

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момотенка

Руслан ШАТРОВ

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення інноваційної технології діагностування двигунів Volvo V50 D5»

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Войтюк Валерій Дмитрович

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Роговський Іван Леонідович

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Рибак Максим Олександрович

(підпис)

(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

д.т.н., проф. Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
Рибаку Максиму Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Удосконалення інноваційної технології діагностування двигунів Volvo V50 D5»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 р. № 2039 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню питання діагностичних параметрів технічного стану дизелів автомобілів, імовірність безвідмовної роботи дизеля

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ
2. РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИРОСТАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ
3. РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ
4. РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 16 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Роговський І.Л.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Рибак М.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Удосконалення інноваційної технології діагностування двигунів Volvo V50 D5» складається із 73 аркуша формату А4, на яких містяться 4-ри розділи, 5 таблиць, 29 рисунків, 50 джерел інформації.

Об'єктом дослідження є процес діагностування технічного стану дизелів автомобілів.

Предметом дослідження є вплив технічного стану дизеля на температуру відпрацьованих газів (ВГ).

Мета дослідження – підвищити ефективність технічної експлуатації автомобілів за рахунок удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану дизелів.

Методи дослідження: передбачали математичне моделювання при підвищенні ефективності технічної експлуатації автомобілів на персональному комп'ютері показників при діагностуванні.

Наукова новизна складається: набули подальшого розвитку оцінка технічного стану дизелів за рахунок побудови діагностичної моделі діагностування.

Ключові слова: АВТОМОБІЛЬ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ДІАГНОСТУВАННЯ, ДИЗЕЛЬ, ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ, АЛГОРИТМ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ	8
1.1. Роль діагностування в сучасних умовах експлуатації автомобілів	8
1.2. Методи, способи та засоби діагностування ДВЗ	18
1.3. Метод самодіагностування у ДВЗ	26
1.4. Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИРОСТАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ	32
2.1. Аналіз доцільного методу, способу та засобу діагностування технічного стану дизеля	32
2.2. Обґрунтування вибору доцільного засобу діагностування технічного стану дизелів	36
2.3. Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ	45
3.1. Визначення показників двигуна в моделі діагностування технічного стану	45
3.2. Побудова функціональної діагностичної моделі двигуна	52
3.3. Аналіз статистичних даних відмов елементів ДВЗ	58
3.4. Висновки до розділу 3	61
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	62
4.1. Моделювання матриці технічних станів дизеля	62
4.2. Моделювання оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності дизеля	64
4.3. Моделювання технологічного процесу при експрес-	

	5
діагностуванні дизеля	66
4.4. Висновки за розділом 4	71
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ВСТУП

Актуальність. В Україні, станом на 2024 рік, питома вага автомобільного транспорту в перевезенні вантажів складала 69%, а у перевезенні пасажирів: за міжміським сполученням - 72,5%; внутрішньоміським - 39,7% та приміським сполученням - 56,7%. Таку позицію автомобільний транспорт має завдяки високій мобільності та великій розмаїтності транспортних засобів за вантажопід'ємністю, призначеністю, конструктивними й техніко-економічними характеристиками. Невід'ємною частиною технічного обслуговування та ремонту є діагностування, яке разом з прогнозуванням залишкового ресурсу є одним з найважливіших умов підвищення ефективності, економічності та надійності використання автомобілів.

Таким чином, є актуальним своєчасне, якісне і повне задоволення потреб країни у перевезеннях, підвищення економічної та екологічної ефективності роботи кожного підприємства і галузі в цілому. Виконання цього завдання неможливе без підтримки автомобільного транспорту у технічно справному стані та високій технічній готовності.

Об'єктом дослідження є процес діагностування технічного стану дизелів автомобілів.

Предметом дослідження є вплив технічного стану дизеля на температуру відпрацьованих газів (ВГ).

Метою роботи є підвищити ефективність технічної експлуатації автомобілів за рахунок удосконалення способу діагностування технічного стану дизелів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати засоби діагностування технічного стану дизелів.
2. Побудувати функціональну діагностичну модель двигуна.
3. Змодельовати оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизеля.
4. Змодельовати технологічний процес діагностування дизеля.

Методи дослідження: передбачали математичне моделювання при підвищенні ефективності технічної експлуатації автомобілів на персональному комп'ютері показників при діагностуванні.

Наукова новизна. Набули подальшого розвитку оцінка технічного стану дизелів за рахунок побудови діагностичної моделі діагностування.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ

1.1. Роль діагностування в сучасних умовах експлуатації автомобілів

Найбільш поширеним і доступним видом транспорту в Україні є автомобільний транспорт, який широко використовується для міських, приміських, міжміських, внутрішньорайонних, внутрішньообласних, міжобласних та міжнародних перевезеннях вантажів і пасажирів. За обсягом перевезень вантажів та пасажирів протягом багатьох років він обіймає перше місце. В Україні, станом на 2015 рік, питома вага автомобільного транспорту в перевезенні вантажів складала 69%, а у перевезенні пасажирів: за міжміським сполученням - 72,5%; внутрішньо міським - 39,7% та приміським сполученням - 56,7% [1]. Таку позицію автомобільний транспорт має завдяки високій мобільності та великій розмаїтості транспортних засобів за вантажопід'ємністю, призначенням, конструктивними й техніко-економічними характеристиками. Завдяки цьому він може забезпечити перевезення вантажів різних за виглядом, характером, обсягом і величиною партії, забезпечуючи високу якість їхньої доставки безпосередньо від постачальника до замовника.

Якість роботи автомобільного транспорту значною мірою впливає на безперебійність торгівлі, собівартість продукції, розмір товарних запасів і рентабельність підприємств, задоволення попиту населення в пасажиро-перевезеннях, а споживачів у товарах.

Вимоги ринкової економіки призводять до необхідності посиленої боротьби автотранспортних підприємств за споживачів транспортних послуг, що, своєю чергою, має позитивний вплив на підвищення якості надання послуг і розширенні їх асортименту.

З іншого боку, автомобільний транспорт споживає значну кількість паливних ресурсів і чинить серйозний вплив на навколишнє середовище. Викиди автотранспортом складають понад третину усього об'єму викидів забруднюючих речовин в Україні, а в деяких містах більше, ніж половину. Так, у Чернівцях -

75%, Києві та Вінниці - 77%, Львові - 79%, Івано-Франківську і Луцьку - 83%, Полтаві та Хмельницькому - 88%, Ужгороді - 91% від загальної кількості викидів. Понад 40% оксиду вуглецю, 40% вуглеводів і близько 30% оксидів азоту від загальної кількості цих речовин, які потрапляють у повітря належить різним видам транспорту [2]. Таким чином, швидке зростання кількості автотранспортних засобів на дорогах призвело до істотного ускладнення екологічної обстановки, особливо у великих містах. В експлуатації значний вплив на споживання палива та забруднення навколишнього середовища справляє технічний стан транспортних засобів.

Таким чином, основними завданнями автомобільного транспорту є - своєчасне, якісне і повне задоволення потреб країни у перевезеннях, підвищення економічної та екологічної ефективності роботи кожного підприємства і галузі в цілому. Виконання цього завдання неможливе без підтримки автомобільного транспорту у технічно справному стані та високій технічній готовності.

Основним засобом забезпечення постійної високої технічної готовності КТЗ є своєчасне проведення з високою якістю технічного обслуговування або ремонту.

Так, технічне обслуговування визначає комплекс операцій чи операції щодо підтримки роботоздатності або справності виробу під час використання за призначенням, зберігання та транспортування, а ремонт – комплекс операцій щодо відновлення справності або роботоздатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи їх складових частин [3].

Невід'ємною частиною технічного обслуговування та ремонту є діагностування, яке разом з прогнозуванням залишкового ресурсу є одним з найважливіших умов підвищення ефективності, економічності та надійності використання автомобілів.

Основою технічного обслуговування рухомого складу в автомобільних господарствах і станціях технічного обслуговування є застосування і використання таких методів та підходів до обслуговування, які б були направлені на підвищення ефективності використання автомобілів, на зниження витрат і

простоїв при технічному обслуговуванні та ремонті. Більшість з них ґрунтується на методах теорії надійності машин, і відповідно, носить ймовірнісний характер.

Для певної сукупності транспортних засобів, об'єднаних однаковими умовами експлуатації, методи теорії надійності дозволяють з достатньою ефективністю визначати необхідність у технічному обслуговуванні, ремонті, запасних частинах і прогнозувати залишковий ресурс. Однак, щодо конкретного транспортного засобу, чи його агрегатів, або при особливих умовах експлуатації, вони не дозволяють прийняти оптимальне рішення. У цьому випадку вирішити питання щодо встановлення реального технічного стану та об'ємів необхідних технічних дій можливо здійснити за допомогою технічного діагностування.

Технічне діагностування є складовою частиною технічного обслуговування [3]. Воно вивчає та встановлює ознаки несправного стану, методи, принципи і обладнання, за допомогою яких надається інформація щодо технічного стану, а також, здійснює прогнозування залишкового ресурсу [4-10]. Основним завданням технічного діагностування КТЗ є скорочення витрат на їх технічне обслуговування і зменшення втрат від простою в результаті відмов окремих агрегатів [11, 12, 13].

Враховуючи масштаби застосування дизелів на автомобільному транспорті, вирішення питань, пов'язаних з їх діагностуванням, має важливе практичне значення. Особливо важливим є визначення технічного стану КТЗ з дизелями при випуску їх на лінію.

Теорія, методи та засоби технічного діагностування поєднують у собі питання щодо організації оптимальної процедури перевірки технічного стану складних об'єктів та вирішення виникаючих при цьому проблем та задач, а також методи та засоби, що необхідні для вирішення цих задач та виконання зазначених процедур.

Технічна діагностика містить відомості про методи і засоби оцінки технічного стану машин, механізмів, устаткування, конструкцій та інших технічних об'єктів.

Технічний стан об'єкта - це стан, який характеризується значеннями

параметрів, які встановлені технічною документацією на об'єкт.

Метою технічного обслуговування і ремонту, згідно з «Положенням про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» - є підтримування дорожніх транспортних засобів у технічно справному стані та належному зовнішньому вигляді, забезпечення надійності, економічності, безпеки руху та екологічної безпеки [3].

За часом визначення технічного стану об'єкта розрізняють три типи задач діагностування:

➤ визначення технічного стану об'єкта у даний момент часу (задачі діагностування). Ці задачі важливі при виконанні технічного обслуговування та у разі прийняття рішення щодо подальшої експлуатації об'єкта;

➤ визначення технічного стану, в якому опиниться об'єкт через певний проміжок часу у майбутньому (задачі прогнозування). Вони використовуються під час визначення остаточного ресурсу;

➤ визначення технічного стану, в якому знаходився об'єкт у певному моменті часу у минулому (задачі генезису).

Ці задачі мають важливе значення при проведенні технічних експертиз з визначення причин аварійних ситуацій, невідповідностей об'єкта вимогам технічної документації, які виникли під час експлуатації тощо.

З точки зору автотранспортних підприємств, суб'єктів господарювання основним завданням технічного діагностування - є скорочення витрат на технічне обслуговування КТЗ, зменшення втрат від простою в результаті відмов, оперативне визначення, із встановленою вірогідністю, технічного стану транспортних засобів в цілому та їх частин, пошук дефектів, що порушили справний стан та роботоздатність машини, а також збір первинних даних для прогнозування залишкового ресурсу чи визначення вірогідності безвідмовної роботи машини у міжконтрольній період [14].

Отже, аналіз літературних джерел [15-19] показує, що основними функціями діагностування КТЗ є:

➤ оцінка технічного стану об'єкта;

- виявлення і визначення місця локалізації несправностей;
- прогнозування залишкового ресурсу об'єкта;
- моніторинг технічного стану об'єкта;
- виявлення причин відмов вузлів і механізмів.

Результатом діагностування об'єкта, технічний стан якого визначається, є встановлений технічний діагноз. Для постановки діагнозу необхідно оцінити відповідність параметрів стану об'єкту діагностування вимогам нормативно-технічної документації.

Ці параметри визначаються як діагностичні по величині, яка кількісно характеризує властивості об'єкта або процесу, що проходить у ньому, та використовується у процесі діагностування. У якості діагностичних параметрів використовуються як прямі (структурні) параметри (напрямую визначають технічний стан), так і не прямі (функціональні) параметри (функціонально залежні від структурних) [20]. Тобто, розрізняють прямі і непрямі діагностичні параметри, які ще називають - первинні і вторинні відповідно. Перші безпосередньо характеризують фізичний стан об'єкта, а другі пов'язані з прямими параметрами функціональною залежністю.

Для забезпечення високої достовірності діагнозу діагностичний параметр повинен відповідати наступним вимогам [3]:

- однозначно змінюватися відповідно до зміни технічного стану двигуна;
- мати досить широкий діапазон зміни при зміні технічного стану (в цьому випадку легше і точніше можна оцінити відносну зміну параметра);
- бути зручним для вимірювання.

Реалізація діагностування з оцінюванням значень діагностичних параметрів виконується за допомогою різноманітних методів. Залежно від технічних засобів і діагностичних параметрів, які використовуються при проведенні діагностування, можна скласти наступний перелік основних методів діагностування:

- органолептичні методи діагностування, які засновані на

використанні органів чуття людини (огляд, прослуховування);

➤ вібраційні методи діагностування, які засновані на аналізі параметрів вібрацій технічних об'єктів;

➤ акустичні методи діагностування, засновані на аналізі параметрів звукових хвиль, що генеруються технічними об'єктами та їх складовими частинами;

➤ теплові методи, що засновані на вимірюванні температур та температурних полів;

➤ специфічні методи, що притаманні окремо для кожної з областей техніки.

При проведенні технічного діагностування існують дві основні проблеми, що можуть виникнути:

➤ похибка першого роду - імовірність «помилкової тривоги», тобто ймовірність помилкового сигналу про наявність несправності;

➤ похибка другого роду - імовірність пропуску несправності.

Чим вища ймовірність «помилкової тривоги», тим менше ймовірність пропуску несправності, і навпаки. Завдання технічної діагностики полягає в знаходженні певної «рівноваги» між цими двома похибками.

Технічне діагностування вивчає та встановлює ознаки несправного стану, методи, принципи і обладнання, за допомогою яких надається заключення щодо технічного стану КТЗ та його систем без розбирання, а також здійснюється прогнозування залишкового ресурсу. Технічне діагностування також є одним з видів технічних дій, що спрямовані на підтримання транспортного засобу у справному стані.

В умовах автотранспортних підприємств перед технічним діагностуванням постає задача відокремити ремонтні роботи від технічного обслуговування та забезпечити при обслуговуванні виконання мінімально-необхідної кількості робіт, достатніх для забезпечення нормальної експлуатації КТЗ на певний період.

В «Положенні про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу

автомобільного транспорту» підкреслено, що основним методом виконання контрольних робіт є діагностування, яке призначено для виявлення технічного стану автомобіля, його агрегатів і вузлів без розбирання та є технологічним елементом технічного обслуговування і ремонту [3].

Застосування автотранспортними підприємствами сучасних автоматизованих систем управління виробництвом, визначення оптимальної кількості і номенклатури запасних частин, крім знання характеристик надійності, вимагає також наявність об'єктивної інформації щодо технічного стану транспортних засобів, який постійно змінюється.

Такі дані можуть бути отримані тільки методами технічного діагностування, а застосування комплексних станцій технічного обслуговування можуть забезпечити їх автоматизоване збирання та поповнення. В наш час такі станції діагностування транспортних засобів отримали широке розповсюдження.

Досвід появи та використання таких станцій в автотранспортних підприємствах вказує на великі економічні вигоди, які обумовлені зниженням витрати на технічне обслуговування та ремонт, підвищенням продуктивності транспортних засобів, зменшенням витрати палива і запасних частин.

Станції технічного діагностування транспортних засобів вперше були створені у США, а потім отримали широке розповсюдження в країнах Західної Європи. При виконанні комплексного діагностування двигуна використовують різноманітне контроль-вимірювальне обладнання, більшість якого в сучасних умовах – комп'ютеризоване. Діагностування двигунів внутрішнього згорання в експлуатації дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт орієнтовно на 30% [7].

Однак, найбільшої ефективності від застосування діагностування можливо досягти при одночасній розробці об'єкту (КТЗ чи ДВЗ) та системи його діагностування.

З цієї мети на більшість сучасних автомобілів заводи-виробники встановлюють бортові системи діагностування, які за допомогою датчиків слідкують за справністю двигуна та його окремих систем.

Сучасні конструкції автомобілів та їх агрегатів, а також забезпечення експлуатаційних вимог, вимагають розробки інструментальних методів об'єктивного діагностування. При цьому проблема діагностування двигунів являється найбільш важливою, так як це самий складний і дорогий агрегат, від стану якого, в першу чергу залежить ефективність транспортних засобів.

На практиці, в експлуатації двигуни не завжди забезпечують гарантовану потужність та витрату палива. Відхилення потужності та показників паливної економічності складно виявити за зовнішніми ознаками роботи двигуна без застосування спеціального обладнання.

В процесі експлуатації відбувається як природна, так і випадкова зміна технічного стану вузлів, агрегатів і систем двигуна (знос деталей, вузлів, розрегулювання, поломки тощо), що погіршує його показники, знижує ресурс роботи і може призвести до аварійного виходу двигуна з ладу. Для підтримки справного стану двигуна і продовження його терміну служби проводяться технічне обслуговування і ремонт.

Заходи з технічного обслуговування (догляду) та ремонту двигуна можуть здійснюватися або в планово-попереджувальному порядку (регулярно, через певний період роботи двигуна і в заданому обсязі), або в залежності від фактичного стану. Проведення технічного обслуговування і ремонту на підставі фактичного технічного стану двигуна є більш доцільним, так як в цьому випадку зменшується можливість випадкових простоїв і підвищується гарантована безвідмовність роботи двигуна. При цьому, ремонту і догляду підлягають лише ті вузли і деталі, які дійсно цього потребують, і в результаті чого повніше використовується ресурс кожного конкретного вузла і двигуна в цілому.

Визначення фактичного технічного стану двигуна і прогнозуванням ресурсу його безвідмовної роботи за допомогою технічної діагностики, це - процес визначення технічного стану з певною точністю. Базується діагностування на вивченні ознак несправного стану деталей і вузлів двигуна, а також на розробці методів і обладнання, що дозволяють дати висновок про їх стан. Технічне діагностування проводять без повного розбирання двигуна, а на

підставі результату оцінки його технічного стану ведеться прогнозування залишкового ресурсу.

У технічній діагностиці використовуються поняття прямого (структурного) і непрямого (функціонально залежного від структурного) діагностичного параметра. Прямий (структурний) параметр - це, як правило, характеристика технічного стану деталі або вузла двигуна (розмір, форма, чистота поверхні, сполучення деталей тощо). Діагностичні параметри використовуються для перевірки роботоздатності і пошуку дефектів як двигуна в цілому, так і його складових частин. У двигуні діагностичними параметрами можуть служити параметри, що характеризують характер сполучення основних деталей (зазор між циліндром і поршнем, зазор між шийками колінчастого валу і підшипниками - корінними і шатунними, знос направляючих втулок клапана і т. п.), а також, параметри, що характеризують роботу двигуна (потужність, витрата палива, тиск, температура деталей і газів, рівень шуму і вібрації, склад та колір відпрацьованих газів і т. п.).

Технічне діагностування двигунів може здійснюватися як в процесі його експлуатації при нормальній роботі (функціональне технічне діагностування), так і при відриві від виконання корисної роботи (тестове технічне діагностування). У першому випадку всі операції діагностування проводять безперервно або з будь-якою періодичністю, двигун обладнано вбудованими засобами діагностування (датчиками), а апаратура для прийому і обробки інформації діагностування розміщена на транспортному засобі, на якому встановлений даний двигун. При цьому система діагностування може бути повністю автоматизована (наприклад - бортова діагностична система).

У іншому випадку діагностування проводиться із заданою періодичністю (за часом роботи двигуна, чи по пробігу транспортного засобу) або за потребою на спеціальних стендах. Стенд обладнаний вимірювальною апаратурою та апаратурою обробки інформації і має комплекс засобів діагностування, що приєднуються до двигуна. На двигуні для цієї мети повинні бути передбачені пристрої сполучення (роз'єми, штуцери, перехідники та ін.). Іноді двигун має

певну кількість вбудованих засобів діагностування (датчики тиску, температури, частоти обертання та інші), які також можуть бути підключеними до вимірювальної апаратури стенду.

При діагностуванні двигунів на стендах використовуються методи, що дозволяють оцінювати як загальний технічний стан двигуна (так зване поверхнєве діагностування), так і методи поелементного (локального) діагностування (поглиблене діагностування).

Технічне діагностування двигуна в цілому (поверхнєве діагностування) полягає в оцінці технічного стану за інформацією: «справний» або «несправний», роботоздатний чи ні. При цьому в практиці діагностування автомобільних двигунів технічний стан оцінюють за такими вихідними параметрами, як максимальна ефективна потужність двигуна, витрата палива, склад і температура випускних газів, витрата моторної оливи на чад тощо.

Поглиблене діагностування призначене для пошуку причин та місця виникнення несправностей та відмов. Перелік застосовуваних методів, засобів та вихідних параметрів є значно більшим ніж при поверхневому діагностуванні.

Практика експлуатації та різноманітні дослідження показують, що зниження потужності та економічності дизелів, як правило, обумовлено порушеннями в роботі системи живлення і в першу чергу паливної апаратури. Наприклад, невірно встановлений кут випередження впорскування та збільшена циклова подача палива призводять до прискорення зносу деталей циліндро-поршневої групи. Порушення зазорів та регулювань деталей циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатуного та газорозподільного механізмів, а також інших механізмів і систем дизеля, призводять до завчасних аварійних поломок, які вимагають значних затрат на відновлення.

Одночасно з перевіркою енергетичних та економічних показників, що характеризують загальний технічний стан дизеля, необхідно розробити методи діагностування його окремих систем і вузлів по різноманітним параметрам. Необхідно також визначити перелік перевірок, що дозволяють виконувати контроль роботоздатності та пошук несправностей в дизелі при мінімальних

затратах. Ці питання необхідно вирішувати на основі положень теорії технічного діагностування.

1.2. Методи, способи та засоби діагностування ДВЗ

Ефективність експлуатації КТЗ у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація про нього, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів. Технічний стан ДВЗ може бути описаний певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, в конкретних числових значеннях. Методи діагностування базуються на вимірюванні та аналізі таких параметрів, зміни яких в найбільшій мірі характеризують стан двигуна. Визначення переліку параметрів, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів, та вивчення їх взаємозв'язку з технічним станом вузлів і систем двигуна, а також розробка способів та засобів діагностування складають одну з основних задач діагностування двигунів [3].

Основи технічного діагностування ДВЗ були закладені ще за радянських часів роботами та дослідженнями що провадилися у таких науково-дослідних установах як: науково-дослідний автомобільний і автотранспортний інститут, Державний союзний науково-дослідний технологічний інститут ремонту та експлуатації тракторів і сільськогосподарських машин (ГОСНИТИ), науково-дослідний інститут автомобільного транспорту (НИИАТ), всесоюзний науково-дослідний інститут по нормалізації в машинобудуванні, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), Національний транспортний університет (НТУ), Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут та інші організації. Розробкою методів діагностування двигунів також займалися і виробники транспортних засобів та їх двигунів (ХТЗ, ЛАЗ, ЯМЗ, ЗМЗ, Харківський моторобудівний завод а інше) .

В попередніх дослідженнях та розробках запропоновано ряд методик, які дозволяють виконати діагностування ДВЗ без розбирання. Багато з них

реалізовано у спеціальних приладах, що досі широко використовуються в практиці діагностування та ремонту двигунів.

Ряд авторів присвячують свої роботи окремим методам діагностування дизелів, їх систем живлення. Порівняно багато робіт щодо діагностування дизелів та їх паливної апаратури виконано за кордоном.

Але, дуже часто пропонуються застаріли методи, способи та засоби діагностування, які недостатньо ефективно відображають реальний технічний стан об'єкта, та дублюють один одного.

Наприклад, одним з найбільш розповсюджених діагностичних параметрів ДВЗ є тиск моторної оливи, який доречи, в якості індикаторного показника внесеної до бортової системи контролю автомобіля, та дозволяє опосередковано оцінювати стан підшипників колінчастого та газорозподільного валів, а також самої системи змащування і її моторної оливи. Але, залежність тиску моторної оливи від великої кількості факторів (величина зазорів в підшипниках, температура та в'язкість моторної оливи, технічний стан оливного насосу, клапанів та фільтрів) не завжди дозволяє однозначно визначити технічний стан двигуна.

У практиці діагностування для визначення стану циліндро-поршневої групи широко використовується показник витрати моторної оливи. Такий показник легко контролюється, але має суттєві недоліки. Витрата оливи залежить від теплового, швидкісного та навантажувального режимів роботи двигуна, стану сальників та ущільнюючих прокладок, рівня оливи у картері, її густини та в'язкості. Дослідженнями встановлено, що витрата оливи може змінитися у декілька разів від положення замків поршневих кілець, ступеня закоксованості поршневих кілець, а також дефектів ущільнень в механізмі газорозподілу.

Велика кількість факторів, які впливають на витрату оливи, вказують на неоднозначність цього параметру, а значний розбіг показників, що досягає 20 - 25% [16], та порівняно низька чутливість значно знижує переваги цього методу.

Інший дуже розповсюджений параметр для оцінювання стану циліндро-

поршневої групи (ЦПГ) - тиск кінця стиснення. Він вимірюється за допомогою компресиметра, який в дизелі встановлюється замість форсунки або свічки накалювання. Вимірювання виконується на непрогрітому двигуні, шляхом прокручування колінчастого валу стартером або на мінімальних обертах холостого ходу при роботі двигуна на циліндрах в яких не виконується вимірювання.

Тиск кінця стиснення, по мірі зношування ЦПГ, зменшується незначно, при максимальному зносі лише на 10-20%. Тому лише прискіпливе вимірювання дає змогу визначити зменшення тиску кінця стиснення, а з ним і знос ЦПГ або інші несправності. Тиск стиснення залежить також від в'язкості моторної оливи, температури двигуна та частоти обертання валу двигуна. Зі зміною в'язкості оливи, температури двигуна та частоти обертання - тиск стиснення змінюється. Крім того при значних порушеннях герметичності в клапанах або циліндрах тиск знижується при збільшенні частоти обертання. Відносно велика трудоемність, що обумовлена необхідністю часткового розбирання, та неможливість визначення конкретної причини зниження компресії є недоліками цього методу.

Декілька більшої достовірності діагнозу можна досягти визначаючи стан ЦПГ, щільності клапанів механізму газорозподілу та прокладки головки блоку шляхом вимірювання величини утікання стисненого повітря, що вводиться до циліндрів при закритих клапанах. У цього методу відсутня більшість недоліків попереднього. Він дозволяє визначити конкретне місце несправності, однак потребує часткового розбирання двигуна та почергової перевірки всіх циліндрів, що обумовлює його значну трудомісткість. На результати вимірювання значно впливає температура двигуна, в'язкість моторної оливи, а також положення поршневих кілець по висоті канавки. Перелічені недоліки обмежують використання даного методу на практиці.

Також контролювати стан ЦПГ можливо за визначенням кількості газів, що проникають до картеру (картерних газів). Ця перевірка виконується за допомогою газових лічильників та ротаметрів. Кількість газів, що прориваються до картеру, змінюється в широких межах в залежності від режиму роботи

двигуна, особливостей конкретного двигуна та не дозволяє оцінювати стан окремих циліндрів [16]. Для однотипних дизелів кількість картерних газів в режимах холостого ходу може коливатися у широких межах від 4 до 25 літрів на хвилину. Але при перевірці під навантаженням розбіг даних зменшується, тому метод визначення кількості картерних газів може успішно використовуватися лише при наявності навантажувального стенду.

Задачу визначення стану ЦПГ вирішують також шляхом вимірювання тиску картерних газів у картері. Тиск вимірюється моновакууметром (п'езометром), як правило, через отвір щупа для заміру рівня моторної оливи. Тиск в картері в значній мірі залежить від стану системи вентиляції та герметичності картера. Цьому методу притаманні переваги та недоліки попереднього методу.

Зміна розрідження у впускному трубопроводі також залежить від погіршення технічного стану ЦПГ, впускної системи, системи живлення паливом, кута випередження впорскування палива тощо. Дослідження можливості застосування цього параметра при діагностуванні ДВЗ встановили, що вплив багатьох факторів на величину розрідження та вплив особливостей конструкцій конкретних двигунів значно ускладнюють застосування цього методу.

Окремої уваги заслуговують науково-дослідні роботи, які пов'язані з віброметричним методом діагностування ДВЗ, що засновано на вимірюванні вібраційних параметрів.

По характеру шуму, стуку та місця його виникнення, за допомогою спеціального віброакустичного обладнання можна визначити зазори у шатунних та корінних підшипниках колінчастого валу, в підшипниках газорозподільного валу, зазори між поршнем та циліндром, в клапанах, рівномірність подачі палива та технічний стан паливного насосу високого тиску [15]. Автори цих робіт вважають, що за допомогою віброакустичних методів діагностування можна найбільш повно оцінити технічний стан ДВЗ, так як вони передбачають кількісну оцінку зміни технічного стану та дають можливість наглядно

спостерігати результати контролю. Але, наряду з перевагами, віброакустичний метод має суттєві недоліки, які полягають у необхідності проведення для кожної конкретної моделі двигуна трудоміких дослідницьких робіт по встановленню залежності між структурними параметрами та параметрами шуму і вібрації. Ця методика діагностування складна та потребує використання спеціального дорогого обладнання. Велика складність розподілу та аналізу віброакустичного сигналу є найбільшим недоліком цього методу.

В літературних джерелах також багато уваги приділяється розробці та впровадженню методів діагностування ДВЗ за аналізом проб картерної оливи. Науковці зазначають, що стан та наявність домішок в оливі є вагомим фактором, при оцінюванні технічного стану двигуна. В процедуру аналізу картерної оливи входить визначення концентрацій в ньому продуктів зносу, в'язкість, наявність води, палива та домішок. По кількості вмісту металів судять о темпах зношування ЦПГ, кривошипно-шатунного механізму (КШМ) тощо. Порівнюючи результати аналізу з гранично допустимими концентраціями можна заздалегідь визначити несправність в двигуні, її місце та характер.

До недоліків цього методу слід віднести необхідність систематично контролювати кожний двигун, з метою порівняння отриманих даних з попередніми значеннями. Це пояснює обмеженість застосування цих методів.

Велику зацікавленість, з точки зору можливості використання у діагностичних цілях, представляють такі параметри відпрацьованих газів, як склад, димність (колір) та температура. По хімічному складу, кольору та температурі відпрацьованих газів можна визначити несправності, пов'язані з роботою механізмів та систем двигуна.

Значне розповсюдження аналізу відпрацьованих газів при діагностиці двигунів з іскровим запалюванням обумовлено необхідністю контролювання технічного стану двигуна стосовно екологічній безпеки транспортних засобів.

Аналіз відпрацьованих газів двигунів з іскровим запалюванням використовується також для регулювання паливної апаратури.

При діагностуванні дизелів більш широке використання отримав метод

оцінювання технічного стану двигуна за димністю відпрацьованих газів (ВГ). Димність обумовлена вмістом у ВГ сажі, пари води, палива, моторної оливи тощо. За величиною димності та кольором ВГ дизеля можна судити щодо технічного стану системи живлення паливом, ЦПГ, газорозподільного механізму тощо. Визначення в експлуатації димності ВГ дизелів регламентовано законодавчо з метою контролювання технічного стану КТЗ та його двигуна стосовно екологічної безпеки.

Але, на результат контролювання димності значно впливають тепловий режим двигуна, довжина та форма випускного тракту, наявність водяної пари, температура газів, перепад тисків та інерційність вимірювальних приладів.

Окремо необхідно зазначити, що найбільш якісними за показниками точності, стабільності і надійності, є димоміри виробництва таких фірм, як BOSHC, AVL, SUN, HARTRIDGE. Але вартість обладнання зазначених виробників та затрати на його обслуговування і ремонт при експлуатації є дуже високими. Обладнання маловідомих фірм має меншу надійність, точність та стабільність показів, і тому потребує більш частого та ретельного проведення обслуговування та калібрування.

Згідно з інформацією наведеною у літературних джерелах на показник димності дизеля значною мірою впливають його технічний стан, тепловий стан, якість палива та правильне виконання і дотримання процедури вимірювання (випробування двигуна).

Вплив багатьох факторів на димність ВГ ускладнює оцінювання окремих конкретних несправностей, та дозволяє використовувати цей метод тільки для загальної оцінки технічного стану двигуна.

Велику зацікавленість для діагностування ДВЗ представляє індикаторна діаграма тисків у циліндрах. Зміна індикаторного тиску дає найбільш повне та якісне уявлення щодо характеру робочого процесу в ДВЗ і достатньо точно показує кількісну сторону параметра. Аналіз зміни індикаторного тиску дизеля дає змогу визначити індикаторну потужність та якість протікання робочого процесу в циліндрах. Погіршення технічного стану ЦПГ, порушення

герметичності циліндра, порушення регулювання системи живлення та газорозподільного механізму відображається на характері зміни тисків індикаторної діаграми та кількісному значенні індикаторного тиску. Виходячи з цього, він може використовуватися як діагностичний параметр, що характеризує зміну технічного стану ДВЗ.

Але, до цього часу індикаторні діаграми, в цілях діагностування, використовувалися лише в дослідницьких установках. Труднощі, пов'язані з вимірюванням індикаторного тиску в експлуатації, а також труднощі його аналізу, є причинами того, що індикаторний тиск, хоча він і є достатньо інформативним параметром, не застосовується для діагностування двигунів які не мають додаткового доступу до циліндрів.

Крім перелічених параметрів, для діагностування ДВЗ велике значення мають такі їх характеристики як ефективна потужність, крутний момент на колінчастому валу та питома витрата палива. Ці параметри у складі дають вичерпну інформацію, щодо придатності двигуна до експлуатації, хоча несуть мінімальну інформацію о несправностях окремих його систем, вузлів та деталей.

Для визначення потужності можуть використовуватися гальмівні, безгальмівні, парціальні методи, а також вимірювання потужності по прискоренню колінчастого валу.

Перевірка двигуна у навантажувальному режимі дозволяє підвищити діагностичні можливості параметрів, що контролюються, так як при цьому збільшується вплив несправностей на ці параметри. Гальмівний метод дає можливість легко та швидко встановити будь який режим роботи двигуна, але потребує наявності спеціальних гальмівних стендів та спеціальних вимірювальних приладів для визначення величин, які контролюються.

Парціальний та безгальмівний методи не потребують навантажувальних стендів, але потребують більш прискіпливих та тривалих в часі вимірювань, за рахунок почергового відключення частини циліндрів та встановлення додаткових навантажувальних пристроїв.

Оцінювання потужності та паливної економічності в цьому випадку

виконується за діаграмами, що є не дуже зручно.

Існує метод визначення зношування двигуна по часу розгону його валу від мінімальних до максимальних обертів, як функція ступеню його зношування. Враховуючи те, що зі зношуванням двигуна потужність знижується незначно, а інші несправності (наприклад, системи живлення) знижують її на 30 - 40%, навряд чи цей метод може надати надійні результати при оцінюванні зношування.

Окрім ефективної потужності, одним з основних параметрів при діагностуванні ДВЗ є питома витрата палива, яка визначається разом з енергетичними показниками. Однак витратоміри і спеціальне обладнання до них складні та потребують багато часу для монтажу і демонтажу в системі живлення паливом двигуна, тому використовуються виключно при стандартизованих, дослідницьких випробуваннях КТЗ та їх двигунів.

Крім того, при діагностуванні недоцільно обмежуватися тільки енергетичними показниками та паливною економічністю, необхідно контролювати стан всіх основних вузлів і систем двигуна, отримати інформацію щодо характеру та місця знаходження несправності.

Для дизелів особливо важливе значення має діагностування системи живлення паливом, оскільки більшість відмов дизелів пов'язано саме з цією системою. Аналіз літературних джерел показує, що на долю паливної системи припадає близько двох третин всіх несправностей дизелів.

В якості величин, що контролюються при діагностуванні дизельної паливної апаратури приймаються різноманітні характеристики елементів паливної системи. В ряді робіт пропонується контролювати тривалість впорскування, наявність вторинного підйому голки розпилювача, кут випередження впорскування та циклову подачу, тиск початку впорскування, циклову подачу, кут та довжину факелу розпилювання, які потребують складного діагностичного забезпечення.

1.3. Метод самодіагностування у ДВЗ

Більшість сучасних автомобілів мають вбудовану бортову систему діагностування, які за допомогою датчиків слідкують за справністю двигуна та його окремих систем. В конструкціях таких систем передбачено наявність спеціального діагностичного роз'єму для під'єднання комп'ютерних діагностичних приладів. Ці прилади дозволяють зробити комплексну функціональну діагностику автомобіля на діагностичній станції. При цьому значно скорочується час діагностування та зростає його достовірність.

Двигуни з електронною системою керування мають функцію діагностування методом самодіагностування. Суть методу полягає у наявності вбудованої в електронну систему керування двигуном функції самодіагностування, яка дозволяє, шляхом опитуванням пам'яті несправностей електронного блоку, швидко визначити несправний конструктивний елемент та зберігати код несправності у пам'яті блока. Перевагами цього методу є можливість визначення несправностей двигуна шляхом зчитування кодів похибок із п'яті з мінімальними затратами часу та кількістю діагностичних операцій. Застосування цього методу в експлуатації ускладнюється відносно великою вартістю діагностичного обладнання та високими вимогами до кваліфікації персоналу, який в свою чергу, для правильної постановки діагнозу повинен дуже добре володіти традиційними методами діагностування.

Виділення твердих частинок відбувається у вигляді чорного диму, що виділяється дизельним двигуном при певних умовах навантаження. Вихлопні гази - це складна суміш твердих і рідких елементів, причому тверді частинки - це, в основному, мікросфери вуглецю, на яких конденсуються вуглеводні, що виділяються з палива та мастильних матеріалів двигуна.

Система DPF складається з наступних елементів:

1. Сажевий фільтр.
2. Керуючий програмне забезпечення DPF вбудоване в модуль управління двигуном (Engine Control Module - ECM).
3. Датчик диференціального тиску.

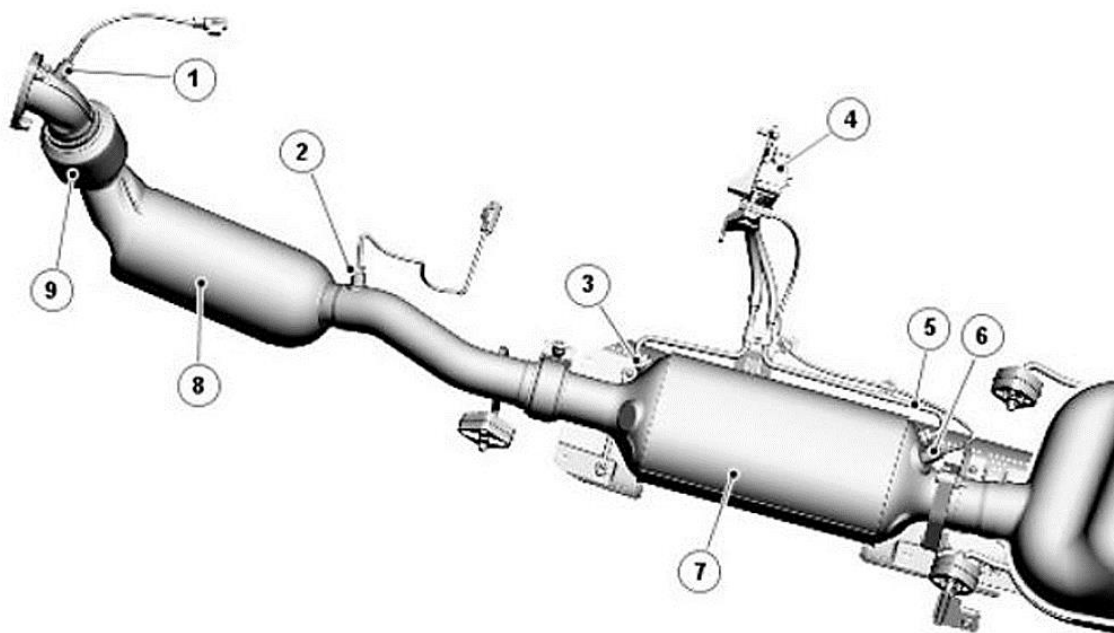


Рис. 1.1. Елементи системи DPF (Diesel Particular Filter - дизельний фільтр сажі)

1 - датчик температури ВГ (перед каталізатором); 2 - датчик температури ВГ (після каталізатора); 3 - трубка датчика високого тиску; 4 - датчик диференціального тиску; 5 - трубка датчика низького тиску; 6 - датчик температури ВГ (після DPF); 7 - фільтр сажі; 8 - каталізатор

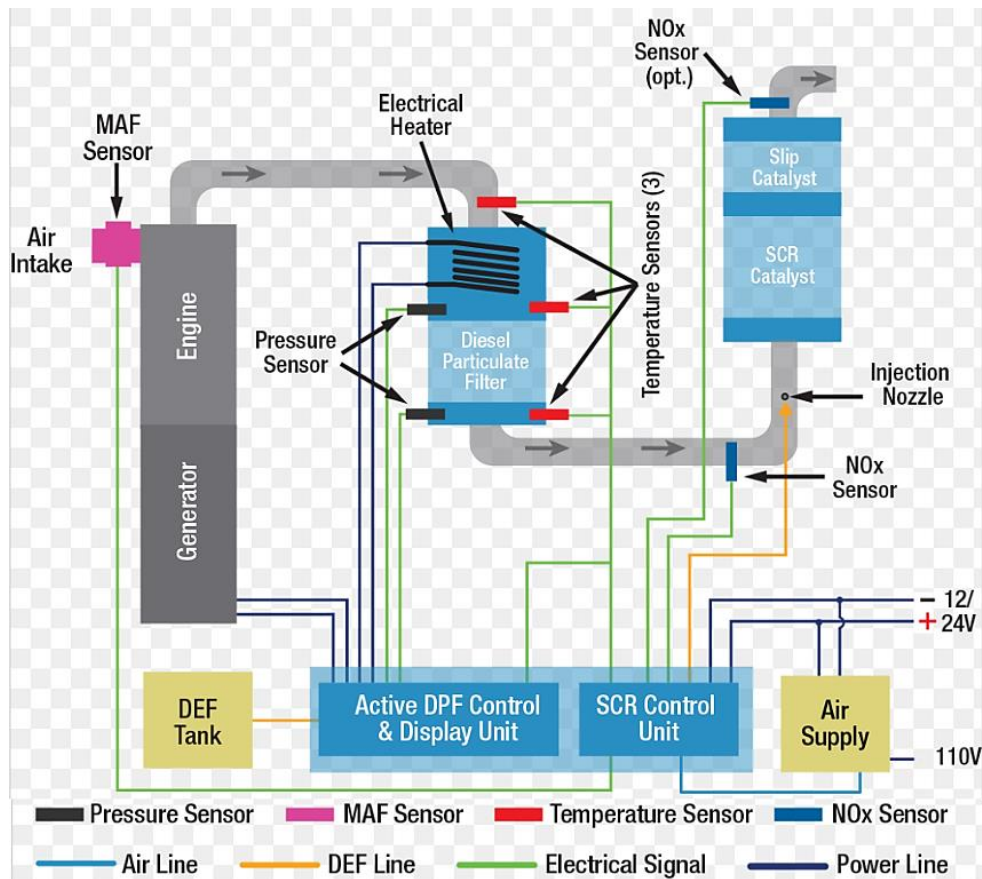


Рис. 1.2. Двигун з електронною системою керування з функцією діагностування методом самодіагностування

DPF розташований в системі випуску, позаду каталітичного нейтралізатора. Основна характеристика DPF - це його здатність до регенерації. Регенерація є згоряння твердих частинок, захоплених фільтром, яка запобігає закупорці фільтра і забезпечує вільне проходження вихлопних газів. Процес регенерації відбувається через розрахункові інтервали часу і не помітний для водія автомобіля.

Регенерація грає дуже важливу роль, оскільки переповнення фільтра може привести до пошкодження двигуна через надмірно високого зворотного тиску відпрацьованих газів, а також можлива поломка або руйнування самого фільтра. Продукти, що вловлюються фільтром, - це в основному частинки вуглецю з абсорбувати вуглеводнями.

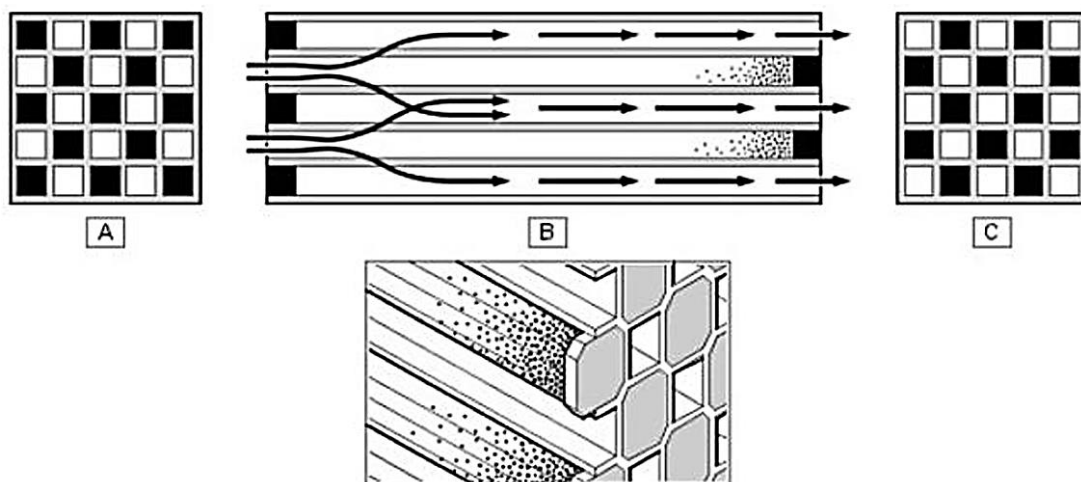


Рис. 1.3. Процес регенерації ВГ у DPF

А - лицьова сторона з чергуються закритими осередками; В - вид збоку, що показує потік ВГ, що проходить через фільтр, і збираються в фільтрі тверді частинки; С - задня сторона з чергуючими закритими комірками

DPF використовує технологію фільтрації на базі фільтра з каталітичним покриттям. DPF виконаний з карбїду кремнію, укладеного в сталевий контейнер, який має відмінну опірність до ударних теплових впливів і характеристиками теплопровідності. DPF розроблений з урахуванням експлуатаційних потреб для підтримки оптимального противотиску.

Пориста поверхня фільтра складається з безлічі маленьких паралельних каналів, розташованих поздовжньо по відношенню до випускній системі. Суміжні канали в фільтрі упереміж закриті з кінця. Така конструкція змушує ВГ проходити через пористі стінки фільтра, які виконують роль фільтруючого середовища. Тверді продукти, занадто великі для того, щоб пройти через пористу поверхню, збираються і зберігаються в каналах.

Якщо збираються на фільтрі тверді продукти не видаляються, може бути ускладнене проходження вихлопних газів. Для видалення твердих частинок служить процес регенерації, при якому тверді частинки окислюються.

Регенерація DPF управляється температурою ВГ і DPF. DPF має фільтруючу поверхню з обробкою «wash coat», яка включає в себе платину та інші активні компоненти і аналогічна обробці каталітичного нейтралізатора. При

певній температурі ВГ і DPF «wash coat» активує спалювання твердих частинок на додаток до окислення монооксиду вуглецю і вуглеводнів.

Температура ВГ і DPF контролюється програмним забезпеченням DPF в ЕСМ. Програмне забезпечення DPF відстежує навантаженість DPF на підставі манери їзди, пройденої відстані і сигналів від датчиків диференціального тиску і датчиків температури. При досягненні заданого рівня обсягу твердих частинок відбувається активна регенерація DPF. Вона здійснюється у взаємодії з ЕСМ за допомогою регулювання різних функцій управління двигуном, таких як:

- впорскування палива;
- регулювання витрати всмоктуваного повітря за допомогою дроселя;
- система рециркуляції відпрацьованих газів;
- управління тиском наддуву.

Процес регенерації можливий завдяки еластичності двигуна з системою впорскування «common-rail», який забезпечує точне регулювання подачі палива, тиску палива і уприскування. Ці параметри є основними для забезпечення ефективного процесу регенерації.

Високі вимоги до кваліфікації персоналу пов'язані з тим, що дуже часто самодіагностування на явно несправних транспортних засобах не виявляє ніяких відмов, або невірно визначає причини несправності, оскільки у пам'ять самодіагностування вносяться дані щодо відхилень значень параметрів тих конструктивних елементів з якими у електронного блоку керування є електричний зв'язок. Виникнення гідродинамічних або механічних несправностей самодіагностування не виявляє, що може призводити до встановлення невірного діагностичного висновку.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Встановлено, що ефективність експлуатації автомобілів у значній мірі визначається технічним станом їх ДВЗ, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація, яка забезпечується технічним

діагностуванням на базі різноманітних методів та технічних засобів.

2. Умови експлуатації автомобілів визначають необхідність вибору такого методу та засобу діагностування, який би забезпечував із заданою точністю швидке визначення технічного стану ДВЗ безпосередньо на автомобілі при звичайному функціонуванні за допомогою автономних та не складних засобів технічного діагностування.

3. За результатами аналізу літературних джерел виявлено, що існуючі методи діагностування ДВЗ мають велику розмаїтість і складність при реалізації в умовах експлуатації. Особливу складність при діагностуванні ДВЗ, зокрема дизелів, представляє система живлення паливом, технічний стан якої визначає їх економічні та екологічні показники, і відмови якої можуть досягати двох третин відмов двигуна.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИРОСТАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ

2.1. Аналіз доцільного методу, способу та засобу діагностування технічного стану дизелів

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує, що ефективність експлуатації КТЗ у значній мірі визначається технічним станом їх ДВЗ. Для активного впливу на технічний стан ДВЗ необхідна об'єктивна інформація про технічний стан, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів [3-24].

Умови експлуатації КТЗ визначають необхідність вибору та розробки такого методу та засобу діагностування, який би забезпечував із заданою точністю швидко визначення технічного стану ДВЗ безпосередньо на КТЗ при їх звичайному функціонуванні за допомогою автономних, не складних засобів.

Технічний стан ДВЗ характеризується певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, які виражено певними числовими значеннями. Методи діагностування базуються на вимірюванні та аналізі тих параметрів, зміна яких найбільшим чином характеризує рівень несправності або роботоздатності систем двигуна.

Аналіз існуючих методів діагностування ДВЗ, який розглянуто у попередньому розділі, дозволив розділити методи діагностування двигунів за основними системами, механізмами та агрегатами (рис. 2.1.) і показує їх велику розмаїтість і складність при реалізації в умовах експлуатації.

Наприклад, особливу складність при діагностуванні ДВЗ, зокрема дизелів, представляє система живлення паливом, технічний стан якої визначає їх економічні та екологічні показники, і відмовлення якої можуть досягати двох третин усіх відмов двигуна. Існуючі методи діагностування систем живлення відрізняє складність і дорожнеча застосовуваного устаткування, а також необхідність часткового розбирання ДВЗ і використання спеціальних навантажувальних стендів.

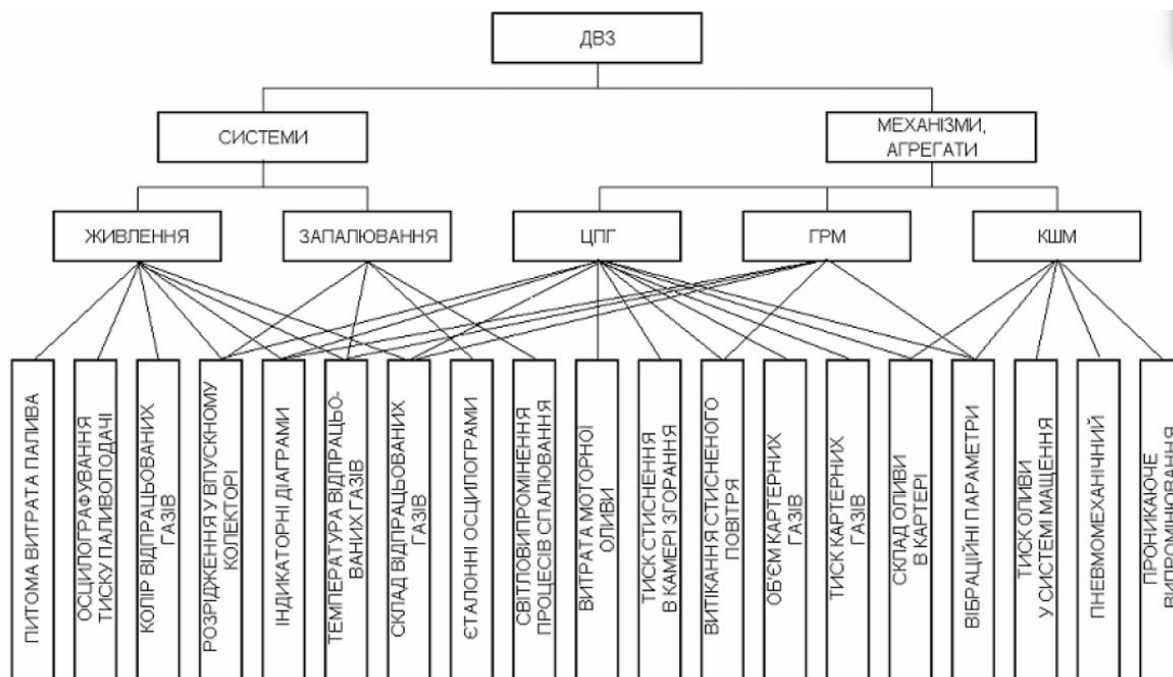


Рис. 2.1. Класифікація методів діагностування ДВЗ

Усі ці недоліки відсутні при діагностуванні ДВЗ по температурі відпрацьованих газів (ВГ), що є найбільш чутливим, стабільним і інформативним параметром, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Реєструючи температуру ВГ кожного циліндра, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи. Побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

Вимірюючи температуру відпрацьованих газів у випускному колекторі на виході з кожного циліндру дизеля за допомогою термопар було підтверджено та визначено вплив несправностей систем живлення паливом, циліндро-поршневої групи, газорозподільного механізму та інше на температуру відпрацьованих газів як під навантаженням, так і в режимах холостого ходу (рис. 2.2 та 2.3).

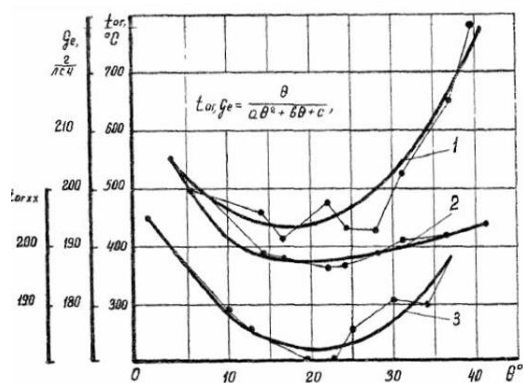


Рис. 2.2. Залежність питомої витрати палива та температури ВГ від кута випередження впорскування палива

1 - питома витрата палива; 2 - температура ВГ навантаженням; 3 - температура ВГ на холостому ходу

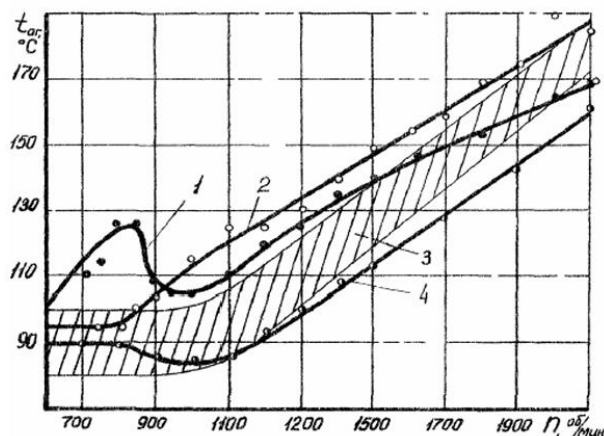


Рис. 2.3. Зміна температури ВГ дизеля при різних відмовах

1 - несправна форсунка; 2 - збільшений зазор «клапан-коромисло»; 3 - справний стан; 4 - нещільність випускного клапана

В роботах наведених у видатних науковців також доведено зв'язок несправностей систем живлення ДВЗ з тепловим випромінюванням випускного колектору та розроблено спосіб експрес-діагностування двигунів інфрачервоним радіометром.

Дослідження миттєвої температури відпрацьованих газів у дизельному двигуні проведені за допомогою швидкодіючого трьохдротового термометра опору, підтверджують можливість діагностування ДВЗ окремо по циліндрах за температурними імпульсами ВГ у випускній системі (рис. 2.4.). Частота температурних імпульсів прямопропорційно пов'язана з частотою обертання колінчастого валу двигуна (рис. 2.5.), а амплітуда - з ефективним тиском у циліндрі, тобто з навантаженням на вал двигуна (рис. 2.6.). Схематизована осцилограма миттєвих температур відпрацьованих газів у випускному трубопроводі (рис. 2.7.) наглядно доводить можливість діагностування двигуна за цим параметром окремо по циліндрам.

Також доводиться можливість діагностуванні ДВЗ за миттєвими значеннями температури відпрацьованих газів, а саме: «Струмінь відпрацьованих газів на виході вихлопної труби складається з дискретних імпульсів відпрацьованих газів, що створюються окремими циліндрами.

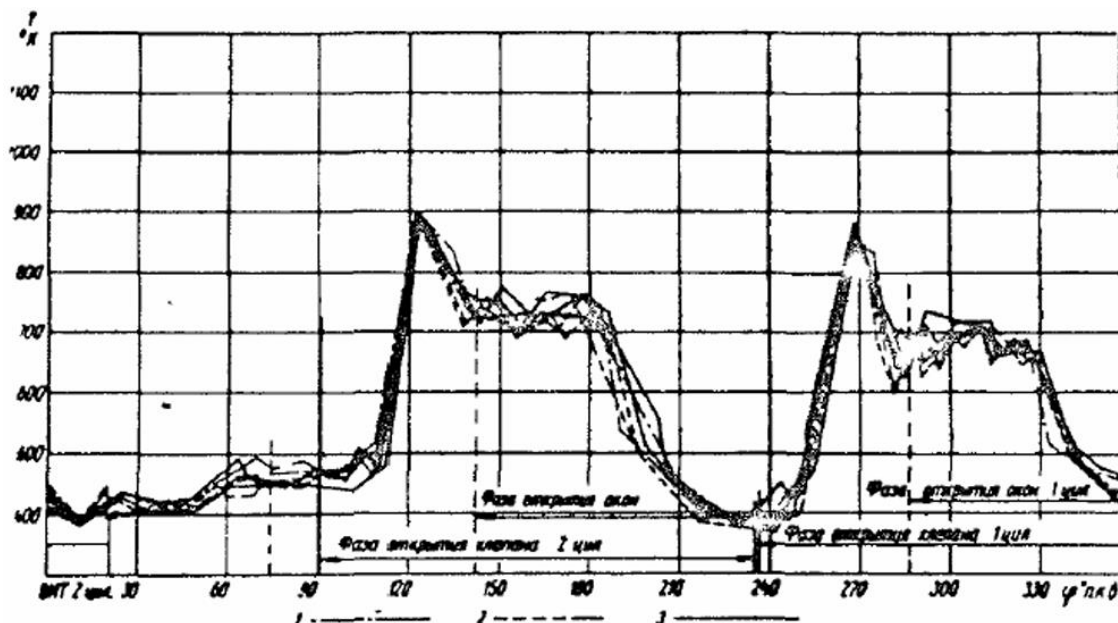


Рис. 2.4. Зміна температури ВГ дизельного двигуна 5ДКРН 50/110 від кута повороту колінчастого валу

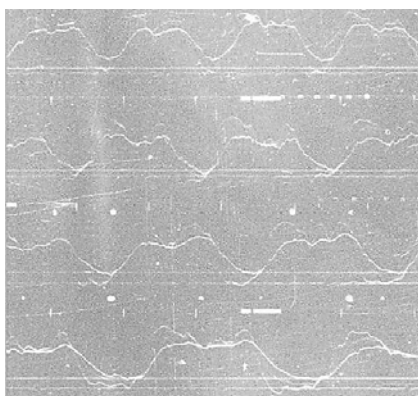


Рис. 2.5. Залежність миттєвих значень температури ВГ по циліндрах від частоти обертання валу двигуна

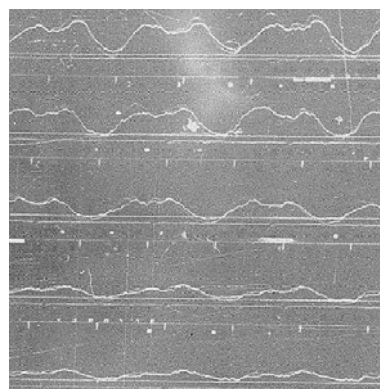


Рис. 2.6. Залежність миттєвих значень температури ВГ по циліндрах від навантаження на валу двигуна

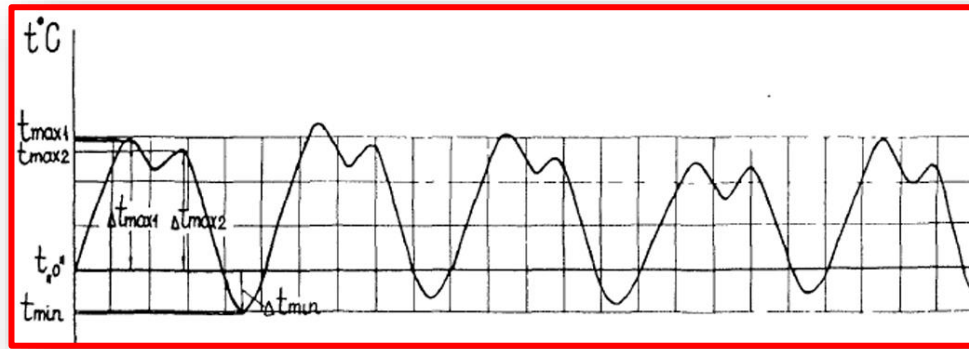


Рис. 2.7. Схематизована осцилограма миттєвих температур відпрацьованих газів у випускному трубопроводі

Це проявляється також для двигунів з турбонаддувом, але турбонаддув та інше згладжування вихлопу лише послаблює імпульс до певного ступеню і не змінює характер його протікання. Вимірювання характеристики кожного окремого імпульса газу дає інформацію про стан кожного циліндру двигуна, таким чином забезпечується можливість усунення несправностей в роботі кожного циліндра». Характеристика зміни миттєвої температури відпрацьованих газів по довжині випускної труби (рис. 2.8.) доводить, що температурні імпульси зберігають свою форму та характеру протікання вздовж системи випуску, послаблюються тільки амплітуда імпульсу та середнє значення температури ВГ.

Наявні недоліки зазначених способів реалізації методу діагностування ДВЗ за температурою відпрацьованих газів наведено у таблиці 2.1.

2.2. Обґрунтування вибору доцільного засобу діагностування технічного стану дизелів

Аналіз існуючих методів і засобів виміру температури газів (рис. 2.9.) показав, що застосовувані для промислових цілей технічні засоби малонадійні і мають постійну часу більш 1 с, що ускладнює їх використання, та обмежує інформативність при застосуванні, як діагностичний параметр.

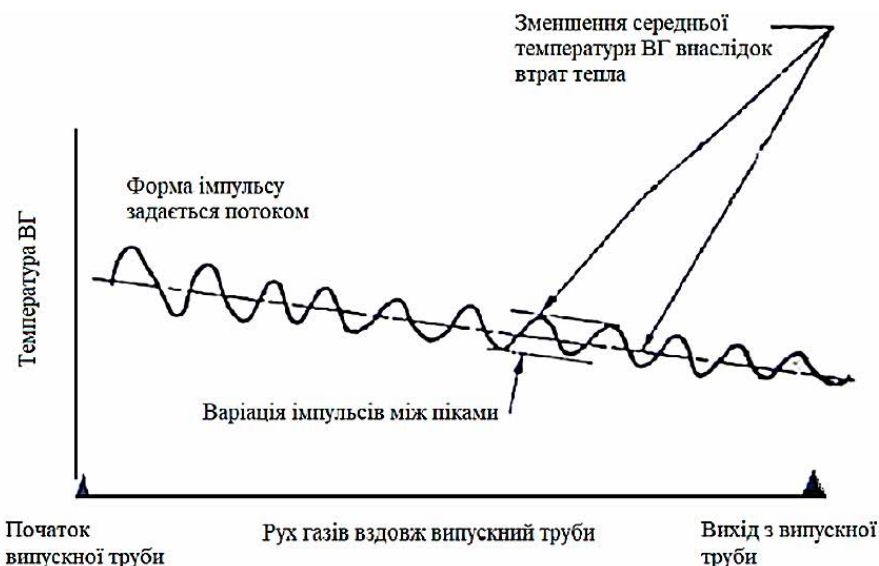


Рис. 2.8. Характеристика зміни миттєвої температури відпрацьованих газів по довжині випускної труби

Таблиця 2.1.

Діагностування дизелів за температурою вГ

Принцип реалізації способу (вимірювання температури)	Недоліки
Термопарами на виході окремо з кожного циліндра	<ul style="list-style-type: none"> ➤ велика інерційність (мають постійну часу більше 1 с); ➤ необхідність внесення змін у будову системи випуску вГ двигуна (свердлення отворів, встановлення фітингів або штуцерів для кріплення термометрів тощо); ➤ значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна
З використанням безінерційних термопар або термометрів опору з дрітків малих діаметрів (5...10 мк)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ значна похибка визначення миттєвих значень температури вГ, що обумовлена наявністю певної інерційності засобів вимірювання температури;

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ складність розрахунків поправок на інерційність; ➤ незначний ресурс термометрів з дротами малих діаметрів; ➤ необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ; ➤ значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускную систему двигуна
За допомогою інфрачервоних термометрів та тепловізорів	<ul style="list-style-type: none"> ➤ значна похибка визначення фактичної температури ВГ, що обумовлена необхідністю і складністю визначення впливу конфігурації випускного колектора на рух і розсіювання теплової енергії ВГ та інерційністю розігрівання випускного колектору; ➤ складність проведення розрахунків (які необхідно виконувати окремо для кожного типу двигуна)
Акустичними датчиками температури	<ul style="list-style-type: none"> ➤ недосконалість конструкцій наявних акустичних датчиків ускладнює процес налаштування датчика, потребує значних витрат часу на аналіз сигналу (фільтрація від завад); ➤ слабкий сигнал та наявність завад призводять до низької швидкодії та точності вимірювання

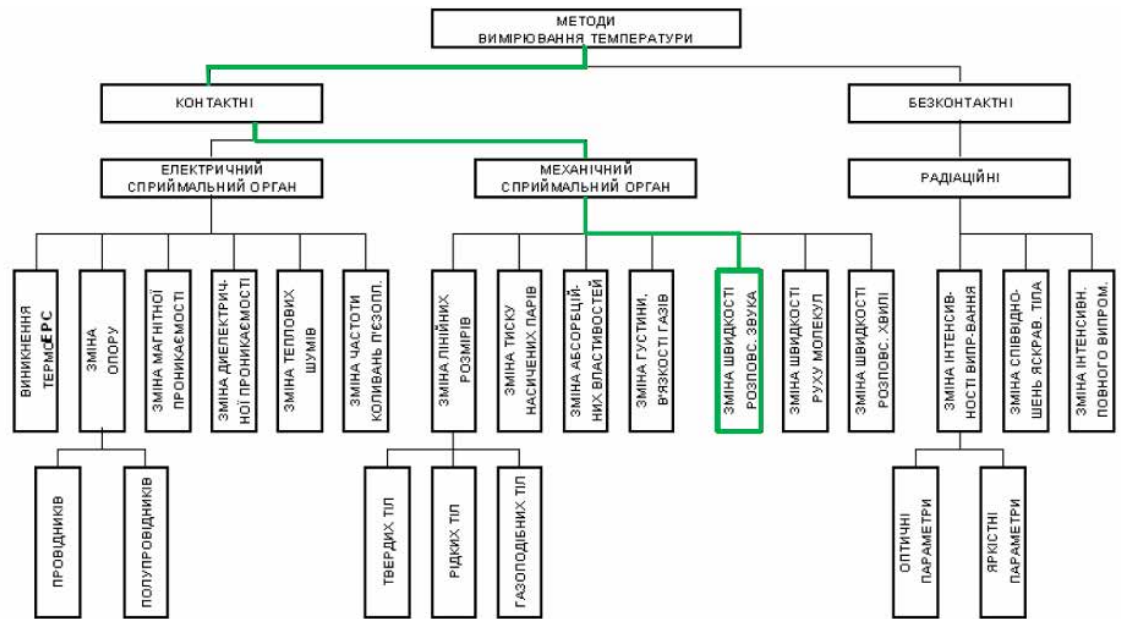


Рис. 2.9. Класифікація методів вимірювання температури

Для діагностування ДВЗ необхідний засіб, що дозволяє реєструвати температуру ВГ на вихідному зрізі вихлопної труби з частотою не нижче періоду повного циклу роботи двигуна:

$$T_{\text{ц}} = \frac{30 \cdot z}{n \cdot i}, \quad (2.1.)$$

де z - тактність двигуна;

i - число циліндрів;

n - частота обертання валу двигуна.

Така швидкодія вимірювального засобу забезпечить реєстрацію температурного імпульсу ВГ роздільно по циліндрах.

Поставлене завдання вирішується шляхом застосування акустичного датчика температури, який, за рахунок високої швидкодії (швидкість спрацьовування $> 3 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C/s}$), дозволяє забезпечити вимірювання миттєвих значень температурних імпульсів ВГ окремо кожного циліндра, що, в свою чергу, дає змогу удосконалити спосіб діагностування транспортних дизелів в умовах експлуатації без застосування навантажувальних стендів в режимах холостого ходу.

Відомо, що струмінь відпрацьованих газів складається з дискретних імпульсів, які утворюються окремими циліндрами. Температурні імпульси зберігають свою форму та характер протікання вздовж системи випуску, послаблюються тільки амплітуда імпульсу та середнє значення температури ВГ [32]. Таким чином, діагностування ДВЗ за температурними імпульсами ВГ можливо здійснювати шляхом встановлення акустичного датчика температури на виході вихлопної труби. Вимірювання температури кожного окремого імпульсу струменя газів дає інформацію о стані кожного циліндру двигуна, що забезпечує можливість виявлення та усунення несправностей в роботі кожного циліндра.

Принцип дії акустичного датчика засновано на зв'язку швидкості поширення звуку в газі з його температурою.

Зв'язок швидкості поширення звуку в газі з температурою визначається наступним рівнянням [3]:

$$c = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T}, \quad (2.2.)$$

де c - швидкість поширення звуку в газі; k - показник адіабати;

g - прискорення сили ваги;

R - універсальна газова стала; T - температура газу.

Оскільки k , g і R є постійними для даного складу газів, то швидкість звуку пов'язана лише з температурою, а наявність квадратного кореня в рівнянні свідчить про нелінійність залежності швидкості поширення звуку в газі від його температури. Однак, як показують результати досліджень, у необхідному для цілей діагностування температурному діапазоні, ця нелінійність мінімальна і похибка виміру не перевищує 1%.

Експериментальними дослідженнями також підтверджений незначний вплив коливання складу відпрацьованих газів і наявності часток сажі у вихлопній трубі на швидкість поширення звуку (до $\pm 1,7\%$ при зміні коефіцієнта надлишку повітря (α) від 1 до ∞ , і менш 0,001% при зміні концентрації часток сажі від 0 до $1,8 \text{ г/м}^3$). Усі ці результати вказують на можливість використання акустичного датчика для виміру температури ВГ [3].

Як сигнал, що реєструє температуру газового потоку можуть використовуватися різні параметри акустичного сигналу, що змінюються в залежності від температури газового потоку (рис. 2.10.). Це і час проходження імпульсного акустичного сигналу, і зміна частоти акустичного сигналу, і зрушення фаз при проходженні акустичного сигналу через струмінь газу. Аналізуючи переваги та недоліки акустичних датчиків (рис. 2.10.), слід зазначити, що найбільше відповідає цілям реєстрації швидкозмінюємої температури ВГ ДВЗ по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу - фазоакустичний датчик температури (ФАДТ) (рис. 2.11.) з проточним акустичним резонатором коливань (ПАРК).

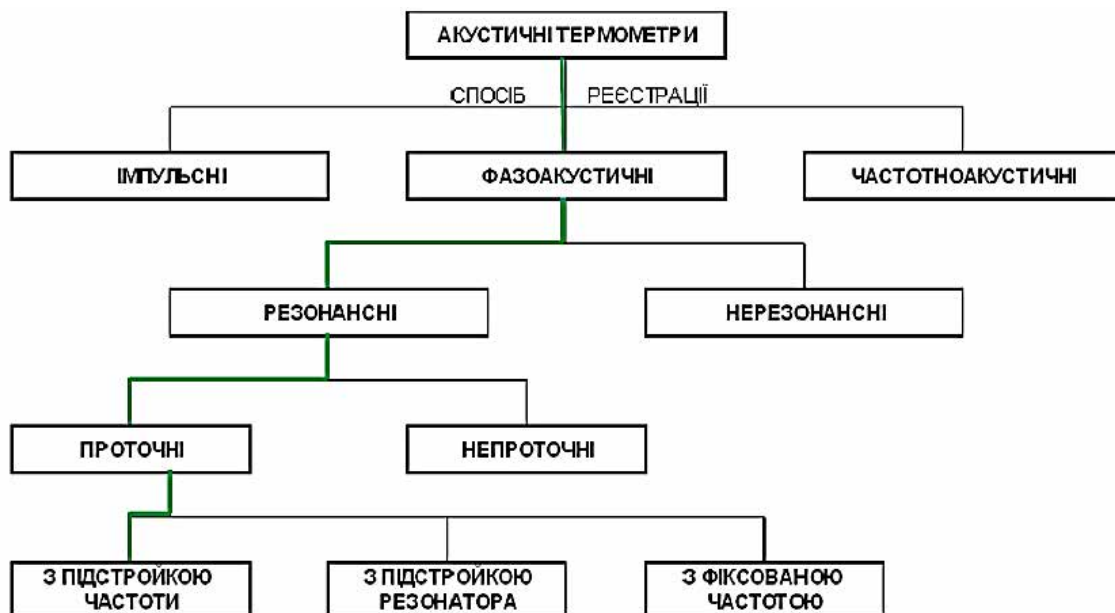


Рис. 2.10. Класифікація акустичних термометрів

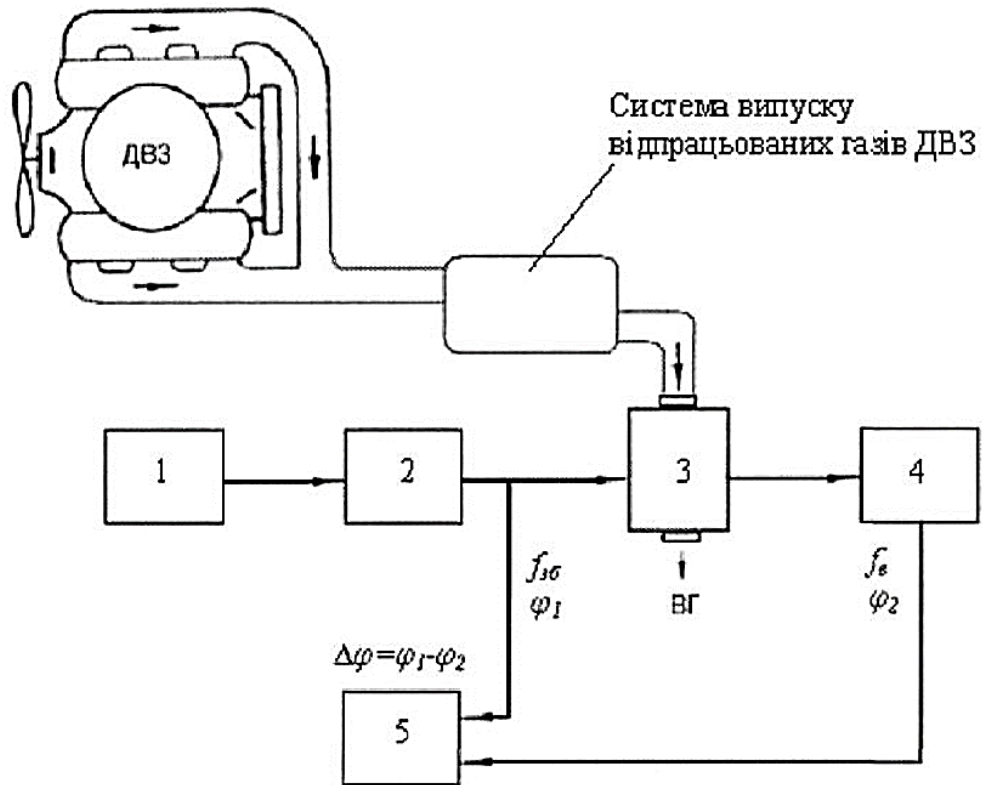


Рис. 2.11. Фазоакустичний датчик температури (ФАДТ) з проточним акустичним резонатором коливань (ПАРК)

1 - генератор електричних коливань; 2 - підсилювач коливань; 3 - фазоакустичний датчик температури; 4 - підсилювач; 5 - фазовий дискримінатор; $f_{зб}$ - частота збуджуючих електричних коливань генератора 1; $f_в$ - частота вимушених електричних коливань датчика 3; φ_1 та φ_2 - фази отриманих збуджуючих $f_{зб}$ (φ_1) та вимушених $f_в$ (φ_2) електричних коливань

Забезпечення вільного потоку газів дозволяє зменшити сталу часу датчика та вплив інших температурних імпульсів. Вибір оптимальних конструктивних і газодінамичних параметрів резонатора значно збільшує сигнал, що реєструється. А дифузорний вхід і конфузорний вихід відпрацьованих газів зменшує шкідливі шуми при розширенні газів.

Для реалізації й підтвердження ефективності способу експрес-діагностування транспортних дизелів з використанням запропонованого ФАДТ з ПАРК розроблено і виготовлено макетний зразок фазоакустичного датчика температури.

Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згоряння за температурою відпрацьованих газів, який наведено на рис. 2.11., полягає у тому, що генератор електричних коливань 1 виробляє збуджуючі електричні коливання з частотою $f_{зб}$, які, через підсилювач коливань 2, подаються до фазоакустичного датчика температури 3 та фазового дискримінатора 5. У фазоакустичному датчику температури збуджуючі електричні коливання перетворюються в акустичні коливання, проходять через потік відпрацьованих газів та потрапляють до приймача акустичних коливань фазоакустичного датчика 3, який перетворює їх у вимушені електричні коливання з частотою f_v та подає далі через підсилювач 4 до фазового дискримінатора 5. Фазовий дискримінатор 5 порівнює фази φ_1 та φ_2 отриманих збуджуючих $f_{зб}$ (φ_1) та вимушених f_v (φ_2) електричних коливань і виробляє сигнал, пропорційний зсуву фаз $\Delta\varphi$ між ними. Зсув фаз $\Delta\varphi$ та сигнал, що видає фазовий дискримінатор, змінюються пропорційно зміні температури ВГ, що ґрунтується на залежності частоти f_0 власних коливань ВГ у фазоакустичному датчику від температури цих газів. При цьому, від співвідношення частот власних (f_0) та збуджуючих ($f_{зб}$) коливань змінюється зсув фаз (φ) між вимушеними f_v (φ_2) та збуджуючими $f_{зб}$ (φ_1) коливаннями.

Таким чином, за зміною частоти збуджуючих акустичних коливань $f_{зб}$, при якій у фазоакустичному датчику утворюється резонанс, та зсувом фаз $\Delta\varphi$ між вимушеними f_v (φ_2) та збуджуючими $f_{зб}$ (φ_1) коливаннями можна визначити миттєві значення температури відпрацьованих газів кожного циліндра. Для вимірювання температури ВГ при діагностуванні ДВЗ необхідно виконати налаштування фазоакустичного датчика температури 3 шляхом задавання генератором електричних коливань 1 такої частоти збуджуючих коливань ($f_{зб}$), при якій для усередненого значення температурних імпульсів ВГ на даному режимі буде утворюватись резонанс ($f_0 = f_{зб}$). Для кожного значення температури ВГ відповідає своя певна (резонансна) частота збуджуючих звукових коливань ($f_{зб}$).

Перевага застосування фазоакустичного датчика температури, який за рахунок високої швидкодії дозволяє забезпечити вимірювання миттєвих значень

температурних імпульсів ВГ окремо кожного циліндра, що, в свою чергу, дає змогу визначати в умовах експлуатації технічний стан ДВЗ як в цілому, так і окремо кожного циліндра без використання навантажувальних стендів в режимах холостого ходу.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Існуючі методи діагностування систем живлення ДВЗ характеризуються складністю і дорожнечою застосовуваного устаткування, а також необхідністю часткового розбирання ДВЗ і використання спеціальних навантажувальних стендів.

2. Встановлено, що одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних діагностичних параметрів, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів, є температура відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ. Реєструючи температуру ВГ кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, ГРМ та ЦПГ, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

3. Удосконалення способу діагностування ДВЗ за температурою ВГ, з метою експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації, потребує створення засобу діагностування, який здатен із необхідною швидкістю та точністю визначати температуру ВГ за окремими циліндрами.

4. Визначено, що для цілей експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації найбільш відповідають акустичні датчики температури, а саме фазоакустичний датчик температури.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ

3.1. Визначення показників двигуна в моделі діагностування технічного стану

У практиці експлуатації та ремонту ДВЗ технічне діагностування допомагає вирішити два основних завдання - перевірку роботоздатності й пошук дефектів (відмов), який може охоплювати операції з регулювання окремих механізмів і систем.

Основними поняттями теорії технічного діагностування є: об'єкт, система, стан об'єкта, функціонування, роботоздатність, нероботоздатність, справність, несправність, відмова, перевірка, програма пошуку, тест, діагностичний параметр та інше [3].

Розрізняють прямі та непрямі діагностичні параметри. Прямі безпосередньо характеризують технічний стан об'єкта, а непрямі пов'язані з прямими параметрами функціональною залежністю.

Для розробки оптимізованого алгоритму експрес-діагностування при контролі роботоздатності ДВЗ було виконано:

а) вивчення двигуна, як об'єкта діагностування; б) побудовано його діагностичну модель;

в) здійснено аналіз моделі діагностування та обрано необхідну і достатню кількість діагностичних параметрів для контролю робото здатності двигуна;

г) на основі обраної сукупності діагностичних параметрів побудовано та оптимізовано алгоритм контролю роботоздатності ДВЗ.

Вивчення ДВЗ, як об'єкту діагностування охоплює:

➤ вивчення нормального функціонування двигунів з виділенням елементів і зв'язків між ними, зокрема зворотних;

➤ виділення їх можливих станів та аналіз технічних можливостей контролю ознак, які характеризують стан;

➤ збір і обробку статистичних матеріалів, які дають змогу визначити

розподіл ймовірностей можливих станів двигунів та закономірності виявлення відмов їх окремих елементів.

Об'єкт діагностування (ОД) в технічній діагностиці - це такий технічний об'єкт, щодо якого вирішується певна діагностична задача. У загальному випадку діагностична задача - це задача по встановленню ступеня відповідності технічного об'єкта встановленим до нього вимогам.

Прийнято розрізняти дві основні діагностичні задачі: задача контролю технічного стану (пряма задача), і задача пошуку дефектів (зворотна задача).

Діагностичні задачі вирішуються за допомогою діагностичних (математичних) моделей (ДМ). Стандартизованим визначенням ДМ є: діагностична модель - це формалізований опис ОД, що необхідний для вирішення задач діагностування. При цьому, опис може бути представлений у аналітичній, табличній, векторній, графічній та іншій формами. Іншими словами, діагностична модель - це будь-яке знання, що використовується в процесі вирішення діагностичної задачі і представлено у певному вигляді чи формі.

Різновид форм ДМ є широким - від уяви дефектів і їх ознак окремим спеціалістом, що практично виконує роботи по обслуговуванню і ремонту ОД до математичних форм, реалізованих в формальних діагностичних програмах. Формалізований опис (математична модель) об'єкта діагностування може бути представлено в різноманітних формах:

- в аналітичній (у вигляді диференціальних або алгебраїчних рівнянь);
- в табличній формі (у вигляді таблиці станів);
- в графічній (у вигляді графів причинно-наслідкових зв'язків);
- у формі логічних співвідношень тощо.

Моделі можуть бути задані в явному або неявному вигляді. Явна модель об'єкта діагностування включає в себе сукупність формалізованих описів всіх обговорених нормативною документацією технічних станів, яке підлягають діагностуванню. Неявна модель об'єкта технічного діагностування містить формалізований опис одного технічного стану та правила отримання описів

інших технічних станів на основі заданого. Причому, найчастіше математична (діагностична) модель визначає справний стан. Моделі для інших технічних станів отримують на основі моделі справного стану і правил, що зв'язують конкретну несправність з параметрами технічного стану.

Також, необхідно відзначити, що пряма і зворотна задачі є по суті вираженням в технічній діагностиці двох фундаментальних підходів теорії систем. Задачею контролю технічного стану є вираження функціонального підходу, а задачею пошуку дефектів - вираження структурного підходу.

Використовуючи готовий математичний апарат, для вирішення першої задачі застосовують абстрактні моделі (диференційне рівняння заданого порядку, аналітичний вираз логічної функції, абстрактний кінцевий автомат), а для вирішення другої - структурні моделі (структурні, комбінаційні, послідовні схеми). Слід зазначити, що кожна діагностична модель має свої особливості.

При вирішенні задачі пошуку дефектів використовуються різноманітні знання, які з метою їх систематизації можна поділити на три види знань:

➤ знання про можливі дефекти, про їх причини та щодо їх прямих і непрямих показників. Окремий дефект не є ізольованим явищем. На безлічі можливих дефектів об'єктивно можуть існувати будь-які відносини. В роботі досліджуються часові відносини, причинно-наслідкові зв'язки, та відношення еквівалентності. Також на безлічі можливих дефектів може бути задана міра можливості, вона досліджується в роботі;

➤ знання про структурну організацію ОД. Для об'єктів з функціональним процесом цей вид знань доповнюється знанням про цей процес. Необхідно розрізняти об'єктивну (фізичну), функціональну і діагностичну структури об'єкта. Дві останні узагальнює термін «логічна структура». Перша визначається складально-розбиральними, кріпильними, монтажними і т.п. відносинами між неподільними частинами об'єкта; вона існує об'єктивно в єдиному варіанті.

Друга може мати кілька різновидів залежно від ступеня деталізації функціональних елементів і визначається динамічними або прагматичними

відносинами на безлічі цих елементів. Множина варіантів цієї діагностичної структури обумовлюється в першу чергу заданою ззовні глибиною пошуку дефектів;

➤ знання щодо можливих діагностичних експериментів. Діагностичний експеримент є процес оцінювання діагностичних показників при заздалегідь визначених умовах з метою локалізації дефектів.

Основними способами оцінки діагностичних показників є: органолептичне оцінювання, вимірювання, контроль, заміна в ОД підозрюваних у несправності елементів на завідомо справні, перевірка підозрюваних у несправності елементів на завідомо справному об'єкті, спостереження за реакцією ОД при подачі стимулюючої дії та інше.

Незважаючи на відмінність в підході до методів діагностування, способам отримання, обробки, уявлення і використання інформації в процесі експлуатації дизелів, всі розробники однаково формулюють основне завдання: система технічного діагностування повинна забезпечити визначення технічного стану дизеля його вузлів і деталей без розбирання безпосередньо в процесі його функціонування, а також прогнозування залишкового ресурсу і визначення необхідних термінів профілактики і ремонту, виходячи з дійсного технічного стану.

У загальній постановці математична модель об'єкта технічної діагностики характеризується як така, в якій технічний стан об'єкта описується внутрішніми параметрами X , на вхід об'єкта подаються зовнішні збудження Z (вхідні параметри), а на виході об'єкта спостерігається відгук у вигляді вихідних (діагностичних) параметрів Y . У найзагальнішому випадку співвідношення між зазначеними параметрами встановлюють вводячи поняття оператор об'єкта діагностування A . При цьому математична модель у загальному вигляді матиме такий вигляд:

$$Y = A(Z, X), \quad (3.1)$$

Вводячи індекси i для різних станів: 0 - справне, i - i -тий несправний стан; та індекси j для різних зовнішніх збуджень рівняння (2.1.) можна

переписати у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} Y_0^j = A(Z_0, X_j) \\ Y_i^j = A(Z_i, X_j) \end{cases} \quad (3.2.)$$

де $i = 1 \dots k$;

$j = 1 \dots m$.

Система рівнянь (3.2/) складається з $k+1$ рівнянь і вдає із себе явну математичну модель об'єкта діагностування. Для спрощення запису внутрішні параметри X (параметри технічного стану) включають в оператор і систему рівнянь (3.2.) при будь-якому зовнішньому збудженні X записують у вигляді

$$\begin{cases} Y_0 = A_0(X) \\ Y_i = A_i(X) \end{cases} \quad (3.3.)$$

Такий спосіб завдання математичної моделі є дуже загальним. Вибір конкретної форми оператора і є вибір конкретної математичної моделі об'єкта діагностування. Цей вибір залежить від фізичних властивостей об'єкта, що діагностується, визначається умовами діагностичної задачі і прийнятими методами її вирішення.

При розробці систем технічного діагностування доводиться вирішувати ряд досить складних проблем. З даних проблем необхідно виділити наступні питання, без вирішення яких неможливо створити систему технічного діагностування дизеля:

1. Дослідження дизеля і його складових частин як об'єкта діагностування.

2. Аналіз фізичних процесів, що відбуваються в системах об'єкта, з метою виявлення механізму виникнення і ознак прояви ушкоджень (відмов). Розробка фізичної моделі об'єкта діагностування.

3. Вибір структурних параметрів, що характеризують фізичний і технічний стан об'єкта діагностування.

4. Вибір інформативних параметрів і формування діагностичних, що дозволяють в процесі експлуатації отримати інформацію про технічний стан об'єкта діагностування.

5. Вибір методів діагностування та технічних засобів, з урахуванням необхідної точності вимірювань і можливості автоматизації процесів збору і обробки інформації і результатів діагностування об'єкта.

6. Розробка алгоритмів діагностування та прогнозування об'єкта.

7. Синтез системи технічного діагностування.

8. Дослідна експлуатація розроблених систем технічного діагностування.

Як вже зазначалося, ОД має нескінченну множину технічних станів. Практично діагностичну задачу при нескінченному числі технічних станів вирішити неможливо. Тому в будь-якому випадку необхідно виділити кінцеву безліч технічних станів, які потрібно діагностувати. Таким чином, при практичному вирішенні діагностичної задачі оператор А для неперервних об'єктів замінюється гібридним, які реалізують на виході кінцеве безліч значень діагностичних ознак.

Для переходу від нескінченної безлічі технічних станів, які є реальними у житті, до дискретної безлічі технічних станів, які можна діагностувати, вводиться поняття елементарна перевірка об'єкта. Процес діагностування (діагностичний експеримент), складається з окремих випробувань, які прийнято називати елементарними перевірками (ЕП).

Елементарна перевірка об'єкта - це процедура подачі на об'єкт окремого (робочого або тестового) впливу і зняття з об'єкта відповідної відповіді (реакції), іншими словами - це акт одноразової оцінки певного діагностичного параметра.

Оцінка діагностичного параметра проводиться в заздалегідь фіксованих місцях ОД, які ще прийнято називати контрольними точками. Під час елементарної перевірки на ОД здійснюється певний вплив та спостерігається його реакція на цей вплив. Відомо, що ОД, який знаходиться в різних технічних станах, може видавати різні реакції при одній і тій же елементарній перевірці. Розрізняють три види елементарних перевірок:

➤ перший вид - фіксується значення вхідного впливу і спостерігається реакція в декількох контрольних точках;

➤ другий вид - подається певна послідовність вхідних впливів і

спостерігається послідовність реакцій в одній контрольній точці;

➤ третій вид (загальний випадок) - подається послідовність вхідних впливів і спостерігається більше однієї контрольної точки.

Результат діагностичного експерименту завжди випадковий, так як, у разі якщо він заздалегідь зумовлений, то проводити його нема сенсу. Таким чином, будь-який процес діагностування включає послідовності елементарних перевірок при відомих умовах і заданому наборі контрольних точок.

В рамках структурного підходу поняття елементарних перевірок застосовують також до окремих частин ОД або їх сукупностей. В такому випадку передбачається доступність входів і виходів цих частин. Очевидно, що даний ОД характеризується кінцевою безліччю можливої множини елементарних перевірок.

Формально для ОД, що складається з n блоків, елементарні перевірки можна позначити n розрядним двійковим набором по одному розряду для кожного блоку. Кожна елементарна перевірка встановлює справність або несправність групи з k блоків. Решта $n-k$ блоків залишаються неперевіреними.

Різні елементарні перевірки можуть мати різну величину k і різний склад охоплених перевіркою блоків.

Нуль на i -му місці в довічному наборі даної елементарної перевірки означає, що i -й блок ОД охоплений перевіркою і є справним, якщо результат перевірки позитивний.

При негативному результаті формується висновок про те, що відмовив щонайменше один з блоків які мають нуль в двоїчному наборі цієї елементарної перевірки.

Одиниця на i -му місці вказує, що i -й блок даної елементарної перевірки не охоплений. При формальному розгляді можна вважати, що існує стільки різних елементарних перевірок даного ОД, скільки може бути різних n -розрядних двійкових наборів.

Перевірка, що має одиничний набір, не дає корисної інформації, її слід виключити.

Тоді загальне число елементарних перевірок дорівнюватиме $2n-1$. Слід зауважити, що при дослідженні дійсних ОД не всі перевірки можуть виявитися технічно здійсненними.

Залежно від характеру послідовності елементарних перевірок розрізняють два основні способи пошуку дефектів: комбінаційний і послідовний.

При використанні першого способу технічний стан ОД визначається шляхом виконання завданого числа елементарних перевірок, порядок здійснення яких байдужий. Виявлення дефектних блоків проводиться після проведення всіх заданих елементарних перевірок. З цією метою проводиться аналіз результатів проведених перевірок. Для даного способу характерні такі ситуації, коли не всі результати виконаних елементарних перевірок необхідні для визначення стану ОД. При використанні другого способу перевірки, здійснення яких достатньо для розрізнення всіх заздалегідь заданих технічних станів ОД, виконуються в деякому порядку. Результат кожної елементарної перевірки аналізується безпосередньо після його отримання, і якщо технічний стан ОД ще не визначено, то виконується наступна перевірка.

Порядок виконання елементарних перевірок може бути строго фіксованим, або ж залежати від результатів попередніх перевірок. Тому алгоритми, що реалізують другий спосіб, можна розділити на умовні, в яких кожна наступна елементарна перевірка призначається в залежності від результату попередньої, і безумовні, в яких елементарні перевірки повинні виконуватися в деякому заздалегідь фіксованому порядку.

3.2. Побудова функціональної діагностичної моделі двигуна

Функціональна діагностична модель може бути використана при діагностуванні розгалужених ланцюгів зв'язків функціональних елементів двигунів внутрішнього згорання при структурному підході до аналізу топології діагностичної моделі.

Функціональні діагностичні моделі відображають сукупність операцій, які виконуються двигуном і його окремими частинами при функціонуванні. У

якості функціональної діагностичної моделі можуть розглядатися схеми зв'язків між окремими елементами, діаграми проходження сигналів або алгоритми функціонування.

Для побудови функціональної моделі ОД задаються безліччю попарно різних станів $S: S=\{S_i\}$, де $i=1, \dots, n$, безліччю попарно різних перевірок $\Pi=\{\pi_j\}$, $j=1, \dots, m$ і множиною результатів перевірок $A=\{a_{ij}\}$. З функціональною моделлю подібна логічна модель. Вона є більш простою і зручною моделлю, використовуюваної для діагностування об'єктів безперервного дії. Ця модель використовується для об'єктів, що мають чітко виражені функціональні блоки.

При побудові логічної моделі кожен з параметрів вхідного і вихідного сигналів окремого блоку видається окремим входом. Внаслідок цього деякі зв'язки структури що діагностується виявляються «розділеними», кожен блок функціональної схеми заміниться декількома блоками, які мають по одному входу і кілька істотних для даного входу виходів.

В окремому випадку логічна модель може збігатися з функціональною.

Для побудови функціональної та логічної моделей доцільно розглядати їх функціональну схему, коли кожен функціональний елемент є елементом функціональної або декількома елементами логічної залежності від кількості виходів.

При побудові функціональної діагностичної моделі приймаються наступні припущення:

1. Всі функціональні елементи досліджуваного ОД представляються в моделі сукупністю функціонально пов'язаних між собою логічних блоків.
2. У кожного логічного блоку може бути тільки один вихід і необмежену кількість входів.
3. Кожен функціональний елемент може перебувати в одному з двох несумісних станів: роботоздатний чи не роботоздатний. Реакція роботоздатного елемента вважається допустимою. Передбачається також, що допустима реакція будь-якого елемента має місце тільки в тому випадку, якщо всі вхідні впливи, прикладені до цього елемента, є допустимими.

4. Кожному стану ОД відповідає відмова тільки одного елемента (або відмови відсутні).

Кожен можливий стан ОД, що складається з N -елементів, можна визначити N -мірним вектором станів S , ν -я компонента якого дорівнює одиниці, якщо сигнал на виході ν -го елемента задовольняє вимогам (ν -й елемент роботоздатний, вплив, прикладена до ν -му елементу, є допустимим), і дорівнює нулю в протилежному випадку.

Для діагностики системи задаються також всі можливі перевірки, які будуть виконуватися для визначення того чи іншого стану системи. Кожна перевірка може мати два результати: позитивний, що позначається одиницею, якщо реакція контрольованого елемента допустима, і негативний, що позначається нулем, якщо реакція цього елемента є неприпустимою. Всі перевірки вважаються рівноцінними.

Для діагностування реальної системи в кожному конкретному випадку задається безліч перевірок $\Pi = \{\pi_i\}; i=1, \dots, m$. Кожна перевірка дозволяє встановити, якому результату цієї перевірки (позитивному чи негативному) належить підмножина станів, що складається з k -елементів.

На основі логічного аналізу функціональної моделі будується таблиця станів, в якій число стовпців відповідає числу основних діагностичних ознак (числу перевірок). Кожен рядок таблиці - це результати перевірок певного стану.

Аналіз літературних джерел показує, що таблиці станів, одержувані в результаті аналізу функціональної моделі системи, мають ряд властивостей:

1. При наявності в системі зворотних зв'язків в таблиці з'являються тотожні рядки і стовпці, які свідчать про порушення однозначності відповідності між станами ОД і сукупності різних чисельних значень системи перевірок. Такі стани називають невиразними, а перевірки еквівалентними. Перевірку, яка в таблиці станів представлена одними одиницями або одними нулями, називають нерозрізненою перевіркою і виключають з розгляду. Для виключення нерозрізнених станів необхідно ввести в таблицю додаткові перевірки або змінити структуру ОД, обірвавши зворотні зв'язки системи. Тоді заданий безліч

перевірок дозволить однозначно визначити будь-який стан ОД.

2. Якщо в ОД передбачається наявність відмови одного і тільки одного елемента системи, то ОД можна представити у вигляді орієнтованого графа. У цьому випадку безліч можливих станів ОД буде еквівалентно безлічі його елементів. Після аналізу моделі та складання таблиці станів вибирається можна вирішити завдання діагностування. Якщо вибирається завдання визначення роботоздатності, то для її вирішення відбирається своя сукупність перевірок S_{np} , якщо вибирається завдання пошуку виниклого дефекту, то для її вирішення вибирається теж своя сукупність перевірок S_{nd} .

Для вибору сукупності оцінюваних прямих діагностичних параметрів, при вирішенні задачі визначення роботоздатності попарно порівнюють результати перевірок (рядки таблиці станів). Перший рядок (вектор перевірок, відповідний роботоздатному стану ОД) порівнюється з подальшими рядками. Результати порівняння заносять в таблицю, в якій в кожному рядку стоїть одиниця або нуль. Нуль - якщо перевірка дала однакові результати, і одиниця - якщо перевірка дала різні результати.

Виконуючи аналіз отриманої таблиці, виключають рядки нерозпізнаних станів і складають алгоритм перевірки роботоздатності, тобто визначають скільки і які перевірки необхідно виконати, щоб визначити роботоздатність ОД. Для цього відбирають з усіх перевірок тільки ті, які дозволяють встановити, що об'єкт знаходиться в роботоздатному стані.

Для вирішення завдань пошуку дефекту визначають сукупність S_{nd} , для цього попарно порівнюють результати перевірок всіх станів і складають таблиці. Після видалення рядків нерозпізнаних станів визначають мінімальну кількість перевірок, однозначно ідентифікують дефект. Для цього вибирають таку кількість перевірок, щоб в кожному рядку була хоча б одна одиниця (тоді відібрані перевірки будуть розрізняти все поєднання станів).

Розглянуті види моделей застосовуються при реалізації до пускових методів технічного діагностування. Застосування до пускових методів не завжди ефективно, так як необхідно узгодити допуски на вихідні сигнали одних

складових частин з системою допусків на вхідні сигнали інших складових частин, безпосередньо пов'язаних з першими.

Крім того, використання функціональних і логічних моделей не дозволяє розрізняти дефекти блоків, охоплених зворотним зв'язком, так як поява неприпустимої реакції на виході будь-якого блоку контуру зворотного зв'язку призводить до появи неприпустимих реакцій на виходах всіх інших блоків, що входять в цей контур. Тому реакції всіх блоків, охоплених зворотним зв'язком, завжди мають одне і те ж значення. Ця обставина призводить до необхідності розривати зворотні зв'язки в ОД, що не завжди є можливим. Рішення такого роду задач вимагає залучення більш складних математичних моделей, що описують об'єкт більш точно, ніж моделі логічного типу. Тому, для вирішення завдання пошуку дефекту, як правило, спочатку розглядається діагностична модель логічного типу, а потім, при необхідності, залучаються складніші аналітичні моделі для окремих частин і блоків.

Для визначення, у якому з безлічі можливих помітних станів знаходиться дизель, необхідно знати загальну кількість можливих станів його функціональних елементів (ФЕ). Аналіз конструкції та функціонування дизеля як складного аналогового об'єкта дав змогу представити його спочатку у вигляді функціональної моделі (рис. 3.1.), а потім - у вигляді схеми (рис. 3.2.) функціонально-логічної моделі (ФЛМ) шляхом розбивки його систем і механізмів на функціональні блоки та елементи (ФЕ), із зазначенням характеру зв'язків між ними. Так на схемі ФЛМ знаком z - позначені зовнішні впливи, а знаком Y - вихідні сигнали.

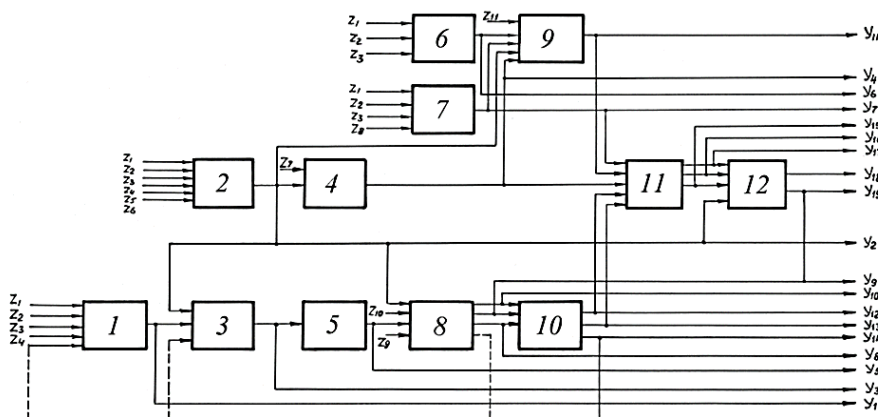


Рис. 3.1. Функціональна модель дизеля

1 - паливний бак; 2 - пусковий пристрій; 3 - паливо підкачувальний насос; 4 - система мащення; 5 - паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 - система охолодження; 8 - ПНВТ; 9 - ГРМ; 10 - форсунки; 11, 12 - ЦПГ та КШМ

Враховуючи ординарність потоку відмов у дизелів автомобілів, можна припустити, що кожен ФЕ може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - роботоздатному та не роботоздатному. А вихідні сигнали кожного ФЕ являють собою можливу кількість перевірок (діагностичних параметрів).

У дизеля можна виділити елементи, кожний з яких характеризується розпізнавальними станами. Щоб визначитись, у якому з безлічі можливих помітних станів перебуває дизель, необхідно знати загальну кількість можливих станів його ФЕ.

У технічній діагностиці реально використовуються тільки два стани - зазначені вище роботоздатний та відмова. У такому випадку можлива кількість станів двигуна, який складається з N елементів, буде дорівнювати $2N$, із яких розпізнають один робото здатний стан - S_0 та $2N - 1$ зі станів відмов - S_s . Однак розпізнати таку кількість станів під час діагностування двигунів практично неможливо.

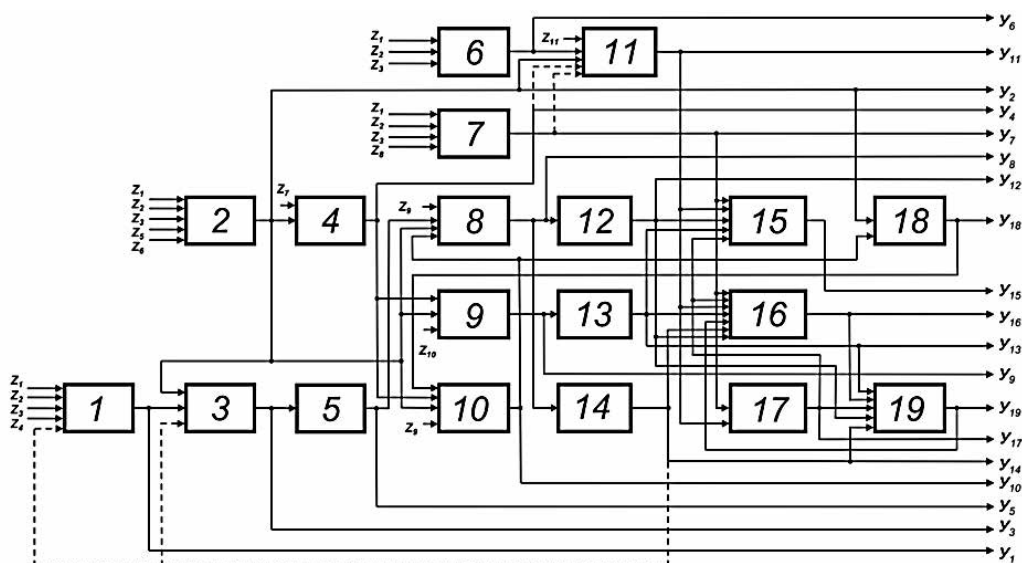


Рис. 3.2. Функціонально-логічна модель дизеля

1 - паливний бак; 2 - пусковий пристрій; 3 – паливо підкачуючий насос; 4 - система мащення; 5 - паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 - система охолодження; 8, 9, 10 - ФЕ паливного насосу високого тиску; 11 - ГРМ; 12, 13, 14 - форсунки; 15 - 19 – ЦПГ та КШМ; Z1, Z2, Z3 - величини тиску, температури і вологості навколишнього середовища; Z4 - кількість палива; Z5, Z6 - величина напруги і струму акумулятора; Z7, Z8 - рівень оливи і охолодної рідини; Z9 - положення важеля керування паливом; Z10 - кут випередження впорскування; Z11 - зазор у МГР

3.3. Аналіз статистичних даних відмов елементів ДВЗ

Для того, щоб модель найбільш повно відповідала реальному стану дизеля в експлуатації крім функціональних і логічних зв'язків враховувались ймовірності станів його систем та механізмів. Також, для зменшення кількості розпізнавальних станів за результатами статистичних даних підконтрольної експлуатації дизельних двигунів, встановлених на автомобілях, здійснено дослідження їх систем та механізмів з аналізом розподілу ймовірностей можливих станів і закономірності виявлених відмов.

Значення ймовірностей безвідмовної роботи (P_i), представлені в табл. 3.1, показують, що протягом усієї підконтрольної експлуатації надійність КШМ і системи живлення паливом безупинно знижується, а надійність ЦПГ підтримується практично на одному рівні, причому інтенсивність відмов залишається практично постійною протягом усього терміну експлуатації. Встановлено, що потоки відмов дизелів автомобілів є ординарними, тому можна припустити, що кількість не роботоздатних станів визначається кількістю систем та механізмів - N , тобто кожен ФЕ може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - роботоздатному і нероботоздатному. А вихідні сигнали кожного ФЕ - це можливе число перевірок (діагностичних параметрів).

Таблиця 3.1

Ймовірності безвідмовної роботи (P_i) і параметри потоку відмов (Ω)

механізмів і систем дизелів

Інтервал пробігу, тис. км	Найменування механізмів і систем дизелів							
	КШМ		ЦПГ		ГРМ		Система живлення	
	P_i	$Q \cdot 10^{-5}$	P_i	$Q \cdot 10^{-5}$	P_i	$Q \cdot 10^{-5}$	P_i	$Q \cdot 10^{-5}$
0...8	0,999	0,000	0,973	0,003	0,972	0,003	0,999	0,400
8...16	0,999	0,000	0,880	0,015	0,987	0,002	0,996	0,460
16...24	0,999	0,000	0,875	0,016	0,889	0,014	0,994	0,460
24...32	0,999	0,000	0,875	0,016	0,972	0,003	0,991	0,690
32...40	0,959	0,005	0,931	0,009	0,931	0,009	0,909	0,781
40...48	0,999	0,000	0,805	0,024	0,875	0,016	0,759	1,631
48...56	0,917	0,010	0,834	0,020	0,945	0,007	0,650	0,819
56...64	0,973	0,003	0,889	0,014	0,945	0,007	0,588	1,434
64...72	0,862	0,017	0,847	0,019	0,972	0,003	0,558	0,615
72...80	0,945	0,007	0,931	0,009	0,959	0,005	0,552	0,515
80...88	0,785	0,025	0,880	0,015	0,972	0,003	0,491	0,945
88...96	0,917	0,010	0,889	0,014	0,987	0,002	0,410	0,785
96...104	0,787	0,010	0,834	0,020	0,999	0,000	0,389	0,917

Найменування ФЕ, їхні вихідні сигнали (Y) та ймовірності безвідмовної роботи (P_i), отримані в результаті обробки статистичної інформації, представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Найменування функціональних елементів дизеля, їхніх вихідних сигналів і ймовірності безвідмовної роботи

№ п/п	Найменування функціональних елементів	Вихідні сигнали (Y)	Ймовірність безвідмовної роботи (P_i)
1	Паливний бак	Розрідження на вході в паливо підкачувальний насос	0,87

2	Пусковий пристрій	Пускова частота обертання	0,96
3	Паливо підкачувальний насос	Тиск палива за паливо підкачувальним насосом	0,97
4	Система мащення	Тиск оливи в головній масляній магістралі	0,96
5	Фільтр очищення палива	Тиск палива після фільтра тонкого очищення	0,97
6	Повітряний фільтр	Тиск повітря на вході в дизель	0,87
7	Система охолодження	Температура охолодної рідини	0,96
8	Паливний насос високого тиску	Циклова подача палива	0,98
9	Паливний насос високого тиску	Кут випередження впорскування палива	0,94
10	Регулятор частоти обертання	Регульована регулятором частота обертання	0,92
11	Газорозподільний механізм	Кути фаз газорозподілу	0,92
12	Форсунки	Тиск упорскування палива	0,96
13	Форсунки	Кут розпилювання палива при упорскуванні	0,95
14	Форсунки	Величина витоків палива з форсунки в лінію зливу	0,97
15	Циліндро-поршнева група	Димність відпрацьованих газів	0,92
16	Циліндро-поршнева група	Температура відпрацьованих газів	0,92
17	Циліндро-поршнева група	Тиск повітря наприкінці такту стиску	0,93
18	Кривошипно-шатунний механізм	Частота обертання колінчатого валу дизеля	0,93
19	Кривошипно-шатунний механізм	Ефективна потужність дизеля	0,89

3.4 Висновки до розділу 3

1. Удосконалено функціональну модель ДВЗ на основі аналізу конструкції та його функціонування та функціонально-логічну модель шляхом розбивки його систем і механізмів на функціональні блоки та функціональні елементи.

На інтервалі 0-100 тис. км протягом усієї підконтрольної експлуатації автомобіля надійність КШМ і системи живлення паливом безупинно знижується, а надійність ЦПГ підтримується практично на одному рівні, причому інтенсивність відмов залишається практично постійною протягом усього терміну експлуатації.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Моделювання матриці технічних станів дизеля

ФЕ, їхні вихідні сигнали та імовірності безвідмовної роботи є основою складання логіко-імовірнісної математичної моделі дизеля у вигляді матриці станів, що встановлює зв'язок між безліччю станів ФЕ (S) з урахуванням їхніх ймовірностей, безліччю можливих перевірок (діагностичних параметрів) (Y) та безліччю наслідків цих перевірок.

Матриця станів слугує вихідною інформацією при побудові мінімального діагностичного тесту для контролю роботоздатності об'єкта діагностування [1]. Побудована матриця (табл. 4.1) містить 19 рядків (рівних числу ФЕ), що позначають нероботоздатний стан (S_i) - «0» і одну (верхню), що відповідає роботоздатному стану функціональних елементів (S_0), коли всі діагностичні параметри (Y_j) мають допустимі значення - «1», при допустимих значеннях усіх зовнішніх вхідних впливів.

Стовпці матриці станів позначають результати перевірок (Y_j), рівних числу вихідних сигналів ФЕ. А останній стовпець містить обчислені ймовірності i -го стану моделі $P(s_i)$:

$$P(s_i) = \frac{[1 - P(s_0) \cdot (1 - P_i)]}{\sum_{j=1}^n (1 - P_j)}, \quad (4.1)$$

де $P(s_0)$ - імовірність безвідмовної роботи об'єкта діагностики,

$$P(s_0) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (4.2)$$

P_i - імовірність безвідмовної роботи ФЕ; причому

$$\sum_{i=1}^n P(s_i) = 1, \quad (4.3)$$

Таблиця 4.1.

Матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}	Y_{19}	$P(s_i)$	
S_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,2832
S_1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0,0770
S_2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0237
S_3	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0,0178
S_4	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0237
S_5	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0,0178

S_6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0,0770
S_7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,0237
S_8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0,0118
S_9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0,0355
S_{10}	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0,0474
S_{11}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0,0474
S_{12}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0,0237
S_{13}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0,0296
S_{14}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0,0178
S_{15}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0,0474
S_{16}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0,0474
S_{17}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0	1	0		0,0415
S_{18}	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0		1	0	0	0,0415
S_{19}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	0	0,0652

Для перевірки роботоздатності дизеля необхідно одержати інформацію про стан усіх ФЕ, тому визначення мінімальної кількості діагностичних параметрів полягає у пошуку мінімальної кількості стовпців матриці станів, які заповнюють нулями всі рядки (крім S_0 , що відповідає роботоздатному стану).

Виконаний таким чином аналіз матриці станів дизеля дозволив встановити мінімальну (необхідну та достатню) сукупність перевірок, яка складається з контролю всього двох сукупностей трьох діагностичних параметрів: Y_{19} та Y_{15} , тобто перевірки потужності та димності відпрацьованих газів або Y_{19} та Y_{16} (перевірки потужності та температури відпрацьованих газів).

Перша сукупність дає загальну оцінку працездатності дизеля, друга - може бути основою алгоритму діагностування не тільки під час контролю працездатності, а й пошуку відмов окремо по циліндрах дизелів ДТЗ.

Контроль потужності двигуна потребує використання складних навантажувальних стендів, що призводить до збільшення вартості та часу діагностування. Відомо, що температура відпрацьованих газів прямо пропорційна потужності [3-5, 7], то мінімальна необхідна та достатня обґрунтована кількість перевірок може складатися з двох діагностичних параметрів: димності (Y_{15}) та температури (Y_{16}) відпрацьованих газів.

Якщо ці обидва параметри відповідають нормативним значенням, то дизель перебуває у працездатному стані. А якщо хоч один із двох контрольованих параметрів не відповідає нормативу, то дизель - у

непрацездатному стані.

Це підтверджує необхідність контролю димності відпрацьованих газів у режимі вільного прискорення за діючим ДСТУ 4276:2004 та температури відпрацьованих газів. У разі застосування швидкодіючого пристрою для вимірювання температури відпрацьованих газів додатково з'являється можливість виконувати діагностування окремих циліндрів дизеля.

Обрана у такий спосіб сукупність діагностичних параметрів є основою алгоритму діагностування при контролі роботоздатності дизелів КТЗ [3-7].

4.2. Моделювання оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності дизеля

Оптимізація алгоритму діагностування полягає в організації раціонального процесу (послідовності) перевірки роботоздатності дизеля з використанням функції переваги (W).

Із цією метою матриця станів транспонується в матрицю, стовпці та рядки якої міняються місцями (табл. 4.2.). Останній стовпець цієї матриці містить обчислені функції переваги виходячи з ймовірності станів $P(S_i)$:

$$W = \max \sum P(S_i) "0", \quad (4.4.)$$

де $\sum P(S_i) "0"$ - сума ймовірностей станів для нулів у кожному рядку транспонованої матриці станів.

За максимальним значенням визначалася перша перевірка Y_{16} (температура відпрацьованих газів).

Ця перевірка поділяє матрицю на дві частини. У першу частину входять стани, для яких результати перевірки позитивні - "1", у другу частину - стани, для яких результати негативні - "0". Перша частина матриці є вихідною для побудови нової матриці, у яку входять не перевірені стани.

Для нової матриці знову за максимальним значенням функції переваги (W) вибирається наступна перевірка, і процедура повторюється доти, доки існує не перевірений параметр.

За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів

побудований оптимізований алгоритм діагностування, при контролі роботоздатності дизелів КТЗ (рис. 4.3.) [8]. Цей алгоритм вказує, що з 19 параметрів, які визначають технічний стан дизеля, необхідно при перевірці роботоздатності в режимах холостого ходу здійснити контроль лише двох параметрів - Y_{16} (температура відпрацьованих газів $T_{ВГ}$) і Y_{15} (димність відпрацьованих газів K). Причому, з урахуванням максимального значення функції переваги першим контролюється температура ($W = 0,669$), а потім димність відпрацьованих газів дизеля.

Таблиця 4.2

Транспонована матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями $P(S_i)$ і функціями переваг W для побудови оптимізованого алгоритму контролю роботоздатності дизеля

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_0	W
Y_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,07
Y_2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,24
Y_3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,116
Y_4	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,047
Y_5	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,136
Y_6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,077
Y_7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,136
Y_8	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,261
Y_9	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,083
Y_{10}	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,136
Y_{11}	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,148
Y_{12}	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0,284
Y_{13}	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,113
Y_{14}	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0,279
Y_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0,545
Y_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,669
Y_{17}	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0,213
Y_{18}	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,136
Y_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,669
$P(S_i)$	0,077 0	0,023 7	0,017 8	0,023 7	0,017 8	0,077 0	0,02 37	0,0118 5	0,035	0,0474 4	0,047	0,0237	0,0296	0,0178	0,0474	0,0474	0,0415	0,0415	0,0652	0,283 2	

Якщо ці обидва параметри відповідають нормативним значенням, то

дизель перебуває у роботоздатному стані. А якщо хоч один із контрольованих параметрів не відповідає нормативу, то дизель - у нероботоздатному стані.

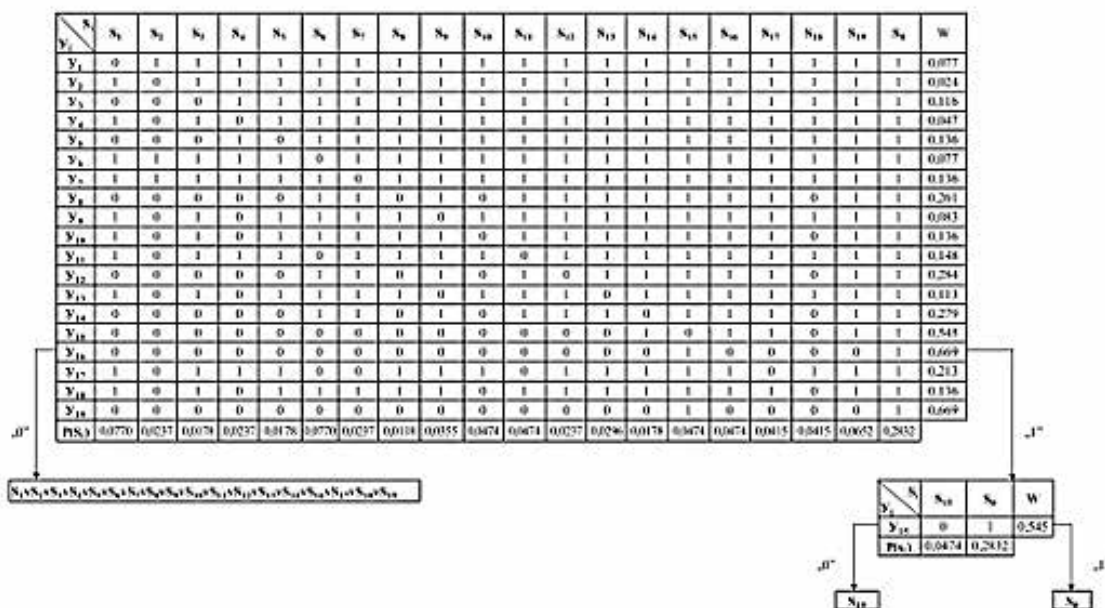


Рис. 4.1. Схема побудови оптимізованого алгоритму контролю роботоздатності дизеля

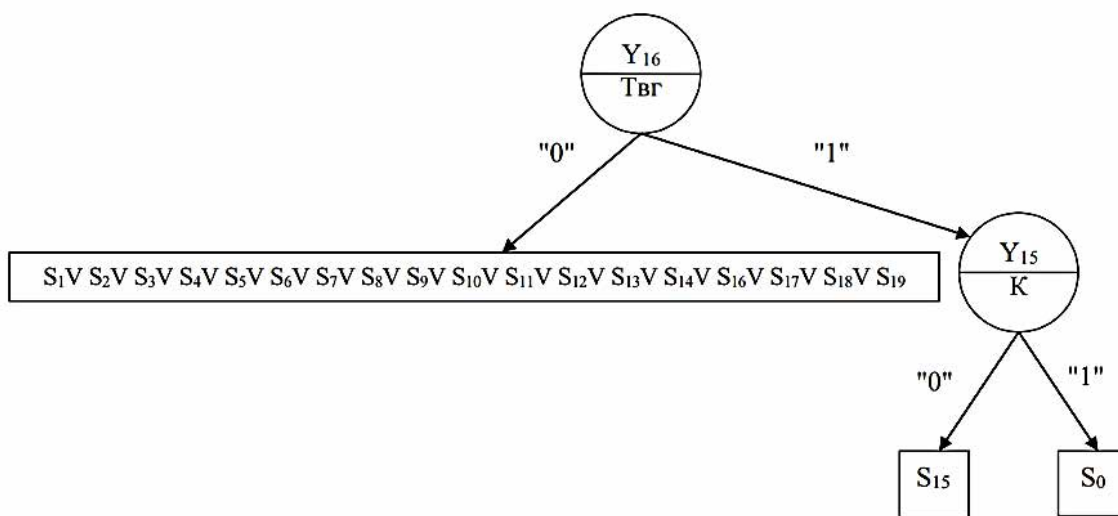


Рис. 4.3. Оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизеля

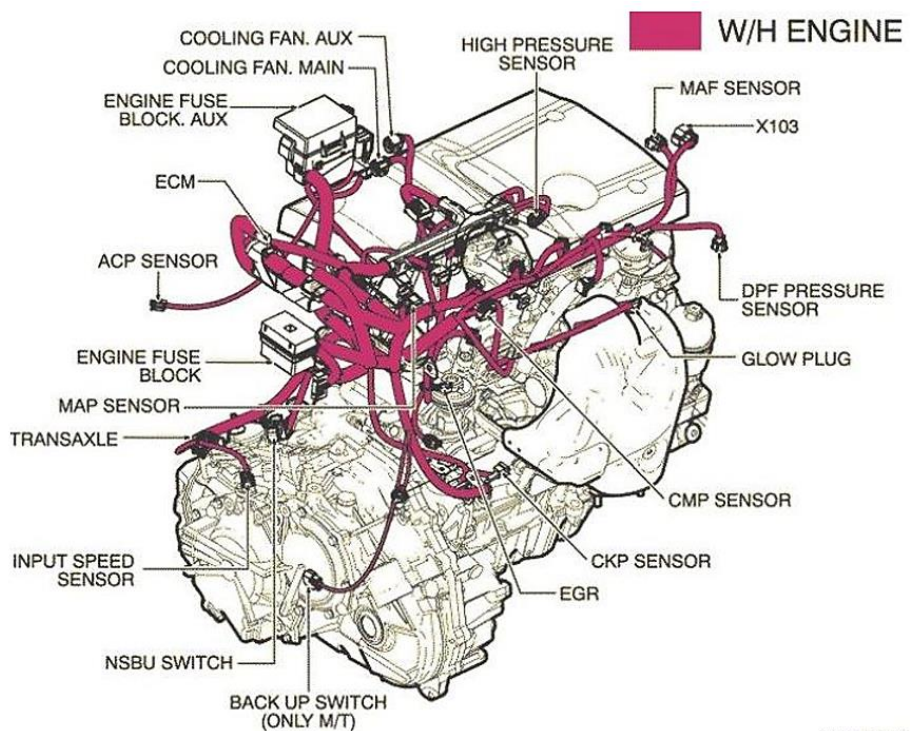
4.3. Моделювання технологічного процесу при експрес-діагностуванні дизеля

Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурою відпрацьованих газів здійснюється наступним чином:

1. Двигун прогривають до робочої температури. Фазо акустичний датчик температури 3 під'єднують до випускної труби ДВЗ на її виході (див. розділ 1, рис. 1.1-1.2).

2. Виконують налаштування фазо акустичного датчика температури за сигналом фазового дискримінатора 5.

3. Налаштовується програмне забезпечення для діагностування дизеля.



C7A12010

Рис. 4.4. Двигун Volvo V50 D5

4. Діагностування ДВЗ. Виявлено 2 помилки.

The screenshot shows a diagnostic software interface. At the top, there's a browser window with the URL `http://localhost/Vida/Login.do`. Below the browser, there's a navigation menu with options like "ОТЧЕТ ОБ ОШИБКАХ", "ИНФОРМАЦИЯ", "ПРОФИЛЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА", "ИНФОРМАЦИЯ", "СПИСОК РАБОТ", "ДИАГНОСТИКА", and "ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ". A sub-menu is open, showing "ДЕТАЛИЗАЦИЯ", "СЕТЬ", "ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ", and "СПРАВочНАЯ ИНФОРМАЦИЯ".

In the center, there's a network diagram showing various modules connected to a central unit (CEM). Modules include EPS, HCM, ECM, TCM, BCM, SWM, CT, PDM, KVM, CCM, ICM, DIM, SRS, AEM, TRM, PAM, MMM, RDAR, AUO, IAM, PHM, BPM, PSM, DEM, and DDM.

Below the diagram, there's a list of error messages under the heading "Исходное положение". The messages are:

- ECM-2B00 Температура отработавших газов - Сигнал неверен
- ECM-2B10 Датчик температуры пылепоглощающего фильтра - Сигнал неверен
- Возврат к исходным настройкам аварийн. режима
- Проверка алкогольного замка, в модуле снабжения водителя информацией (DIM) есть сообщение
- Проверка алкогольного замка, лампы горят ошибочно/не горят вовсе

Рис. 4.5. Диагностика выявила, что в системе 2 помилки

The screenshot shows a detailed view of a diagnostic error. The title is "ECM-2B10 Датчик температуры пылепоглощающего фильтра - Сигнал неверен". Below the title, there's a table with columns for "Окончательный статус", "Данный рабочий цикл", and "Предыдущие рабочие циклы".

Окончательный статус	Данный рабочий цикл	Предыдущие рабочие циклы
В процессе поиска неисправностей в предыдущем рабочем цикле была обнаружена диагностическая неисправность. Проверка диагностических кодов неисправностей не	Статус: Помехи: <30%	Статус: Частота: Высокий

Below the table, there's a section titled "284: ECM-2B10 Датчик температуры пылепоглощающего фильтра. Сигнал неверен". To the left of this section is an image of a sensor connector. To the right, there's a section titled "Информация кода неисправности ECM-2B10" with the following text:

Условие
Модуль управления двигателя (ЕСМ) следит за температурой в системе выхлопных газов. Если модуль управления двигателем (ЕСМ) обнаруживает, что сигнал датчика температуры улавливателя частиц неправильный, регистрируется код неисправности. Этот код неисправности может быть выявлен когда двигатель работает.

Рис. 4.6. Проблема в температурном датчику перед DPF

5. Замена датчика Volvo 31431047.



Рис. 4.7. Оригінальний датчик Volvo 31431047, запчастина від Sensata hts 1440045908261



Рис. 4.8. Аналог оригінальної частини AT Autoteile AT11081

6. Діагностування ДВЗ. Виявлено 1 помилку – датчик температури каталізатора

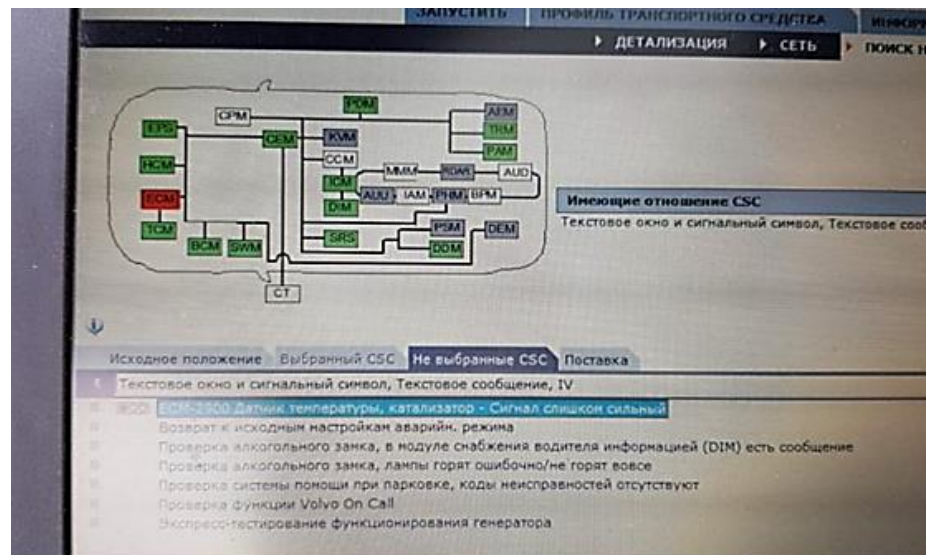


Рис. 4.9. Потребує заміни датчик температури катализатора



Рис. 4.10. Заміна датчика у DPF

7. Діагностування ДВЗ. Невиявлена помилка

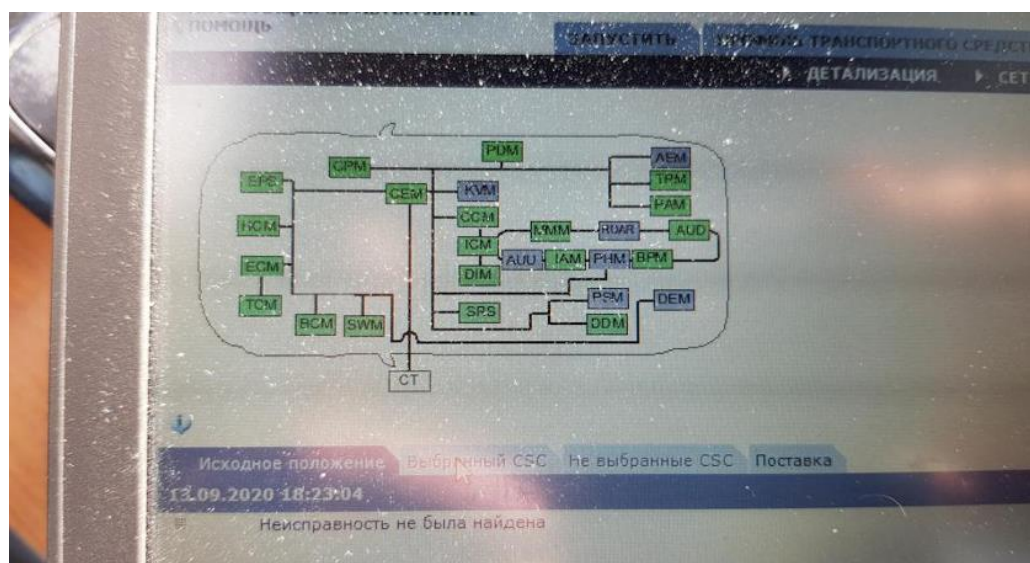


Рис. 4.11. Діагностування ДВЗ

4.4. Висновки за розділом 4

Слід зауважити, що, на відміну від типового технологічного процесу, впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування дозволяє зменшити витрати електроенергії, за рахунок виключення із процесу застосування навантажувального роликowego стенду, та зменшити витрати часу на відновлення справного стану двигуна завдяки можливості визначення несправностей за циліндрами дизеля.

1. Використання діагностичних моделей дозволяє формально описувати об'єкти діагностування та, за характером зв'язків між функціональними елементами, досліджувати вплив різноманітних факторів на їх технічний стан.

2. За результатами аналізу існуючих діагностичних моделей та методів їх побудови встановлено, що для цілей діагностування і пошуку відмов дизеля найбільш доцільною є логіко-імовірнісна діагностична модель.

3. Для побудови оптимізованого алгоритму діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов було розроблено логіко-імовірнісну діагностичну модель дизеля на основі функціональної, функціонально-логічної схем та з урахуванням ймовірностей безвідмовної роботи його функціональних елементів.

4. За допомогою удосконаленої логіко-імовірнісної діагностичної моделі було визначено мінімальну кількість необхідних та достатніх діагностичних параметрів, а також побудовано оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів автомобілів.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішувалася важлива мета - своєчасне, якісне і повне задоволення потреб України у перевезеннях, підвищення економічної та екологічної ефективності роботи кожного підприємства. Виконання цього завдання неможливе без підтримки автомобільного транспорту у технічно справному та роботоздатному стані. У ході виконаної роботи отримані наступні основні результати:

1. Встановлено, що ефективність експлуатації автомобілів у значній мірі визначається технічним станом їх ДВЗ, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація, яка забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних методів та технічних засобів.

2. Встановлено, що одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних діагностичних параметрів, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів, є температура відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ. Реєструючи температуру ВГ кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, ГРМ та ЦПГ, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром. Визначено, що для цілей експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації найбільш відповідають акустичні датчики температури.

3. Удосконалено функціональну модель дизеля на основі аналізу конструкції та його функціонування та логіко-імовірнісну діагностичну модель дизеля для визначення певних діагностичних параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистичний щорічник України за 2015 рік. Офіц. вид. – К.: Державна служба статистики України, - 2016. - 574 с.
2. Колобов К.С. Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів : дис. к.т.н: 05.22.20 : захищена 20.03.2019: затв. 27.05.2019 / Колобов Костянтин Сергійович – К. 2019. – 259.
3. ДСТУ 3649-97 Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю.
4. Колобов К.С. Вибір діагностичних параметрів для експресдіагностування дизелів. / А.С. Жерновий, // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. Вип. 25 - К.: НТУ, 2012. -С. 175 - 178.
5. Гутаревич Ю.Ф. Двигуни автомобільні (основні терміни та визначення з відповідниками англійською та російською мовами): навчальний посібник] / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, В.І. Дмитренко, А.О. Корпач, А.А. Лісовал. - К.: НТУ, 2016. – 65 с.
6. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: [навч. посіб.] / Ю.Ф. Гутаревич, Д.М. Тріфонов. - К.: НТУ, 2015. – 244 с.
7. Жерновий А.С. Розробка та дослідження методу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, // Автошляховик України. Окремий випуск - К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. - С. 56 – 59.
8. Слободянюк М. Е. Розвиток теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.20 / Держ. у-т інфраст. та техн. Київ, 2020, 378 с.
9. Juściński, S. A survey on the structure of servicing activities carried out within the technical maintenance services of farm vehicles and machines. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 2012. Vol. 15(4). P.132-148
10. Маулевич В. О. Визначення основних діагностичних параметрів робочого

- процесу транспортних дизелів в експлуатації: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Одес. нац. морс. ун-т. Одеса. 2020. 149 с.
11. Полянський О.С. Формування властивостей надійності автотракторних двигунів у гарантійний і післягарантійний періоди експлуатації: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20 / Харківський нац. авт.-дор. університет. Харків. 2014. 381с.
 12. Repin, S., Evtiulov, S., Rajczyk, J. Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status. *Architecture and Engineering*. 2016. Vol. 1(2). P. 53-57.
 13. Daniyarovich, B. D. Creation and organization of a system of branded technical service for agricultural machines. *international journal of discourse on innovation, integration and education*. International journal of discourse on innovation, integration and education. Karshi. Karshi branch of the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers. 2020. Vol. 1. №4. С. 120-124.
 14. Rybacki, P. The research of the quality of agricultural machines technical service by servqual method. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 56, № 2. С. 122-143.
 15. Osuch, A., Osuch, E., Rybacki, P., Przygodziński, P., Kozłowski, R., Przybylak, A. A decision support method for choosing an agricultural machinery service workshop based on fuzzy logic. *Agriculture*. 2020. Vol. 10(3). С. 76 – 84
 16. Filipczyk, J., Madej, H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. 2010. Vol. 17, P. 99-104.
 17. Dalla Vedova, M. D., Berri, P. C. Optimization techniques for prognostics of on-board electromechanical servomechanisms affected by progressive faults. *International Review of Aerospace Engineering (I. RE. AS. E)*. India. Indian Institute of Technology Kanpur. 2019. Vol. 12(4). P 160-170
 18. Voronov, V. S., Rouban, A. I. Identification of models using analog sensitivity functions. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1679. No. 3. P. 032-045

19. Цимбал, С. В., Біліченко, В. В., Крещенецький, В. Л., Мальченко, В. Ю. Вдосконалення методики формування потужності зони поточного ремонту автомобілів. Наукові нотатки. 2018. Вип. 62. С. 44-47.
20. Дубінін, Є. О., Клец, Д. М., Холодов, А. П., Слинченко, І. В. Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних машин. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Вип. 2(88). 2020. С. 56-60
21. Ermakova, O. V., Kaloshina, M. N., Dianova, E. V. Management of innovative projects over the life cycle of distributed aviation systems. Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39(5), P. 439-442.
22. Filipczyk, J., Madej, H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. Journal of KONES. 2010. Vol. 17, P. 99-104.
23. Dalla Vedova, M. D., Berri, P. C. Optimization techniques for prognostics of on-board electromechanical servomechanisms affected by progressive faults. International Review of Aerospace Engineering (I. RE. AS. E). India. Indian Institute of Technology Kanpur. 2019. Vol. 12(4). P 160-170
24. Voronov, V. S., Rouban, A. I. Identification of models using analog sensitivity functions. In Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. No. 3. P. 032-045
25. Аулін В.В., Гриньків А.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. Матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. Проблеми конструювання, виробн. та експлуатації сільськогосп. техніки. Кропивницький: ЦНТУ. 2017. С.153-154.
26. Dombi, J., Jónás, T., Toth, Z. E. Fuzzy time series models using pliant-and asymptotically pliant arithmetic-based inference. Neural Processing Letters. 2020. Vol. 52(1). P. 21-55.
27. Wulff, S. S. Time series analysis: Forecasting and control. Journal of Quality

- Technology. 2017. Vol. 49(4). P. 418-426
28. Gritsenko, A., Shepelev, V., Zadorozhnaya, E., Shubenkova, K. Test diagnostics of engine systems in passenger cars. FME Transactions. 2020. Vol. 48(1). P. 46-52.
 29. Nikitin, N., Kizim, A., Matokhina, A. Multi-agent system for monitoring, diagnosis and forecasting the technical system condition with the car as an example. III International scientific conference "Information technologies in science, management, social sphere and medicine (ITSMSSM 2016)". Tomsk. Tomsk Polytechnic University. 2016. P. 166-171
 30. Diebold F., Mariano R. Comparing predictive accuracy. Journal of Business and Economic Statistics. 2002. № 13. P. 253-263
 31. Zorin, V. Assessment of products risks of mechanical engineering by results of diagnosing. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN). 2019. Вып. 7(1). С. 287-293.
 32. Yemelyanov, V., Chernyi, S., Yemelyanova, N., Varadarajan, V. Application of neural networks to forecast changes in the technical condition of critical production facilities. Computers Electrical Engineering. 2021. Vol. 93. С. 107-125
 33. Poddubnaya, A. A., Keller, A. V. 1. "Forecast"-adaptive forecast diagnostic intelligent system for vehicles. International Conference on Robotics and Mechantronics (ICRoM 2017). Hong Kong Polytechnic University. December 12-14, 2017. 2020. Vol. 819. No. 1. p. 012008
 34. Gabitov, I., Insafuddinov, S., Ivanov, Y., Yunusbaev, N., Abdrazakov, F., Farhutdinov, T. Examination of the system of continuous diagnosis and forecasting of mechanical condition of tractors and other farm machinery. Journal of Applied Engineering Science. 2020. Vol. 18(1). С. 70-80.
 35. Zhengxiang Y. Transport volume forecast based on GRNN network. Future Computer and Communication (ICFCC). 2010 2nd International Conference. 21-24 May 2010. Wuhan, China. 2010. Т. 3. С. 629-632.
 36. Makarova, I., Mukhametdinov, E., Mavrin, V., Shubenkova, K., Garipov, R. Improvement of the vehicle's onboard diagnostic system by using the vibro-diagnostics method. In 2018 International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Dagnostika). 4-7 Sept. 2018. Pilsen, Czech Republic. P. 1-4.

36. Лебедев, А. Т., Артьомов, М. П., Шуляк, М. Л., Лебедева, І. А. Забезпечення стійкості і керованості сільськогосподарських агрегатів із змінною масою. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2015. Вип. 1, №1. С. 57-61.