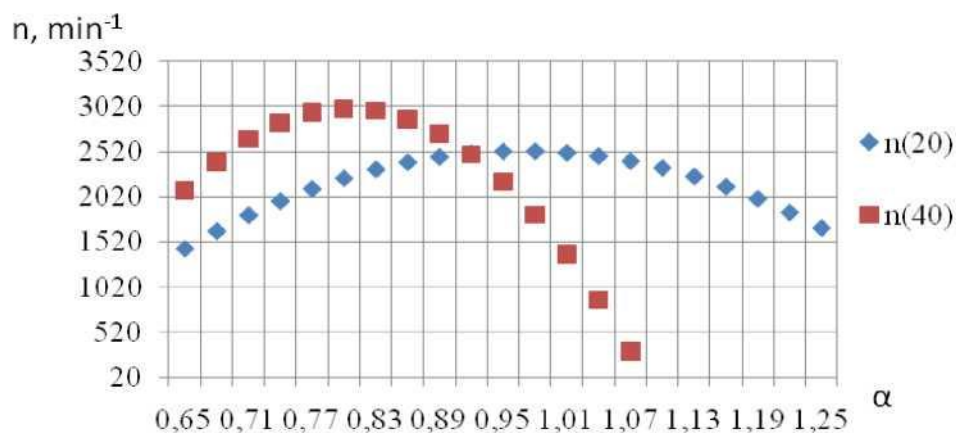


Рисунок 3.3 - Взаємозв'язок зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна n , хв^{-1} від якісно-кількісного складу паливо-повітряної суміші (коефіцієнта надлишку повітря) α при незмінному положенні дроселя: лінія $n(20)$ - заслінка відкрита на 20%; лінія $n(40)$ - заслінка відкрита на 40 %.

Побудована на рис. 3.3 регулювальна характеристика дозволила виявити два чутливі режими діагностування при малих і великих тривалостях впорскування палива.

Для автомобіля марки Logan таким режимам відповідають: $n(20)$ - малі тривалості впорскування $t = 2 \dots 12$ мс при ступені відкриття дросельної заслінки 20 % і $n(40)$ - великі тривалості впорскування $t = 12 \dots 24$ мс при ступені відкриття дросельної заслінки 40%. Вся область можливих змін режиму діагностування описується рівнянням (2):

$$n = (45,984 \cdot z^2 + 4,817 \cdot 10^3 + 8,096 \cdot 10^4) \cdot \alpha^2 + (-72,584 \cdot z^2 + 7,425 \cdot 10^3 \cdot z - 1,195 \cdot 10^5) \cdot \alpha + 27,754 \cdot z^2 - 2,748 \cdot 10^3 \cdot z + 4,383 \cdot 10^4 \quad (1)$$

де z - ступінь відкриття дросельної заслінки ДВЗ, %;

α - забезпечується при знятті регулювальної характеристики коефіцієнт надлишку повітря.

3.2 Обґрунтування режимів роботи двигуна при діагностуванні каталітичного нейтралізатора

Аналіз рис. 3.3 і рівняння (2) дозволяє обґрунтувати два режими контролю відпрацьованих газів методом індивідуального газоаналізу:

1. Режим відповідний частоті обертання колінчастого валу на холостому ходу, що характеризується 20% відкриттям дроселя при роботі на одному циліндрі (для 4-х циліндрових ДВЗ);

2. Режим середніх значень частоти обертання колінчастого валу двигуна при 40% відкриття дроселя.

Дані межі варіювання режимів діагностування дозволяють охопити всі можливі зміни опорів каталітичного нейтралізатора. Вихід за межі режимів рис. 3 призводить до неможливості стійкої роботи двигуна у процесі діагностування каталітичного нейтралізатора.

При проведенні визначення взаємозв'язку параметрів токсичності автомобільних бензинових ДВЗ з технічним станом каталітичного нейтралізатора двигуна та впливом другорядних факторів: електромагнітних форсунок та свічки запалювання – були використані дані інших наукових праць [18, 19].

Зміна параметрів токсичності відпрацьованих газів від різного технічного стану цих елементів представлено у вигляді графіків, наведених для прикладу рис. 3.4.

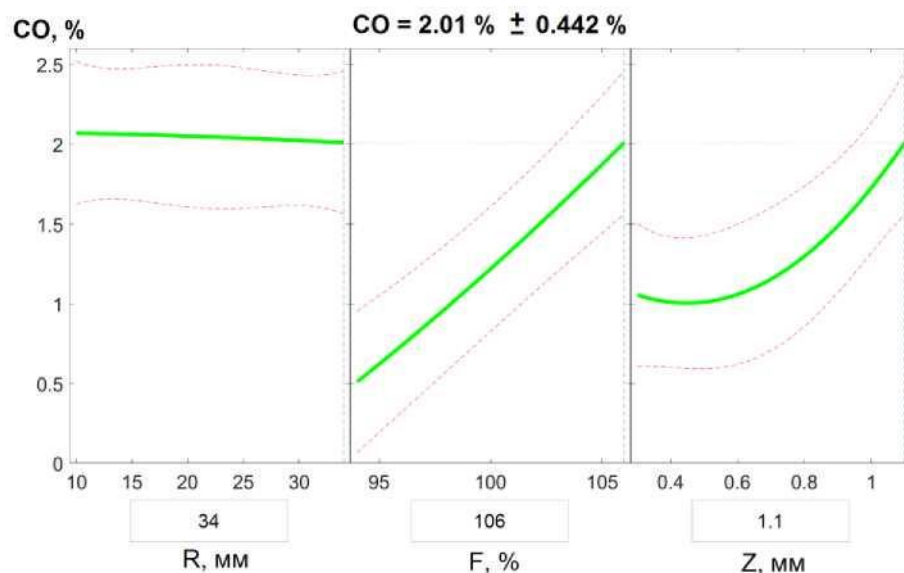


Рисунок 3.4 - Залежність вмісту CO у пробі відпрацьованих газів при

максимальній пропускній здатності форсунки 100 %, мінімальному еквівалентному опорі нейтралізатора 34 мм та максимальному іскровому проміжку свічки запалювання 1,1 мм.

Аналіз даних на рис. 4 показує, що поєднання факторів при максимальних рівнях варіювання у бік збільшення викликає зміну до 2,5%, що явно знаходиться вище допустимого рівня концентрації і є інформативним параметром для оцінки поєднання комбінації факторів.

Аналогічні взаємозв'язки були встановлені для вихідних параметрів: n , CO_2 , O_2 , CO , CH , при мінімальних та максимальних значеннях вхідних параметрів. Що дозволило встановити чутливість шуканих вихідних параметрів при взаємному поєднанні факторів, що варіюються.

3.3 Методика експериментальних досліджень, обладнання та прилади для виконання досліджень

На рис 5 показано схему дослідницького стенду. Особливістю даного стенду є проведення допрацювання випускного тракту ДВЗ до індивідуального контролю токсичності відпрацьованих газів та імітація несправностей каталітичного нейтралізатора.

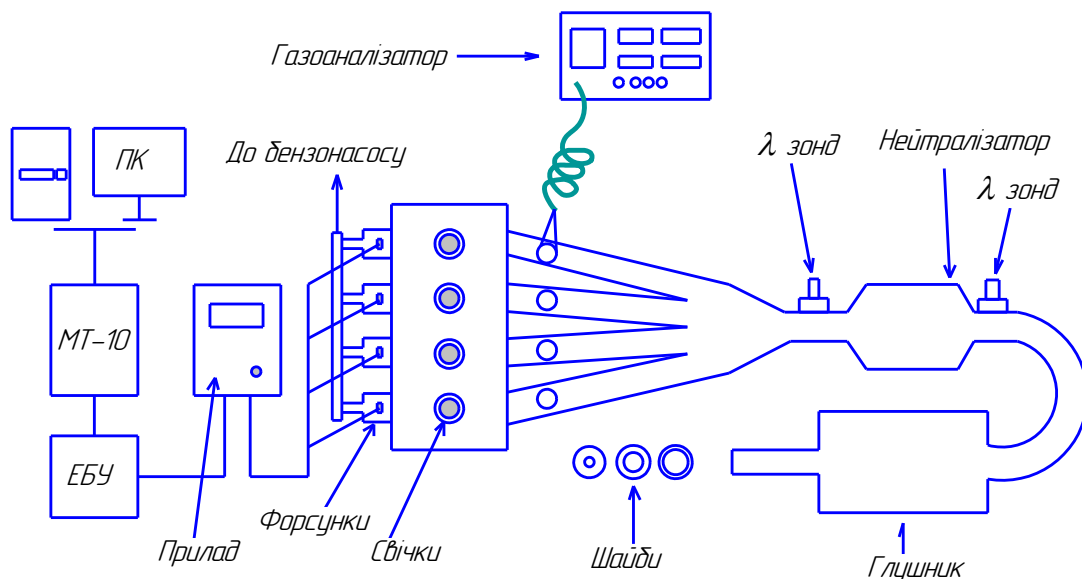


Рисунок 3.5— Схема дослідницької установки

На принциповій схемі експериментальної установки представлені засоби вимірювання, прилади та пристрої: діагностичний мотор-тестер МТ PRO 4.1 (рис. 3.6), персональний комп'ютер, довантажувач бензинового двигуна, чотирикомпонентний газоаналізатор «Автотест» (рис. 3.7).



Рисунок 3.6 - Діагностичний мотор-тестер МТ PRO 4.1



Рисунок 3.7 – Газоаналізатор.

Об'єктом випробувань був повнорозмірний експериментальний стенд, основою якого був найбільш поширений ДВЗ Renault Logan рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Експериментальна установка і лабораторне обладнання

Для створення імітації опору випускного тракту застосовані шайби еквівалентним перетином 10, 22 та 34 мм (основний фактор). запропоновано пристрій керування дросельною заслінкою. Вимірювальне обладнання дозволяє проводити вимірювання наступних параметрів: частоти обертання двигуна, відкриття дроселя, токсичності відпрацьованих газів - CO, O₂, CO₂ і CH, температури охолоджуючої рідини та оливи ДВЗ, напруги іонізації свічок запалювання, часу упорскування палива.

Були використані програмні продукти для обробки та аналізу експериментальних даних: Excel, Mathcad.

3.4 Результати експериментальних досліджень

Було виконано ряд експериментів щодо встановлення залежності складу відпрацьованих газів з технічним станом системи випуску відпрацьованих газів з урахуванням впливу інших систем ДВЗ.

Склад відпрацьованих газів оцінювався під час імітації наступних несправностей: випускної системи, системи подачі палива, системи запалення. В результаті обробки експериментальних даних були отримані залежності для наступних оціночних параметрів: складу відпрацьованих газів та частоти обертання колінчастого валу ДВЗ. Подібні графіки отримані при дослідженні змін стану каталітичного нейтралізатора, форсунок та свічок запалювання рис. 3.9 а, б, г, д.

З отриманої графічної залежності рис. 3.9 а) видно наступну тенденцію: при

комбінації міні параметрів каталітичного нейтралізатора 10 мм і граничного стану електромагнітних форсунок - 94% значення частоти обертання колінчастого валу - міні. Ця комбінація відрізняється міні подачею паливоповітряної суміші при обмеженні кількості відпрацьованих газів, при цьому створюється значний протитиск випуску відпрацьованих газів і частоті обертання колінчастого валу двигуна приймає міні значення - 1870 хв^{-1} .

Граничне обмеження стану каталітичного нейтралізатора призводить до різкого зниження частоти обертання ДВЗ аж до повної зупинки ДВЗ та неможливості подальшої роботи.

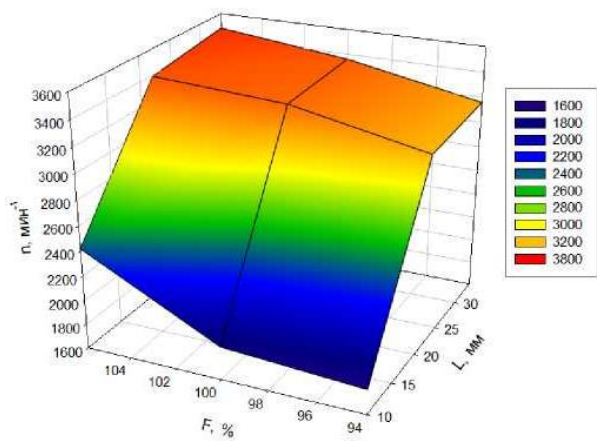
Якщо розглядати комбінацію максимум значень параметрів стану каталітичного нейтралізатора – 34 мм та граничного стану електромагнітних форсунок – 100 %, то частота обертання колінчастого валу двигуна досягає найбільших значень – 3480 хв^{-1} . максимум частота обертання колінчастого валу ДВЗ виникає через подання перезбагаченої паливо-повітряної суміші і вільному випуску відпрацьованих газів через випускний тракт з міні опором.

Поганий стан каталітичного нейтралізатора - поганий стан форсунок.

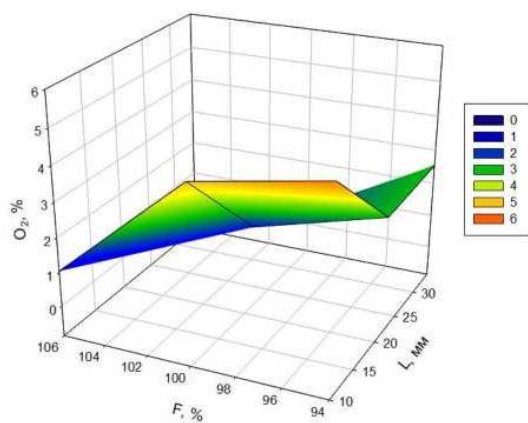
З аналізу представленого графіка рис. 3.9 б впливає, що при стану електромагнітних форсунок - 94% і поганому стані каталітичного нейтралізатора - 10 мм, вміст кисню в пробі відпрацьованих газів є максимум і дорівнює 4,92%. Цей показник пов'язаний з повним згорянням бідної суміші та накопиченням відпрацьованих газів у випускному тракті, що в явному вигляді говорить про відмову каталітичного нейтралізатора.

Проміжний стан каталітичного нейтралізатора та середній стан форсунок.

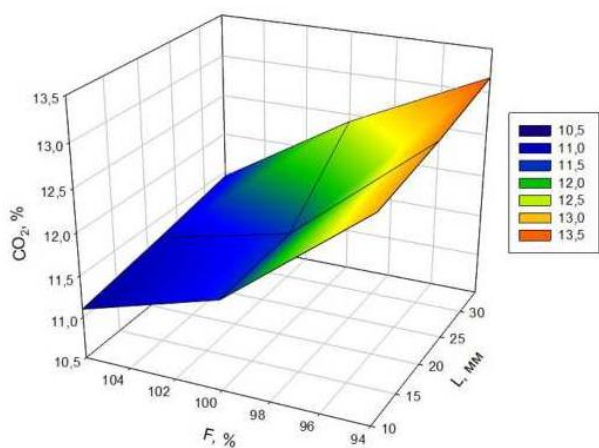
При комбінації проміжного стану каталітичного нейтралізатора – 22 мм та електромагнітна форсунки – 94 % на рис. 3.9 б) видно тренд «сідлоподібності», що характеризує значне перезбіднення паливо-повітряної суміші і наростаючий опір каталітичного нейтралізатора. Параметр O_2 у цій зоні становить – 2,48 %.



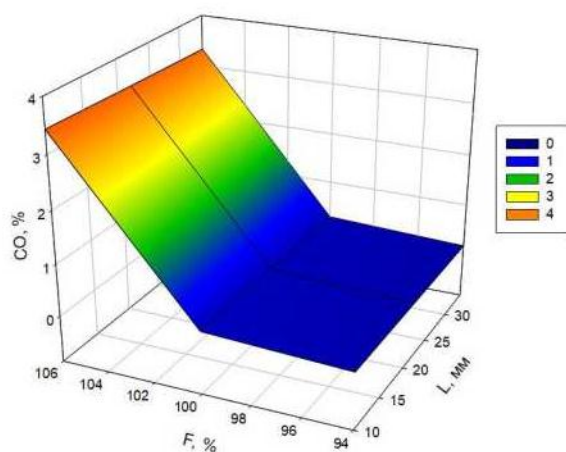
a)



б)



B)



Г)

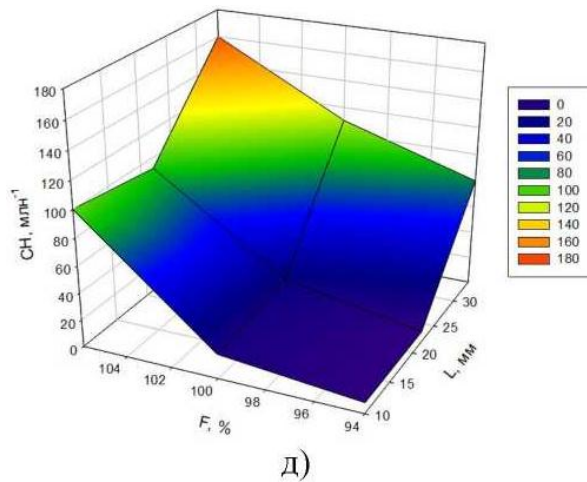


Рисунок 3.9 - Взаємозв'язки вихідних показників частоти обертання ДВЗ n , хв^{-1} , $\text{O}_2\%$, $\text{CO}_2\%$, $\text{CO},\%$, CH , млн.^{-1} від стану каталітичного нейтралізатора і електромагнітних форсунок при зазорі в свічка запалювання $z=1,1 \text{ мм}=\text{const}$.

Гарний стан каталітичного нейтралізатора – поганий стан форсунок.

Комбінація гарного стану каталітичного нейтралізатора (шайба 34 мм) і гарного стану електромагнітних форсунок - 94% приблизно подібна з варіантом при середньому стані каталітичного нейтралізатора - 22 мм і визначає головним чином недостатню паливоподачу ($\text{O}_2 = 2,53\%$).

Поганий стан каталітичного нейтралізатора – середній стан форсунок

При середньому стані електромагнітних форсунок – 100 % та поганому стані каталітичного нейтралізатора – (шайба 10 мм) фіксується підвищений вміст O_2 у пробі відпрацьованих газів – 4,24 %, що свідчить про несправність системи випуску відпрацьованих газів.

Поганий стан каталітичного нейтралізатора - гарний стан форсунок

При гарному стані електромагнітних форсунок – 106 % та поганому стані каталітичного нейтралізатора – 10 мм спостерігається різке зниження відсоткового вмісту O_2 до 1,04 %. Таке різке падіння вказує на тах багату паливо повітряну суміш і несправність форсунок, пов'язану з надмірною подачею палива.

Гарний стан нейтралізатора – середній стан форсунок.

При середньому стані форсунок – 100 % та гарному стані каталітичного нейтралізатора – 34 мм, фіксується показання $\text{O}_2 = 0,34 \%$, що вказує на

оптимальне згоряння паливо повітряної суміші.

Поганий стан нейтралізатора – гарний стан форсунок.

Аналіз даних рис. 3.9 в) показує міні значення параметра $CO_2=11,1\%$ реалізоване при комбінації гарний стан форсунок - 106% і поганий стан каталітичного нейтралізатора - 10 мм . Перезбагачена паливо повітряна суміш надходить у камеру згоряння відчуває значну складність забезпечення якісного згоряння. До того ж погане очищення циліндра та накопичення відпрацьованих газів перед каталітичним нейтралізатором ще більше посилюють ситуацію.

Поганий стан каталітичного нейтралізатора – середній стан форсунок.

Поєднання факторів середнього стану форсунок – 100% та поганий стан каталітичного нейтралізатора – 10 мм , призводить до зростання CO_2 до рівня $11,57\%$.

Результати, наведені рис. 3.9 г) відображають міні значення $CO=0,19\%$ при розкиді ПС ЕМФ від 94 до 100% , де характерні найкращі умови згоряння паливо повітряної суміші.

Поганий стан каталітичного нейтралізатора – поганий стан форсунок.

З поданої залежності на малюнку 7 д) впливає висновок: поєднання вхідних параметрів поганий стан форсунок ЕМФ – 94% та поганий стан каталітичного каталітичний нейтралізатора – 10 мм дає характерний міні $CH=8\text{ млн-1}$, що свідчить про значне перезбіднення паливо-повітряної суміші.

У той самий час збільшення зношування форсунки призводить до різкого збільшення CH до 160 млн-1 у відпрацьованих газах.

Грунтуючись на дослідження взаємозв'язків параметрів токсичності відпрацьованих газів від стану каталітичного нейтралізатора інших вторинних факторів були встановлені взаємозв'язки відносних значень параметрів токсичності відпрацьованих газів та частоти обертання колінчастого валу від стану каталітичного нейтралізатора, мм автомобілів Renault Logan у вигляді номограми (рис. 3.10).

Для визначення стану каталітичний нейтралізатора були перетворені реальні значення діагностичних параметрів: частоти обертання колінчастого валу ДВЗ п,

хв-1, концентрація CO, %, концентрація CH, млн-1, концентрація O₂, %, концентрація CO₂, % у відносні процентні величини, які вимірюються в %.

При отриманні відносних величин параметрів була прийнята умова: за початок звіту рахувати величини вихідних факторів, коли токсичні показники відпрацьованих визначаються на справному (еталонному) ДВЗ та прийняті за 100 %.

При певних технічних станах вузлів ДВЗ ці параметри можуть як збільшуватися, так і зменшуватися.

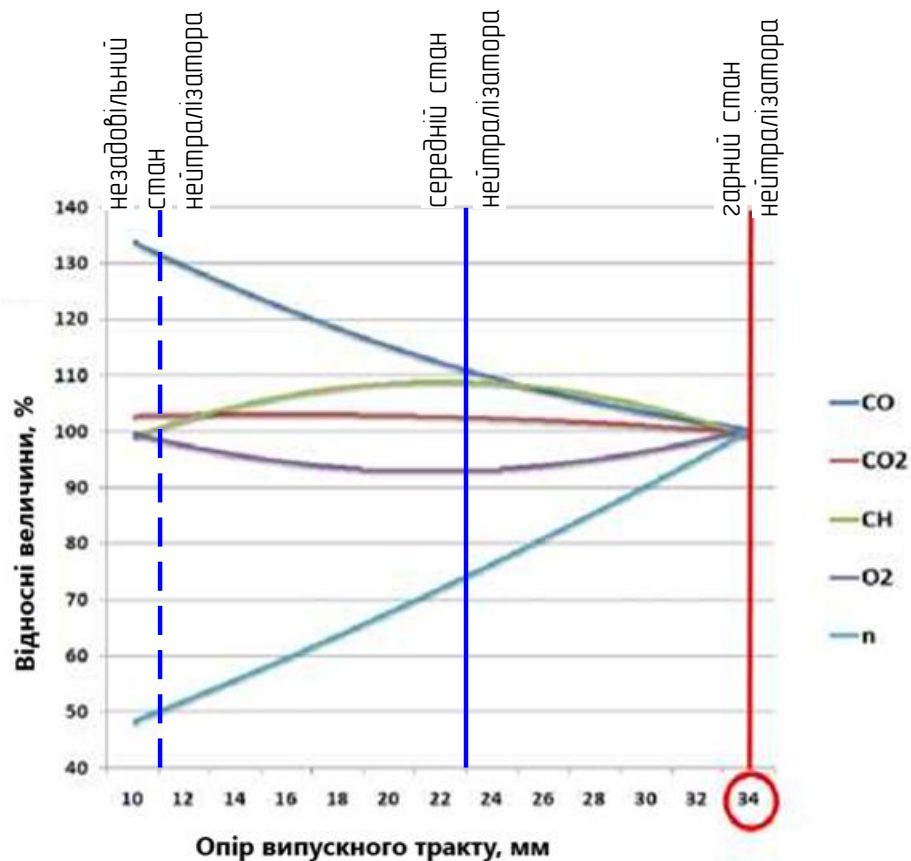


Рисунок 3.10 - Залежності токсичності відпрацьованих газів від стану каталітичного нейтралізатора

Якщо технічний стан каталітичного нейтралізатора відповідає еталону - відносні величини CO, CO₂, O₂, CH, n, мають 100 % значення і з цього еталона починається звіт змін параметрів.

Видно, що при переході від гарного до середнього стану каталітичного нейтралізатора до 22 мм відбувається збільшення, CO₂, CH і зменшення O₂ і n.

Збільшення показника CO склало 12%, CO₂ – 3%, CH – 9%. Два параметри O₂ та λ зменшилися: відповідно на 8 та 28 %. Найбільшу чутливість до зміни технічного стану каталітичний нейтралізатор має – частота обертання ДВЗ.

Відносні величини O₂ та CH при середньому стані каталітичного нейтралізатора – 22 мм мають злам CH – max, O₂ – min.

Подальше погіршення каталітичного нейтралізатора до поганого стану 10 мм викликає зниження цих параметрів. CO, CO₂ протягом усього зміни каталітичного нейтралізатора збільшуються, λ - зменшується.

Були розглянуті аналогічні порівняльні номограми іншого поєднання чинників.

Загальний час процесу діагностування каталітичний нейтралізатор при використанні способу індивідуального газоаналізу становить – 30 чол-хв.

Тоді як застосування існуючих методів контролю вимагає до 60 чол-хв щодо повного контролю каталітичного нейтралізатор.

ВИСНОВКИ

1. При реалізації роздільного випуску з установкою датчиків кисню для селективного контролю складу газів, що відпрацювали, в окремих циліндрах необхідна індивідуальна корекція параметрів системи випуску виходячи з поточного технічного стану ДВЗ. Для селективного контролю за індивідуальною корекцією параметрів систем та забезпечення необхідних екологічних та економічних показників ДВЗ, що дозволяє розпізнавати відмови, використовуються пристрої аналізу складу газу в окремому циліндрі, мотор-тестер та довантажувач тестових режимів.

2. Встановлено, що найбільшим є перепад тиску на ступені нейтралізатора, який складається з трьох підступів: механічного та двох каталітичних. Граничне значення перепаду тиску (опір) в каталітичному нейтралізаторі оцінюється еквівалентним діаметром прохідного перерізу, який становив 10 мм.

3. Запропоновано метод оцінки технічного стану каталітичного нейтралізатора за результатами індивідуального аналізу проб відпрацьованих

газів та засоби контролю. Встановлено, що оцінку технічного стану системи випуску слід проводити мінімум на двох режимах:

1. Перший режим при відкритті дроселя на 20% (на одному циліндрі, що працює) приблизно відповідає оборотам холостого ходу. Що еквівалентно контролю відпрацьованих газів частоти обертання колінчастого валу ДВЗ на холостому ходу. При цьому режимі випускні гази йдуть тільки від одного циліндра, що працює, при мінімальних значеннях частоти обертання ДВЗ; 2. Другий режим при відкритті дроселя на 40% (на одному працюючому циліндрі) характеризує середні обертати частоти обертання ДВЗ. Що також відповідає нормам при перевірці токсичності відпрацьованих газів на середніх значеннях частоти обертання ДВЗ. Середні значення частоти обертання ДВЗ витримуються на тривалості впорскування набагато більших на відміну першого робочого режиму.

Встановлено, що достовірний контроль стану каталітичного нейтралізатора в експлуатації можливий за одночасної оцінки не менше трьох вихідних параметрів. Тривимірні поверхні та рівняння регресії, що описують ці поверхні, дозволяють з високою точністю визначити взаємозв'язки складу відпрацьованих газів та частоти обертання ДВЗ з технічним станом каталітичного нейтралізатора.

4. Встановлено поєднання вхідних параметрів, при яких вихідні параметри мають екстремальні (мінімальні або максимальні значення), а саме стан форсунок-стан каталітичного нейтралізатора, стан свічок запалювання та рівень токсичності відпрацьованих газів при різних комбінаціях стану даних елементів двигунів.

Список використаних джерел

1. → <https://kirovogrded.at.ua/> ¶
2. Розрахунок автомобільних двигунів. Навчальний посібник до курсового проектування/За ред. к.т.н. Дяченко В.Г., к.т.н. Саловського В.С. — Кіровоград: КДТУ, 2003. — 266 с.: іл. ¶
3. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни. Підручник. Друге видання. — К.: Арістей, 2004. — 476 с. ¶
4. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник / В. Ф. Шапко, С. В. Шапко. — Харків: Точка, 2016. — 232 с. ¶
5. Двигуни внутрішнього згорання. Серія підручників у 6 т. / За ред. проф. А. П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. — Харків: Прапор, 2004. — 384 с. ¶
6. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. — Луцьк: ЛНТУ, 2011. — 233 с. ¶
7. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згорання: навчальний посібник / В. Ф. Шапко. — Харків: Точка, 2011. — 194 с. ¶
8. Двигуни внутрішнього згорання поршневі. Характеристики. Частина 1. Стандартні вихідні умови, оголошені потужність, витрати палива та мастила. Методи випробування: ДСТУ ГОСТ ИСО 3046-1:2004 (ГОСТ ИСО 3046-1:2002, IDT); [Введ. 01.07.05.] — Київ: Держспоживстандарт України, 2005. — 23 с. ¶
9. Долганов К. Є. Тепловий розрахунок поршневих двигунів внутрішнього згорання на ПЕОМ: навчальний посібник / К. Є. Долганов., А. А. Лісовал, Л. П. Мержиєвська. — Київ: УТУ, 1999. — 76 с. ¶
10. → Захарчук В. І. Використання альтернативних моторних палив у засобах технологічного транспорту. — Луцьк: Луцький НТУ, 2015. — 233 с. ¶
11. → Каніло П. М. Канцерогенність відпрацьованих газів автомобілів / П. М. Каніло, К. В. Костенко, Н. В. Внукова, С. О. Коверсун // Автомобільний транспорт: сб. науч. тр. ХНАДУ. — Харьков, 2013. — Вип. 29. — С. 160—167. ¶
12. → Матейчик В. П. Моделювання екологічних показників транспортних засобів

- в інформаційно-аналітичній системі моніторингу транспортних потоків / В. П. Матейчик, К. Лейда, С. Ю. Гутаревич, М. П. Цюман // Вісник Національного транспортного університету. — К.: НТУ. — 2014. — Вип. 30. — С. 246-254. ¶
13. → Денісов В.Н., Рогальов В.А. Проблеми екологізації автомобільного транспорту. — Київ: «Просіт», 2005. — 311 с. ¶
14. → Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. — К.: НАУ, 2017. — 507 с. ¶
15. → Технологічні вимоги до засобів перевірки технічного стану, обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу. Наказ міністерства інфраструктури України №106 від 15.02.2012. ¶
16. → Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів [Текст] : навч. посіб. / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенський, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. — Вінниця: ВНТУ, 2012. — 118 с. ¶
17. → Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів: підруч. — Київ: Літера-ЛТД, 2017. — 224 с. ¶
18. → Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. — Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. — 188 с. ¶
19. → Тітова Л. Л., Надточій О. В., Роговський І. Л. Технічне діагностування автотransпортних засобів: Навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2020. 432 с. ISBN 978-617-7878-12-3. ¶
20. → Круглов С.М. Будова, технічне обслуговування і ремонт легкових автомобілів.—К.—1986.—238с. ¶
21. → Автомобілі: тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: навч. посібник / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. — К.: Видавництво КВІЦ, 2004. — 174 с. ¶
22. → О.О. Степанов. Аналіз умов роботи та несправностей турбокомпресорів автомобільних двигунів. Збірник праць молодих науковців. — Вип. 11. — Кропивницький: ЦНТУ, 2020. ¶

23. → Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. — К.: Знання, 2003. — 511 с. ¶
24. → Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Організація і управління. — К.: Знання, 2004. — 478 с. ¶
25. → Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. — К.: Вища шк., 1994. — (у 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. — 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. — 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. — 599 с. ¶
26. → Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : навч. посібник / А. П. Солтус. — К.: Арістей, 2006. — 176 с. ¶
27. → Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Либідь, 2006. — 400 с. ¶
28. → Клімов С. В. Експлуатація і обслуговування машин : навч. посіб. / С. В. Клімов. — Рівне : НУВГП, 2010. — 218 с. / [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://er3.nuwm.edu.ua/id/eprint/5573>. ¶
29. → Жерновий А.С. Аналіз та вибір засобу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Окремий випуск — К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2004. — С. 147 — 149. ¶
30. → Жерновий А.С. Розробка та дослідження методу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Окремий випуск — К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. — С. 56 — 59. ¶
31. → Оробей, В. Ф. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобілем [Текст] / В. Ф. Оробей, В. Г. Максимов, О. Д. Ніцевич та ін. : під ред. М. Б. Копитчука. — О.: Наука і техніка, 2012. — 392 с. ¶
32. → Пришляк В.М. Визначення ефективності роботи автотракторних двигунів адаптованих для часткових режимів навантаження / В.М. Пришляк, А.А. П'ясецький, С.А. Бурлака // Техніка, енергетика, транспорт АПК. — Вінниця: ВНАУ, 2016. — Випуск 3 (95). — С. 57-62. ¶