

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ - 73.00.00.000 ПЗ

Група АТ – 22-2

Данилюк Микола

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Данилюк Микола Любомирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Оптимізація діагностики та збільшення ресурсу дизельних електромагнітних форсунок

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Криштопа Святослав Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Гнип М.М.

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завкафедрою АТ

_____ С.І. Криштопа
„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр _____ Данилюк Микола Любомирович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. **Тема проекту:** «Оптимізація діагностики та збільшення ресурсу дизельних електромагнітних форсунок»

затверджена наказом по університету від _____ № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 21.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: розробити удосконалений метод діагностики закоксованих дизельних форсунок та збільшення ресурсу дизельних форсунок CR автомобільних двигунів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. Стан питання і завдання дослідження 2. Теоретичне обґрунтування діагностичного параметра закоксованості дизельних ЕМФ в експлуатації 3. Експериментальне дослідження впливу закоксованості дизельних ЕМФ на властивості транспортних засобів 4. Розробка методики підтримання дизельних ЕМФ в справному стані. 5. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:

1 Тема БР

2 Дизельні системи впорскування палива

3 Форсунки дизельних систем впорскування палива

4 Можливі несправності елементів дизельної електромагнітної форсунки CR

5 Способи очищення дизельних форсунок CR

6 Кількість відкладень та способи очищення форсунок

7 Обґрунтування критерію для оцінки закоксованості ЕМФ

8 Витрата палива в залежності від забрудненості ЕМФ та визначення допустимих значень

9 Показники властивостей автомобіля та відповідні їм допустимі значення

10 Схема структурно-наслідкових зв'язків стану забрудненості е/м форсунок

11-12 Експериментальні дослідження впливу закоксованості дизельних

ЕМФ на властивості автотранспортних засобів

13 Розробка методики діагностики забрудненості електромагнітних форсунок

14 Висновки

Керівник _____
Особистий підпис

/С. Криштопа/
Розшифровка підпису

Завдання прийняв до виконання _____
Особистий підпис

Розшифровка підпису

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ.	30.04.	
1 Розділ	02.05.	
2 Розділ	10.05.	
3 Розділ	15.05.	
4 Розділ	20.05.	
5 Розділ	31.05.	
6 Розділ	03.06.	
Графічна частина (презентація).	14.06.	
Висновки. Список використаних джерел.	17.06.	
Готовність проекту до попереднього захисту	19.06.	

Бакалавр _____

Особистий підпис

Розшифровка підпису

Керівник проекту _____

Особистий підпис

/ С. Криштопа /
Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи на тему: «Оптимізація діагностики та збільшення ресурсу дизельних електромагнітних форсунок» складається із 88 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 11 таблиць, 26 рисунків.

Мета роботи спрямована на підвищення ефективності експлуатації автомобілів, обладнаних системою упорскування дизпалива.

Ціль роботи – підвищення ефективності експлуатації автомобілів, оснащених системою упорскування дизпалива за рахунок обґрунтування періодичності обслуговування дизельних електромагнітних форсунок.

Об'єктом дослідження є процес роботи системи живлення дизельного двигуна, обладнаним системою упорскування дизпалива з електронним управлінням, предметом дослідження — закоксування ЕМФ системи упорскування дизельного палива.

Досліджено можливі несправності елементів дизельної електромагнітної форсунки CR та способи очищення дизельних форсунок CR. Зроблено обґрунтування критерію для оцінки закоксованості дизельних ЕМФ. Встановлені витрата палива в залежності від забрудненості ЕМФ та визначення допустимих значень. Розроблені показники властивостей автомобіля та відповідні їм допустимі значення.

Запропонована схема структурно-наслідкових зв'язків стану забрудненості е/м форсунок. Проведені експериментальні дослідження впливу закоксованості дизельних форсунок на властивості автотранспортних засобів. Розроблена удосконалена методика діагностики забрудненості електромагнітних форсунок

Ключові слова: система живлення, електромагнітна форсунка, діагностика, система CR, дизельний двигун, коксований розпилювач.

THE ABSTRACT

Explanatory note to the qualification bachelor's thesis on the topic: "Optimization of diagnostics and increasing the resource of diesel electromagnetic injectors" consists of 88 sheets of A4 format, which contain 5 sections, 11 tables, 26 figures.

The purpose of the work is to increase the efficiency of operation of vehicles equipped with a diesel fuel injection system.

The purpose of the work is to increase the efficiency of operation of vehicles equipped with a diesel fuel injection system by substantiating the periodicity of maintenance of diesel electromagnetic injectors.

The object of the study is the process of operation of the power supply system of a diesel engine equipped with an electronically controlled diesel fuel injection system, the subject of the study is coking of the EMF of the diesel fuel injection system.

Possible malfunctions of the elements of the diesel electromagnetic injector CR and methods for cleaning diesel injectors CR have been investigated. The criterion for assessing the coking of diesel EMFs has been substantiated. Fuel consumption depending on EMF contamination and determination of permissible values have been established. Vehicle property indicators and corresponding permissible values have been developed.

A scheme of structural-effect relationships of the state of contamination of e/m injectors has been proposed. Experimental studies of the influence of coking of diesel injectors on the properties of motor vehicles have been conducted. An improved method for diagnosing contamination of electromagnetic injectors has been developed

Keywords: power supply system, electromagnetic injector, diagnostics, CR system, diesel engine, coked atomizer.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. Стан питання і завдання дослідження	10
1.1 Особливості будови систем живлення дизельних двигунів	10
1.2 Особливості будови паливних систем дизельних двигунів	11
1.3 Особливості будови форсунок дизельних двигунів	15
1.4 Причини відмов електромагнітних форсунок	18
1.5 Методи діагностики та очищення електромагнітних форсунок	23
1.6 Завдання дослідження в БР	28
2 Теоретичне обґрунтування діагностичного параметра закоксованості дизельних ЕМФ в експлуатації	30
2.1 Постановка завдання	30
2.2 Обґрунтування критерію для оцінки закоксованості дизельних ЕМФ	30
2.3 Вибір показників токсичності та експлуатаційних властивостей, на які впливає закоксованість дизельних ЕМФ та визначення їх допустимих значень	34
2.4 Визначення допустимого значення критерію оцінки закоксованості дизельних ЕМФ	37
2.5 Вибір діагностичного параметра і його допустимого значення	40
2.6 Висновки	44
3 Експериментальне дослідження впливу закоксовування дизельних ЕМФ на властивості транспортних засобів	46
3.1 Постановка завдання	46
3.2 Дослідна установка	47
3.3 Експериментальне визначення впливу закоксовування дизельних ЕМФ на споживання палива двигуном	49
3.4 Експериментальне визначення впливу закоксовування дизельних ЕМФ на показники властивостей автомобіля	50
3.5 Експериментальне визначення закоксовування дизельних ЕМФ в експлуатації	56
3.6 Органолептична оцінка закоксовування дизельних ЕМФ по динамічним властивостям автомобіля	57
3.7 Висновки	58

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ			
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Данилюк М.			Оптимізація діагностики та збільшення ресурсу дизельних електромагнітних форсунок	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Криштопа С.І.					6	88
Реценз.						ІФНТУНГ, АТ-22-2		
Н. контр.		Криштопа С.І.						
Затверд.		Гнип М.М.						

4 Розробка методики підтримання дизельних ЕМФ в справному стані

4.1	Постановка завдання	60
4.2	Обґрунтування допустимого значення діагностичного параметра	60
4.3	Методика діагностики закоксованості дизельних ЕМФ	63
4.4	Висновки	64

5 Охорона праці

5.1	Організація охорони праці	65
5.2	Техніка безпеки під час ТО та ремонту автомобілів	65
5.3	Вимоги техніки безпеки до інструментів, пристроїв і основному технологічному устаткуванню	67
5.4	Заходи техніки безпеки під час проведення ТО та діагностування системи живлення	
5.5	Висновки	68
	Загальні висновки	70
	Список використаної літератури	72
	Додатки. Презентація	74

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Якщо взяти до уваги, що кількість автомобілів на даний момент в Україні приблизно вісім мільйонів і знаючи той факт, що цей показник для розвинутих європейських країн складає приблизно 50 автомобілів на сто громадян, загальна кількість автомобілів в Україні в недалекому майбутньому повинна ще зрости.

Причому, переважно, в Україні на сьогоднішній день експлуатуються автомобілі з системами живлення двигунів з електронними системами упорскування палива, які використовуються практично всіма виробниками автомобілів.

В експлуатації система упорскування палива має більш високий рівень надійності, порівняно зі старою карбюраторною системою живлення, проте вимагає кваліфікованого обслуговування. Досвід експлуатації автомобілів, оснащених системами упорскування палива, показав низьку готовність системи технічного обслуговування та ремонту в умовах експлуатації. Відсутність необхідної кваліфікації персоналу та недостатня поширеність засобів діагностування, призвели до зниження ефективності використання автомобілів.

У процесі експлуатації в системі живлення, у тому числі в електромагнітних форсунках (ЕМФ) відбувається відкладення смол, що призводить до змін у дозуванні палива. Інтенсивність смолоутворення залежить від багатьох факторів і може змінюватись у процесі експлуатації. Забрудненість ЕМФ смолистими відкладеннями відбивається на експлуатаційних показниках автомобіля: потужності, економічних та екологічних. Для відновлення вихідних значень параметрів системи упорскування палива необхідне проведення робіт з її очищення.

Значні труднощі при технічному обслуговуванні представляє визначення ступеня закоксованості ЕМФ. Всебічне діагностування працездатності ЕМФ передбачає використання складного стендового обладнання з комп'ютерним забезпеченням. Такі стенди мають високу вартість. Їх використання на більшості СТО не буде економічно виправданим.

Операції з очищення паливної системи та діагностика її технічного стану не є плановими операціями регламентних робіт з обслуговування автомобіля, передбачених у Посібнику з експлуатації. Вони виконуються, як правило, за заявкою власників автомобілів.

У зв'язку з цим тема дипломної роботи, спрямованої на підвищення ефективності експлуатації автомобілів, обладнаних системою упорскування дизпалива, є актуальною.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ціль роботи – підвищення ефективності експлуатації автомобілів, оснащених системою упорскування палива за рахунок обґрунтування періодичності обслуговування дизельних електромагнітних форсунок.

Об'єктом дослідження є процес роботи системи живлення дизельного двигуна, обладнаним системою розподіленого упорскування палива з електронним управлінням, предметом дослідження — закоксування ЕМФ системи упорскування дизельного палива.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Особливості будови систем живлення дизельних двигунів

На перший погляд, дизельний двигун схожий на бензиновий двигун і деякі виробники забезпечують уніфіковану конструкцію блока для компресійного запалювання (CI) та іскрового запалювання (SI). Але є важливі відмінності між двигунами CI та SI, які відрізняються не лише способом займання палива. Наприклад, ступінь стиснення як мінімум, для холодного запуску дизельного двигуна має становити приблизно 16:1. Причому високий ступінь стиску забезпечує максимальну теплову ефективність двигуна (рис. 1.1)

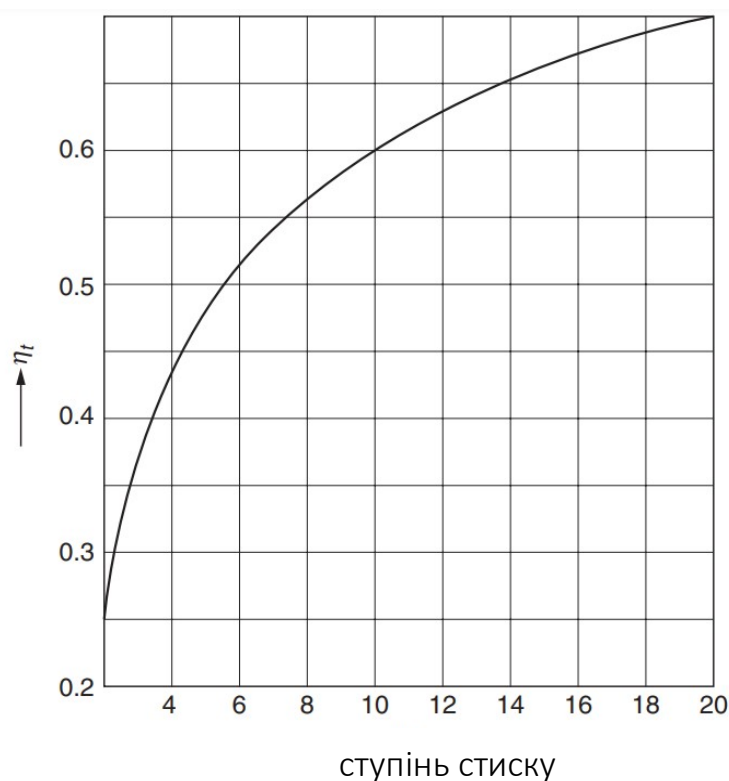


Рисунок 1.1 – Залежність теплової потужності дизельного двигуна від ступеня стиску

Високопродуктивні дизелі, такі як використовуються в європейських автомобілях, розвивають максимальну потужність приблизно при 5000 об/хв. аналогічні автомобільні бензинові двигуни можуть обертатися майже вдвічі швидше. Але, завдяки високому ефективному середньому індикаторному тиску, дизелі мають перевагу у крутному моменті. Високі показники ступеня стиску (точніше, великі коефіцієнти розширення) дають дизельним двигунам вищу теплову ефективність, вони досягають на 40% і більше теплової ефективності. Відмінна термічна ефективність та об'ємна ефективність, яку забезпечує не дросельний впускний колектор і здатність ре циркулювати деяку кількість

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихлопного тепла за допомогою турбонаддуву сприяють значній економії палива [5].

1.2 Особливості будови паливних систем дизельних двигунів

Найбільш технологічно складною є система паливоподачі дизеля, тому більшість несправностей стосується саме паливної системи. Ця система складається з трьох контурів кожен, з яких працює при іншому тиску.

Контур низького тиску - включає в себе сітчастий фільтр бака, насос низького тиску (знаходиться у внутрішній частині баку), водо-паливний сепаратор, фільтри і підкачувальний насос. Тиск в даному контурі буває різний та може ніколи не перевищує 0,5 МПа.

Контур зворотної подачі палива, працюючи при майже нульовому тиску, передає надлишок палива з форсунок назад у бак, у фільтр або на вхід насоса. Багато з цих систем містять обмежувальний калібрований отвір чи клапан (регулятор тиску) між лінією подачі палива і зворотнім контуром.

Контур високого тиску з'єднує нагнітальний бік інжекторного насоса з форсунками. Для багатьох систем вона реалізується з'єднувальним паливопроводами та має форму виділених ліній від насоса до окремих форсунок. Більш сучасні можуть жити форсунки від загального колектора або рампи. Третя альтернатива позбавляє зовнішнього контуру високого тиску завдяки використанню блоку насос-форсунок.

Із великої кількості, розроблених виробниками систем живлення найбільшого поширення набули 4 основні технології паливоподачі дизельних двигунів, вони передбачають використання:

- рядний ПНВТ;
- ПНВТ розподільного типу;
- насос-форсунок.
- система Common Rail

Рядний ПНВТ найбільш проста механічна система, в якій використовуються плунжерна пара, створюючи тиск та стискаючи паливо до необхідних показників. Як тільки досягається відповідний тиск, відкривається спеціальний клапан, що подає паливо на форсунку, яка впорскує його в циліндр (рис. 1.2).

Рядні помпи мають кулачковий вал з'єднується з шестернями ГРМ двигуна або через муфту випередження впорскування. Над кожним кулачком знаходиться штовхач та плунжер, а гільза плунжера є напрямною, в якій плунжер здійснює зворотно-поступальний рух й нагнітання палива.

Поєднання втулки та плунжера утворює насосний елемент, або плунжерну пару. Величина циклової подачі палива змінюється переміщенням рейки, повертає сам плунжер з гвинтовою канавкою (рис. 1.3). Завдяки цьому може

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюватись момент початку та кінця нагнітання, тобто величина циклової подачі [1], [10], [19].

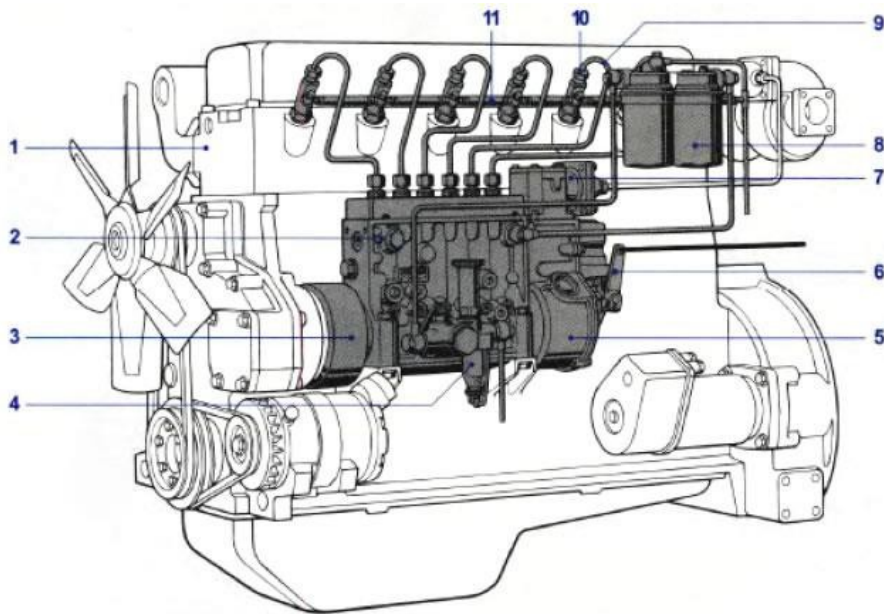


Рисунок 1.2 – Рядні ПНВТ живлення дизеля

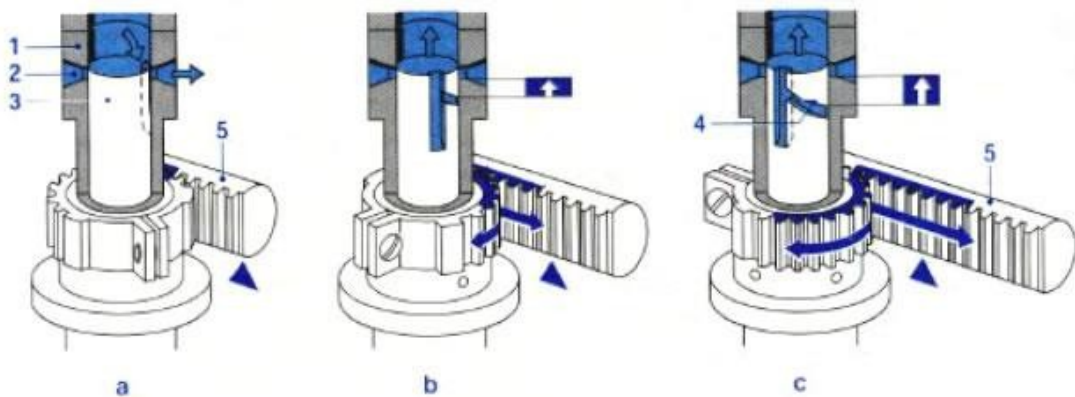


Рисунок 1.3 – Регулювання циклової подачі рядного ПНВТ дизеля

У крайньому положенні, що відповідає нульовій подачі (а), нагнітання палива не відбувається й двигун зупиняється. Середня подача (b) плунжер встановлюється у проміжне положення, а повна подача (c) відбувається за умови встановлення максимального ходу плунжера.

Дана система застосовується на сільськогосподарській, вантажній та спеціальній техніці з дизельними двигунами, що відповідає екологічними стандартами нижче Євро 4.

Розподільні паливні насоси високого тиску (рис. 1.4), мають лише один або пару плунжерів, які здійснюють паливоподачу у контур високого тиску для усіх циліндрів. Вони менші за масою та габаритами, тому їх використовують найчастіше на двигунах легкових автомобілів.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Привід плунжера можуть здійснюватися від торцевих кулачків (Bosch VE), внутрішніх кулачків привід (Bosch VR, Lucas DPS), або зовнішніх кулачків.

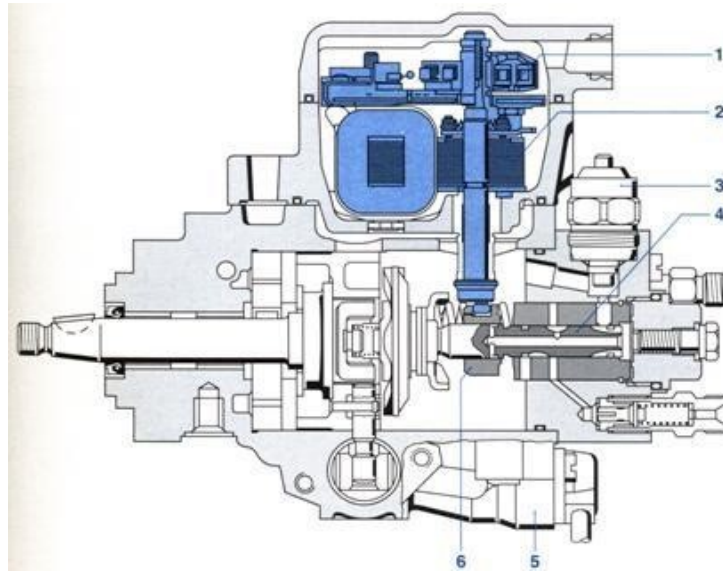


Рисунок 1.4 – Розподільний насос ПНВТ дизеля

Перевагою систем подачі палива із розподільчим ПНВТ це невеликі габарити та компактність насоса. Однак є ряд недоліків, серед яких складність конструкції, ремонту, налаштування та адаптація до застосування схем електронного керування для автоматичного коригування роботи.

Наступним поколінням є система подачі палива з використанням насос-форсунок. Дана технологія не потребує використання ПНВТ, тоді як форсунка містить насосну секцію, виконану в єдиному корпусі (рис. 1.5).

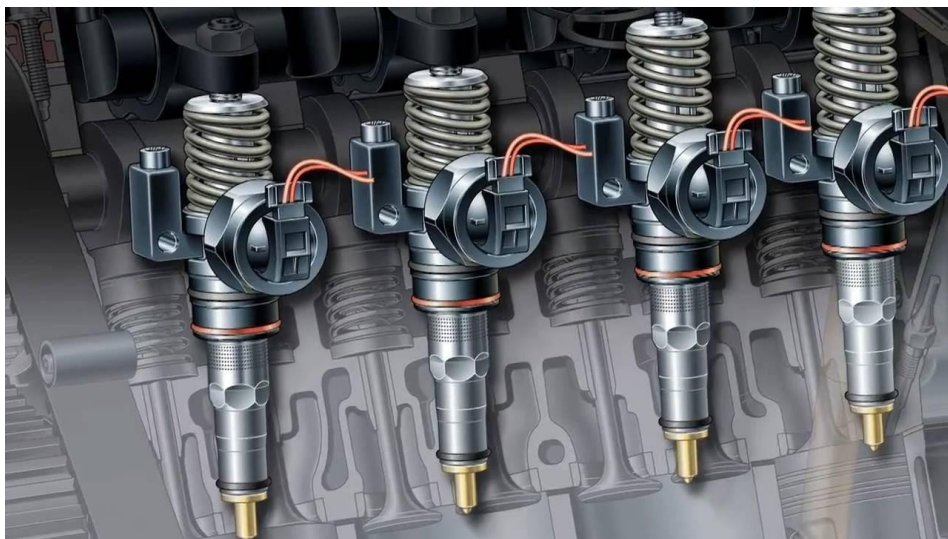


Рисунок 1.5 – Система паливоподачі з насос-форсунками

У даній системі досить легко регулюється паливоподача у відповідний циліндр двигуна. Іншим позитивним моментом є те, що можлива поломка лише

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

однієї насос-форсунки, тоді як решта продовжує далі працювати, що дозволяє експлуатувати автомобіль. У випадку поломки ПНВТ система виходить з ладу в цілому. Привід насос-форсунки отримують від розподільчого вала ГРМ головки блоку циліндрів [1], [10], [19].

До недоліків даної системи можна віднести високу вартість насос-форсунок, також відмічається їх висока чутливість до якості дизельного палива. Така система паливоподачі широко використовується як у вантажних, так і легкових автомобілях.

Система Common-Rail – це система впорскування палива останнього покоління, яку використовують середньооборотних дизельних двигунах. Робота системи Common Rail зводиться до подача потрібної кількості палива під дуже високим тиском до циліндра в потрібний момент часу. Початкова точка, тиск, тривалість упорскуванням легше керується ніж у попередніх системах впорскування палива. Тому паливоподачу можна оптимізувати для будь-якого навантаження та робочої швидкості обертання двигуна.

Система Common Rail (рис. 1.6) зараз активно впроваджується у сільськогосподарській техніці, важких комерційних автомобілях через постійно зростаючі стандарти скорочення шкідливих викидів.

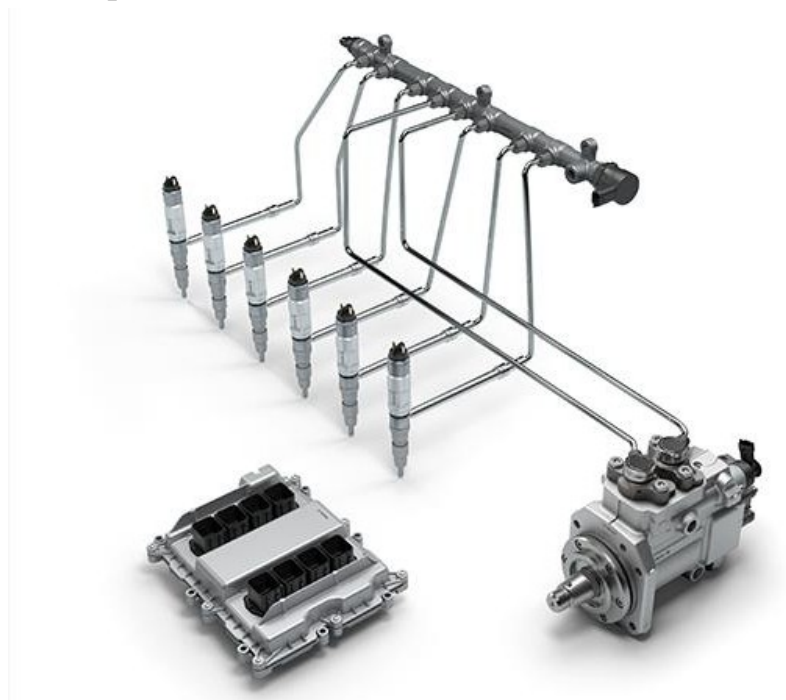


Рисунок 1.6 – Система паливоподачі CommonRail

Система Common Rail включає багато електронних компонентів, які повністю автоматизують систему управління паливоподачею. Блок управління двигуном регулює і контролює параметри впорскування палива в залежності від робочого режиму двигуна.

Блок керування двигуном зчитує дані датчиків, наприклад, положення колінчастого вала, температури двигуна, навантаження, тиску надувного повітря, температури впускного повітря, і на основі цього вибирає правильні параметри впорскування палива з попередньо визначених карт.

У системі Common Rail насос високого тиску постійно створює тиск до 220 МПа у паливній рампі та паливних форсунках. Чим вищий тиск уприскування, тим менший розмір крапель паливної емульсії, що означає кращу суміш і повніше згоряння в циліндрах.

Системи Common Rail для середньошвидкісних дизельних двигунів зазвичай працюють на світлих сортах дизельного палива, її використання сприяє зниженню споживання палива та шкідливих викидів.

1.3 Особливості будови форсунок дизельних двигунів

Форсунки забезпечують безпосередню подачу палива в камери згоряння циліндрів двигуна та його рівномірне розпилення по об'єму палива. Розпорошення палива відбувається через спеціальні сопла (розпилювач форсунки). Сопла формують строго заданий паливний факел, внаслідок чого паливо та повітря змішуються ефективніше, а суміш згоряє краще.

Виділяють кілька типів дизельних форсунок, залежно від принципу їх роботи системи та особливостей конструкції:

- механічні;
- електромагнітні;
- п'єзоелектричні;
- насос-форсунки;

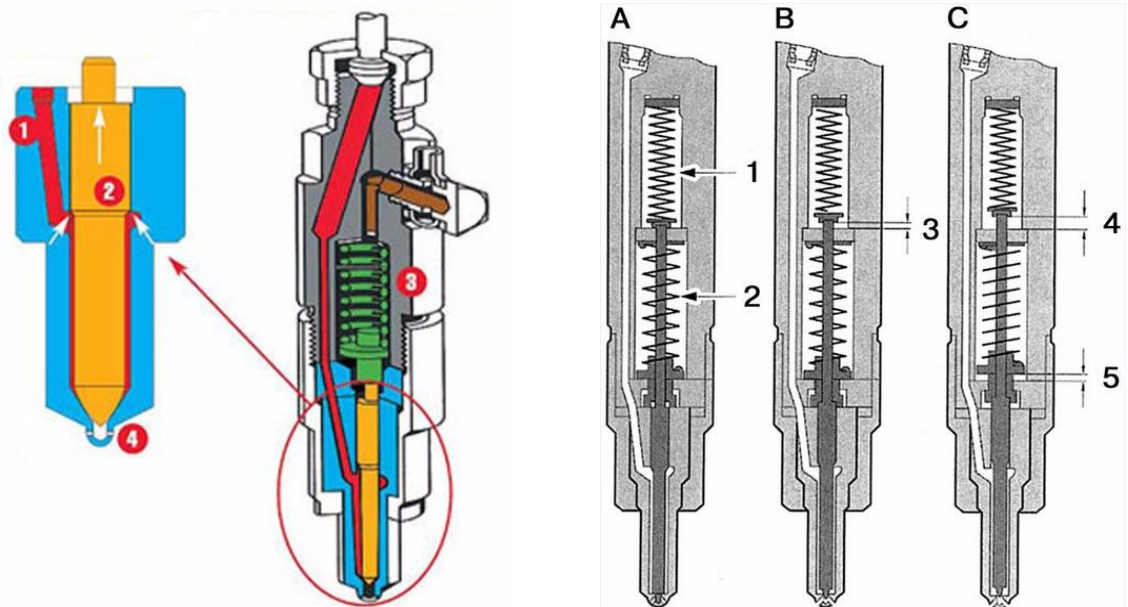
Механічна форсунка – найпростіша та надійна конструкція, яка тривалий час застосовувалась в автомобілебудуванні. Принцип роботи механічної форсунки полягає у керуванні паливоподачею за допомогою пікових значень тиску, які створює ПНВТ. Клапан форсунки відкривається, тільки після досягнення необхідного значення тиску [1], [6].

У корпусі форсунки розміщується соплом та голка. В опущеному стані голка закриває доступ палива до сопла. Як тільки тиск піднімається голка піднімається, паливо надходить на розпилювач для подальшого впорскування. Один з різновидів – форсунки з двома пружинами, які дали можливість реалізувати двоступеневе подання палива без використання електроніки.

Наступним типом форсунок, є ті, що відносяться до електронних систем типу Common Rail. Вони найчастіше бувають електромагнітними або п'єзоелектричними, їх об'єднують магістралями з товстостінних трубок в одну систему з паливним акумулятором високого тиску, здатних витримувати тиск до 250 МПа.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Форсунки системи Common Rail за аналогією з форсунками на дизельних двигунах встановлюються із затискними скобами в головці циліндрів аналогічно як у бензинових з безпосереднім упорскуванням палива. Тим самим допускається можливість встановлення форсунок зазначеної системи на дизельні двигуни з безпосереднім упорскуванням палива без кардинальної модернізації головки блоку циліндрів [1], [6].



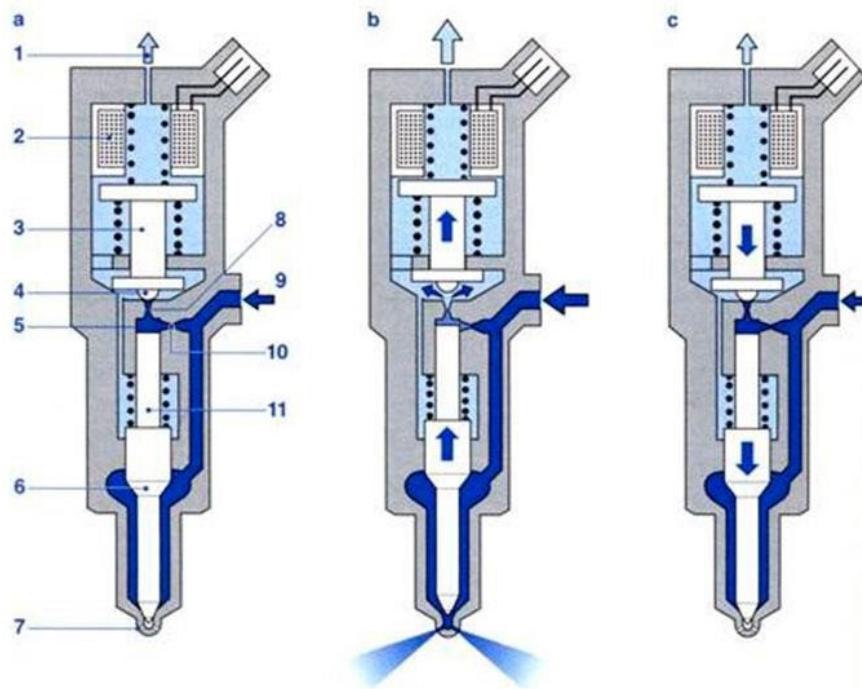
1 - канавка подачі палива; 2 – запірні голки; 3 – корпус форсунки; 4 - отвір розпилювача

Рисунок 1.7 – Механічна паливна форсунка

Необхідні час початку упорскування та величина подачі палива (тривалість упорскування) забезпечуються відкриттям електромагнітного клапана кожної форсунки (рис. 1.8) за допомогою команди від електронного блоку управління, що отримує сигнали про положення колінчастого валу та частоти його обертання через відповідні датчики. Форсунка складається з таких основних функціональних блоків: розпилювальний вузол, система гідроприводу відкривання-закривання та клапанний вузол.

Форсунка даного типу працює трьох режимах:

- стан спокою (рис. 1.8 а). Дизельне паливо подається по магістралі високого тиску 9 через отвір, що підводить до розпилювача форсунки, а також через дросельний отвір 10 та в камеру 5 керуючого клапана. При закритому дросельному отворі сила гідравлічного тиску тиснена мультиплікатор 11 та діє зверху керуючого клапана. При цьому і зусилля пружини перевищує силу тиску палива на конус 6 голки розпилювача й голка щільно прилягає до сидла закриваючи соплові отвори 7 розпилювача;



1 – зворотна паливна магістраль; 2 – котушка електромагніту; 3 – явір електромагніту; 4 – кулька клапана; 5 - камера керуючого тиску; 6 – конус голки розпилювача; 7 – соплові отвори розпилювача; 8 – дросельний отвір відведення палива; 9 – магістраль високого тиску; 10 - дросельний отвір подачі палива; 11 – мультиплікатор;

Рисунок 1.8 – Електромагнітна паливна форсунка

- подача палива (рис. 1.8 б). Під час подачі електричного імпульсу спрацьовує явір електромагнітного клапана й переміщається вгору дросельний отвір. Тиск у камері керуючого клапана знижується й під дією тиску палива на конус 6 голка розпилювача відходить від сідла і паливо через соплові отвори 7 вприскується камеру згорання циліндра;

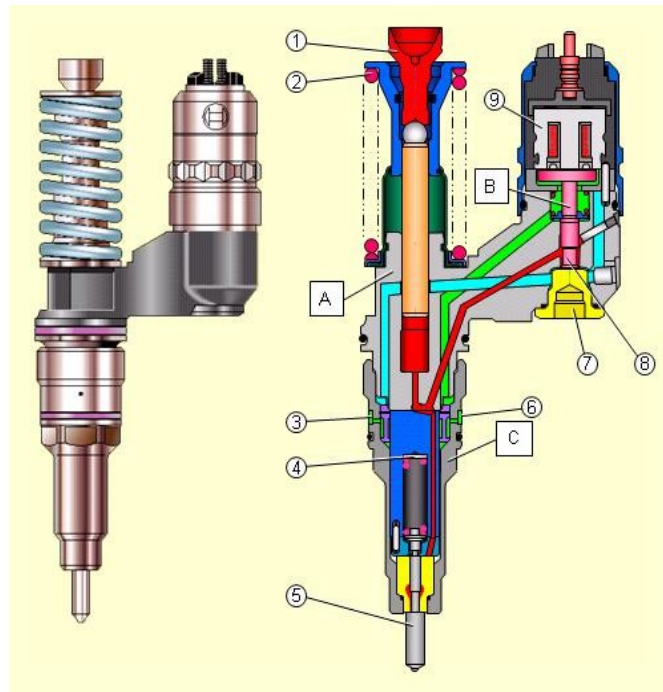
- завершення подачі палива (рис. 1.8 в). Після закриття клапана тиск над мультиплікатором підвищується, внаслідок чого він переміщається вниз і через пружний стрижень впливає на голку розпилювача, швидкість переміщення голки збільшується, вона повністю [1], [4], [5-6] опускається та перекриває доступ до соплових отворів розпилювача.

Насос-форсунки (рис. 1.9) - компоненти дизельної паливної системи, які виконують функції як паливного насоса, так і форсунки-розпилювача. Вони використовуються для подачі палива під високим тиском до камери згорання дизельного двигуна [1], [4], [5-6].

Основний принцип роботи насоса-форсунки полягає в створенні високого тиску для подачі палива в систему під дією механічного механізму вала ГРМ або електричного приводу.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Поршень у насос-форсунці рухається вгору і вниз, у піднятому стані поршень всмоктує паливо з паливного каналу через впускний клапан. При переміщенні вниз поршень стискає паливо, підвищуючи тиск. Після досягнення пікових значень тиску палива мультиплікатор відкривається і дозволяє паливу впорскуватись у камеру згоряння під високим тиском [1], [4].



А - насосна секція; В - клапанна секція; С – секція упорскування.

- 1 - кульковий упор;
- 2 - поворотна пружина;
- 3 - зворотний канал;
- 4 - регулювальна шайба розпилювача; 5 – розпилювач;
- 6 - вхідний канал;
- 7 - упор клапана управління;
- 8 - паливний клапан;
- 9 - соленоїд управління клапаном

Рисунок 1.9 – Насос-форсунка

1.4 Причини відмов електромагнітних форсунок

Для визначення можливих причин відмови електромагнітних форсунок необхідно розглянути порушення працездатності їх окремих елементів (таблиця 1.1).

Аналіз випадків відмов форсунок дозволив зробити висновок про те, що погіршення якості розпилювання палива та зниження продуктивність форсунки є основними причинами порушення працездатності форсунок в експлуатації. Як правило, подібні порушення працездатності викликані осмоленням внутрішніх і

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

зовнішніх поверхонь форсунки.

При використанні нафтових палив у системі паливоподачі, у впускному тракті, картері та камері згоряння двигуна відбуваються процеси накопичення відкладень. Характер відкладень та інтенсивність їх накопичення залежать від фізико-хімічних властивостей палив та впливу на них зовнішніх факторів (температури, тиску, каталітичної дії металів та ін.).

Таблиця 1.1 – Можливі відмови елементів електромагнітного сопла

Елемент електромагнітної форсунки	Вимоги до збереження працездатності	Можливі причини
Розпилювач	Закоксування отворів розпилювача	Погіршення якості розпилення палива, втрата потужності
Розпилювач	Формування конуса розпилюваного палива під заданим утом	Погіршення якості розпилення палива, втрата потужності
Сітка фільтра	Очистка палива від механічних домішок	Зменшення кількості палива, через забруднення сітки
Обмотка електромагніта	Відсутність обривів і замикань ($R=15.5\pm0.5$ Ом)	Припинення подачі палива
Магнітний якір	Вирівнювання та необхідний зазор.	Переривання подачі палива, необмежена подача палива
Голчастий клапан	Статична продуктивність при тиску $P_t = 30$ МПа, напруга живлення ЕМФ $U_{ж} = 13$ В, $Q=207 - 212$ см ³ /хв.	Зниження статичної продуктивності
Кільце ущільнювача в ГБЦ	Герметичність з'єднання форсунки та ГБЦ	Витік палива через з'єднання
Електричний роз'єм	Надійний електричний контакт	Окислення контактів роз'єму, припинення подачі палива

Дизельні палива містять значну кількість ненасичених вуглеводнів, які легко окислюються у рідкій фазі.

Ненасичені вуглеводні зі сполученими подвійними зв'язками, а також олефіни при температурі вище 800°C при окисненні можуть утворювати циклічні та полімерні перокси. Окислення ненасичених вуглеводнів зазвичай супроводжується утворенням продуктів полімеризації – смолистих речовин. Склад і будова самих смол не встановлені, оскільки індивідуальні речовини важко виділити з маси, що не кристалізується.

Про хімічний склад смол, що утворюються в дизпаливі, можна орієнтовно судити по співвідношенню в них кислих і незмивних продуктів. Так в смолах, отриманих випарюванням у скляній чашці, містилося 85.5% кислот і близько 13% незмивних продуктів, тобто. значну частину смол складають кислоти, або зв'язані ефіри та лактони. При тривалому зберіганні бензинів та дизельних палив у результаті окислення утворюються смоли, які поряд з киснем містять сірку та азот. Таким чином, у смолоутворенні беруть активну участь і первинні гетероорганічні домішки, що містяться в паливі і перетворюються під дією кисню на смолисті речовини.

Каталізаторами, що прискорюють окислення бензинів та дизельних палив при зберіганні, можуть бути металеві поверхні резервуарів та трубопроводів, а також оксиди та солі, що покривають ці поверхні. Прискорення окислення викликається, крім того, оксидами та солями металів, які можуть перебувати у паливах у вигляді тонкодисперсної суспензії.

На поверхнях елементів системи паливоподачі, що стикаються з рідким паливом (стілки паливних баків і трубопроводів, фільтри, паливні насоси та ін.), утворюються смолисті відкладення мазеподібної липкої консистенції. Кількість відкладень зростає з підвищенням вмісту смол у паливі та наявності в ньому механічних домішок.

Відкладення, накопичуючись на стінках трубопроводів та фільтрів, викликають погіршення прокачування палива; накопичення відкладень в агрегатах, що дозують витрату палива (жиклери, нагнітальної порожнини паливних насосів та ін.), веде до зміни дозування палива та порушення заданого складу паливної суміші.

Завдяки дії повітря, підвищеної температури і металу створюються сприятливі умови для окислення дизпалива, причому відбувається енергійне радикально-ланцюгове окислення не тільки вуглеводневої частини дизельного палива, але і смолистих речовин, що накопичилися раніше, з утворенням продуктів, що не розчиняються в дизельному паливі. Це стосується всіх типів дизельних двигунів незалежно від системи паливоподачі.

Навіть у системі розподіленого упорскування палива пари палива можуть поширюватися у впускному трубопроводі (наприклад, після зупинки двигуна).

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відкладення у впускному трубопроводі легко дізнатися по темному нальоту на внутрішній поверхні впускного алюмінієвого колектора. Усі фактори, що знижують хімічну стабільність дизельного палива, підвищують також їхню схильність до відкладень у впускній системі, що ілюструється експериментальними даними, наведеними в таблиці 1.2.

Паливо впорскується під високим тиском (близько 300 кг/см^2), при цьому для кожного циліндра суміш готується однією ЕМФ, що обумовлює малі геометричні розміри запірного клапана ЕМФ, що призводить до більшого впливу на пропускну здатність плівки смолистих відкладень.

Таблиця 1.2 – Кількість відкладень у впускній системі дизельного двигуна при випробуваннях лабораторним методом

Показники дизпалив	Кількість утворених відкладень, мг
Концентрація фактичних смол, мг на 100 мл	
5	40
15	90
25	150
35	200
Індукційний період, хв	
1000	8
340	22
110	43

Для зменшення відкладень смолистих речовин необхідно застосовувати кондиційні палива та забезпечувати ефективне очищення повітря та картерних газів. Для двигунів з високотемпературним підігрівом впускного тракту на часткових режимах роботи необхідно унеможливити утворення застійних зон і зворотних вихрових потоків горючої суміші в теплообмінному пристрої. Ці пристрої повинні проектуватися з достатнім запасом теплопродуктивності, необхідним для того, щоб компенсувати можливе зменшення підігріву через збільшення термічного опору стінок теплообмінника внаслідок накопичення на них відкладень.

У сільських районах вплив на інтенсивність смолоутворення може впливати паливо, яке довго зберігається в ємностях. Як правило, споживання палива автотранспортом невелике, що впливає на збільшення часу зберігання палива в ємностях на АЗС. Це призводить до окиснення палива. Збільшення вмісту фактичних смол у дизпаливі призводить до збільшення інтенсивності смолоутворення у паливній системі.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При тривалих стоянках автомобіля дизпаливо, що знаходиться в паливній системі, не циркулює. В цьому випадку відбувається окислення палива з утворенням смолистих відкладень на внутрішніх порожнинах паливної системи. Палива різної якості можуть мати у своєму складі (до 0,1%) різних присадок-диспергентів. Диспергенти є поверхнево-активні речовини, що перешкоджають виділенню твердої фази при окисленні нафтопродуктів або змінюють структуру і властивості утворюють смолистих продуктів у бік зменшення їх коагуляції. Диспергенти утримують смолисті продукти в колоїдному стані, перешкоджаючи їх укрупненню та осіданню. Механізм дії диспергентів заснований на тому, що вони адсорбуються на поверхнях мікрочастинок смолистих речовин (блокують ці поверхні), виключаючи можливість утворення більших конгломератів. Диспергенти застосовують спільно з антиокислювачами або підбирають сполуки, що володіють одночасно антиокислювальними та диспергуючими присадками. Такі присадки, що мають комплексні властивості, називають стабілізаторами-диспергентами.

Введення диспергуючих присадок значно покращує роботу системи паливоподачі двигуна (зменшується кількість відкладень у паливних баках та фільтрах, товщина лакової плівки, що відкладається на поверхні голок розпилювачів форсунки, тощо).

Промислові диспергуючі присадки, як правило, є багатофункціональними, вони покращують протизносні властивості палив, знижують їх корозійну агресивність, підвищують їх хімічну стабільність.

На сьогоднішній день широко поширені різні добавки до палива для очищення паливної системи. Застосування таких добавок ґрунтується на введенні в паливо різних розчинників (ацетон, толуол тощо). Смолисті речовини під дією добавки розчиняються в паливі та згорають у двигуні. Однак цей метод забезпечення чистоти системи упорскування палива може мати негативні наслідки. При використанні присадки для очищення паливної системи при сильному забрудненні смолистими речовинами можливе відшарування шматочків смолистих речовин із внутрішніх поверхонь паливної системи. У разі появи досить великих частинок (більше 30 мкм) можливе засмічення вбудованого фільтра ЕМФ та його відмова. Також можуть інтенсивно засмічуватися паливні фільтри. Крім того, застосування деяких розчинників, які не пройшли сертифікаційні дослідження, може призвести до пошкодження еластичної діафрагми регулятора тиску палива, попадання палива в картер двигуна, а також до попадання палива у впускний колектор з подальшим займанням.

Таким чином, особливостями смолоутворення в паливній системі двигуна є:

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Різний хімічний склад дизельного палива, умови зберігання палив, умови експлуатації автомобілів призводять до відмінностей в інтенсивності перебігу процесів смолоутворення у паливній системі.
2. Відкладення смол на внутрішніх поверхнях паливопроводів та ЕМФ призводять до значної зміни пропускної спроможності тільки ЕМФ, оскільки запірний клапан ЕМФ має малі геометричні розміри.
3. На розпилювачах ЕМФ утворюються ущільнені, нерозчинні у дизпаливі продукти окислення смолистих речовин. Утворення цих продуктів відбувається із значною інтенсивністю.
4. Відкладення на розпилювачі ЕМФ впливають на якість розпилювання палива, що викликає зміни нормальної роботи двигуна.

1.5 Методи діагностики та очищення дизельних електромагнітних форсунок

Порушення працездатності ЕМФ в експлуатації є важливим фактором, що впливає на експлуатаційні властивості автомобіля. Власники автомобілів, використовуючи бортові системи контролю, зазвичай, що неспроможні визначити несправність у роботі ЕМФ. Для виявлення причин зниження показників якості потрібне проведення діагностичних робіт.

Під час проведення повного комплексу робіт з діагностики технічного стану ЕМФ є низка особливостей:

- i. необхідний демонтаж ЕМФ з автомобіля;
- ii. використовується складний та дорогий діагностичний стенд з мікропроцесорним управлінням;
- iii. роботи з діагностики ЕМФ вимагають значних витрат часу.

Вище перелічені чинники утруднюють діагностування працездатності ЕМФ при експлуатації автомобіля.

Для невеликих СТО необхідний метод отримання даних про стан ЕМФ, що не потребує значних витрат часу та коштів. Один із методів дозволяє оцінити пропускну здатність ЕМФ без зняття з автомобіля. Для цього до паливної системи підключається пристрій контролю тиску палива, створюється робочий тиск у паливній системі та протягом певного часу подається напруга живлення, що відкриває клапан ЕМФ. Визначивши падіння тиску в системі можна оцінити пропускну здатність ЕМФ, а також порівняти пропускну здатність форсунок.

Недоліки цього методу такі:

- iv. для отримання достовірних результатів вимірювань потрібне використання приладів високого класу точності та комп'ютерного керування. Орієнтовна вартість такого приладу становить 850 доларів США;

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- v. роботи проводяться при заглушеному двигуні. При цьому паливо потрапляє в рідкому вигляді в циліндри двигуна, потім масляний картер, де змішується з маслом. Це призводить до зміни в'язкісних властивостей мастила, що може негативно позначитися на його властивостях;
- vi. при діагностиці даним методом не враховується якість розпилювання палива ЕМФ, що не дозволить визначити причину погіршення роботи двигуна, пов'язану з неякісним розпилюванням палива;
- vii. зворотній клапан ЕБН не завжди герметичний, що може позначитися на результатах вимірів.

Аналіз існуючих методів діагностування ЕМФ дозволяє зробити такі висновки:

1. Існуючі методи визначення працездатності ЕМФ або є дорогими, тому малодоступні, або не дають достовірної інформації про технічний стан ЕМФ;
2. При обслуговуванні систем упорскування палива, в умовах СТО необхідний недорогий метод діагностування ЕМФ, що потребує незначних витрат часу, що забезпечує достатню достовірність.
3. В умовах низького поширення діагностичного обладнання, що дозволяє контролювати структурні параметри ЕМФ, необхідно розробити метод діагностування працездатності ЕМФ діагностичними параметрами за непрямыми ознаками.

У процесі експлуатації двигунів із упорскуванням дизпалива відбувається закоксовування електромагнітних форсунок (ЕМФ) смолистими відкладеннями палива. Це призводить до зниження ефективного перерізу ЕМФ та погіршення якості розпилювання палива. Для підтримки ЕМФ у технічно справному стані необхідне періодичне очищення ЕМФ.

На сьогоднішній день існує кілька способів очищення ЕМФ. Вони (методи) значною мірою відрізняються трудомісткістю виконуваних робіт, а також кількістю та вартістю необхідного обладнання. У умовах актуальною є завдання обґрунтувати застосування тієї чи іншої способу очищення ЕМФ залежно від величини виробничої програми з очищення ЕМФ, і навіть інших умов.

Для власника автомобіля вибір способу очищення ЕМФ не принциповий, оскільки результат якісно проведеної роботи, а також її вартість від способу очищення ЕМФ практично не залежить.

У таблиці 1.3 представлені способи очищення ЕМФ та оціночні дані, отримані на основі зібраної інформації з СТО м. Івано-Франківська.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Способи очищення форсунок

Очистка ЕМФ	Спосіб очистки ЕМФ	Трудовісткість робіт з очистки ЕМФ на т/з Сітроєн С5 2.0 HDI, люд/год	Вартість необхідного обладнання, грн.	Вартість витратних матеріалів (на 4 ЕМФ), грн.
Без зняття з двигуна	Добавки до полива	0,2-5	-	1125
	Очищення сольвентом без циркуляції палива	1,0	45000	1125
	Очищення сольвентом із циркуляцією палива	0,6	100000	1125
Зі зняттям з двигуна	Очищення розчинником вручну	1,2	-	315
	Очищення на промивному стенді	1,6	200000	450

Очищення ЕМФ за допомогою додавання в паливний бак спеціального препарату, який, змішуючись із дизпаливом, розчиняє та адсорбує смолисті відкладення із внутрішніх порожнин системи живлення. Паливо з розчиненими смолистими відкладеннями потрапляє у циліндри двигуна та згоряє.

Перевагою методу є простота використання та відсутність спеціального обладнання.

Недоліки методу:

- необхідно проводити очищення паливної системи із малою періодичністю (близько 4 тис. км);
- при значному закоксуванні форсунок метод очищення малоефективний;

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- при використанні методу в автомобілях з великими пробігами можливе неповне розчинення частин відкладень, що відшарувалися, що призводить до інтенсивного забруднення фільтрів, а також може призвести до відмови форсунок.

Рекомендувати цей метод очищення можна приватним власникам автомобілів за відсутності інших методів очищення форсунок.

При очищенні електромагнітних форсунок сольвентом на двигуні без циркуляції палива використовується установка (див. рис. 1.10), що створює робочий тиск в системі живлення стисненим повітрям. Сольвент це рідина зі спеціальними добавками для розчинення та адсорбції смолистих відкладень, що використовується як паливо для роботи двигуна.

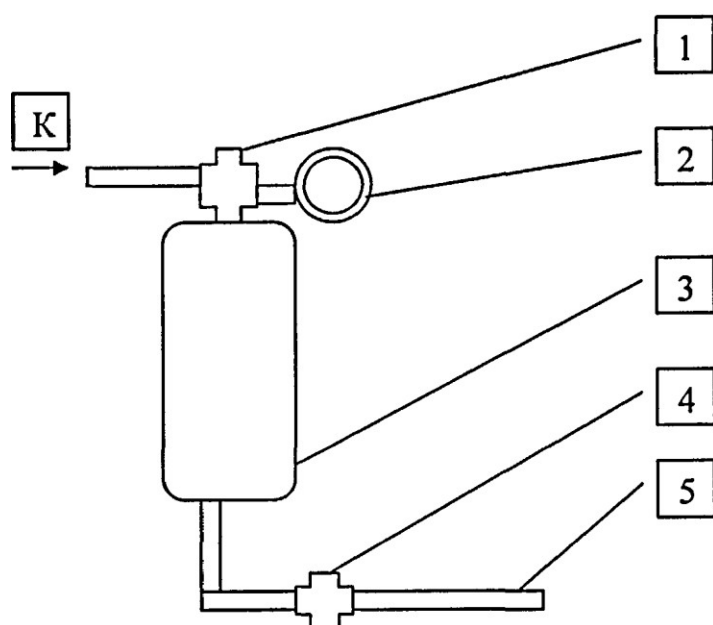


Рисунок 1.10 – Схема установки ОВ-1:1 – кран тиску палива механічний;
2 – манометр; 3 – балон із сольвентом; 4 – кран запірний; 5 – шланг подачі; К – стиснене повітря від компресора

Установка підключається до паливної рампи перед форсунками. Штатна система живлення при цьому не працює. Такі установки відносно недорогі та прості у використанні, а також мають малі габарити. Однією з таких установок є установка для очищення системи упорскування палива ОВ-1.

Перевагами методу є:

- порівняно невисока вартість обладнання;
- відсутня необхідність демонтажу форсунок;

Недоліками методу є:

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- висока трудомісткість робіт;
- необхідність постійного контролю робочого тиску в системі.

Рекомендації щодо застосування: для СТО з малим обсягом робіт із очищення ЕМФ.

Для очищення сольвентом з циркуляцією палива при працюючому двигуні використовується установка, яка підключається до магістралей паливної рампи, що подає і зливає (рисунок 1.11). Штатна паливна система при цьому не працює. Тиск у системі створюється електробензонасосом стенду.

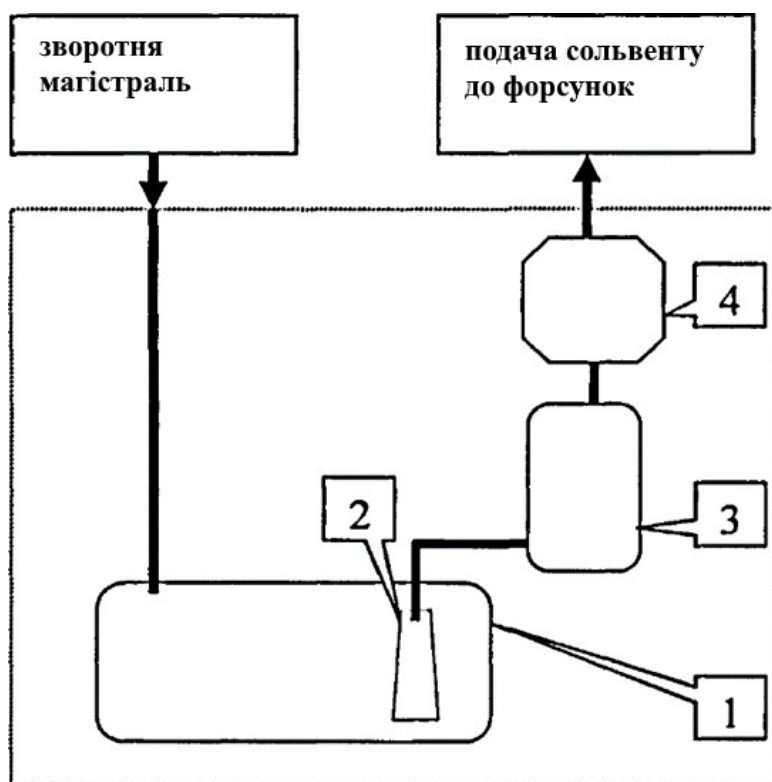


Рисунок 1.11. Схема установки: 1 – бак із сольвентом; 2 – паливозабірник; 3 – електронасос; 4 – фільтр тонкої очистки

Перевагами методу є:

- низька трудомісткість і висока технологія процесу очищення
- немає необхідності демонтувати форсунки;

Недоліками методу є:

- висока вартість обладнання.

Рекомендації по застосуванню: для СТО з великим обсягом робіт з очищення ЕМФ.

Очищення ЕМФ розчинником проводиться в такій послідовності:

- демонтувати форсунки від двигуна;
- подати напругу живлення на клеми роз'єму форсунки;
- обробити зовнішню і внутрішню частину насадки очищувачем

- протерти зовнішню сторону корпусу розпилювача, продути сопло стисненим повітрям;
- встановити форсунки на двигун.

Перевагами методу є:

- відсутність спеціалізованого технологічного обладнання;
- низька вартість витратних матеріалів;

Недоліками методу є:

- низькотехнологічний метод із високою трудомісткістю;
- можливе попадання механічних забруднень у паливну систему під час демонтажу форсунок.

Рекомендації щодо застосування: для випадків сильного забруднення розпилювачів форсунок, при неможливості використання інших методів очищення.

Очищення на промивочному стенді. Для очищення форсунки демонтують з двигуна у зборі з паливною рампою та регулятором тиску палива та встановлюють на стенд для вимірювання продуктивності форсунок. Схема стенду аналогічна до схеми представленої на рисунку 1.11. Додатково є чотири вимірювальні колби, а також кріплення паливної рампи. У баку стенда знаходиться промивна рідина, яка циркулює по системі та подається через форсунки. До та після проведення робіт із очищення можливий контроль продуктивності кожної форсунки.

Перевагами методу є:

- для очищення форсунок не потрібно запуск та робота двигуна;
- можливе багаторазове використання промивної рідини;
- дозволяє визначити можливість подальшого використання форсунок.

Недоліками методу є:

- висока трудомісткість робіт з очищення;
- висока вартість обладнання;
- можливе влучення механічних забруднень у паливну систему при демонтажі форсунок.

Рекомендації щодо застосування: для випадків сильного забруднення розпилювачів форсунок, при необхідності контролю параметрів форсунок до та після очищення.

1.6 Завдання дослідження в БР

Існуючі методи діагностування дизельних ЕМФ в одному випадку дозволяють отримати в комплексі точні дані про стан ЕМФ, але вимагають значних витрат часу на діагностування та матеріальних витрат на придбання обладнання, тому мало поширені.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В інших випадках визначення параметрів закоксованості дизельних форсунок не є комплексним. Тобто, не враховується деякі параметри, що впливають на роботу двигуна, а отже, такий метод не дає достовірних результатів і не може бути рекомендований для використання як метод діагностування забрудненості закоксованості дизельних ЕМФ в експлуатації.

Таким чином, для реалізації мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Теоретично дослідити критерій оцінки закоксованості дизельних ЕМФ. Провести аналіз моделі автомобіля для розрахунку показників тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності автомобіля за різного ступеня закоксованості дизельних ЕМФ. Визначити допустимий рівень закоксованості дизельних ЕМФ. Вибрати діагностичний параметр закоксованості дизельних ЕМФ.
2. Отримати експериментальні залежності значень показників властивостей автомобіля від ступеня закоксованості дизельних ЕМФ та залежність ступеня закоксованості дизельних ЕМФ від пробігу автомобіля.
3. Обґрунтувати допустиме значення діагностичного параметра закоксованості дизельних ЕМФ та періодичність ТО дизельних ЕМФ. Розробити методику підтримки дизельних ЕМФ у справному стані.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА ЗАКОКСУВАННЯ ЕМФ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Постановка завдання

Обґрунтування діагностичного параметра закоксованості дизельних ЕМФ в експлуатації передбачає:

1. Обґрунтування та вибір критерію з метою оцінки закоксованості дизельних ЕМФ;
2. Вибір показників токсичності та експлуатаційних властивостей, на які впливають на закоксованості дизельних ЕМФ та визначення їх допустимих значень;
3. Аналіз математичної моделі автомобіля для розрахунку залежностей показників експлуатаційних властивостей від рівня забрудненості ЕМФ;
4. Визначення залежностей показників експлуатаційних властивостей від рівня забруднення ЕМФ;
5. Визначення допустимого значення критерію для оцінки забрудненості ЕМФ;
6. Вибір діагностичного параметра та його допустимого значення.

2.2 Обґрунтування критерію для оцінки закоксованості дизельних ЕМФ

При роботі двигуна СІТРОЄН С5 2.0 HDI дозування палива здійснюється за схемою, представленою на рис. 2.1. У кожен час електронний блок управління отримує інформацію від датчиків (G_b , n , T_b , $T_{ож}$, β), обробляє її і посиляє управляючі сигнали до виконавчих механізмів. У разі, коли параметри ЕМФ відповідають нормативно-технічній документації, фактично реалізується розрахований коефіцієнт надлишку повітря α_p . Електронний блок керування двигуном задає тривалість упорскування ЕМФ $T_{имп}$. При заданому і підтримуваному регулятором тиску палива перепаді тиску P_t в циліндр має надійти фактична кількість палива G_t^{Φ} циклу рівне розрахунковій цикловій подачі $G_{цикл}$.

У блоці управління передбачена ручна корекція тривалості впорскування ЕМФ $T_{имп}$ у бік збільшення та у бік зменшення при діагностиці та налаштуванні за допомогою приладу ДСТ-2. Ця корекція призначена для тонкого підстроювання складу паливоповітряної суміші на режимі мінімальних обертів холостого ходу та на режимі середніх навантажень. З появою смолистих відкладень на внутрішніх порожнинах ЕМФ знижується пропускна здатність ЕМФ. У цьому випадку за час $T_{имп}$ подаватиметься палива менше на величину зниження пропускної здатності ЕМФ і фактичний коефіцієнт α_f збільшиться. Крім того, значна кількість відкладень на розпилювачі ЕМФ впливає на геометрію факела розпилювання палива – знижується кут конуса, збільшується середній розмір крапель палива.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як наслідок цього погіршується процес гомогенізації паливоповітряної суміші. Це призводить до неповного згоряння палива та погіршення роботи двигуна (зниження потужності, збільшення витрати палива, погіршення показників токсичності).

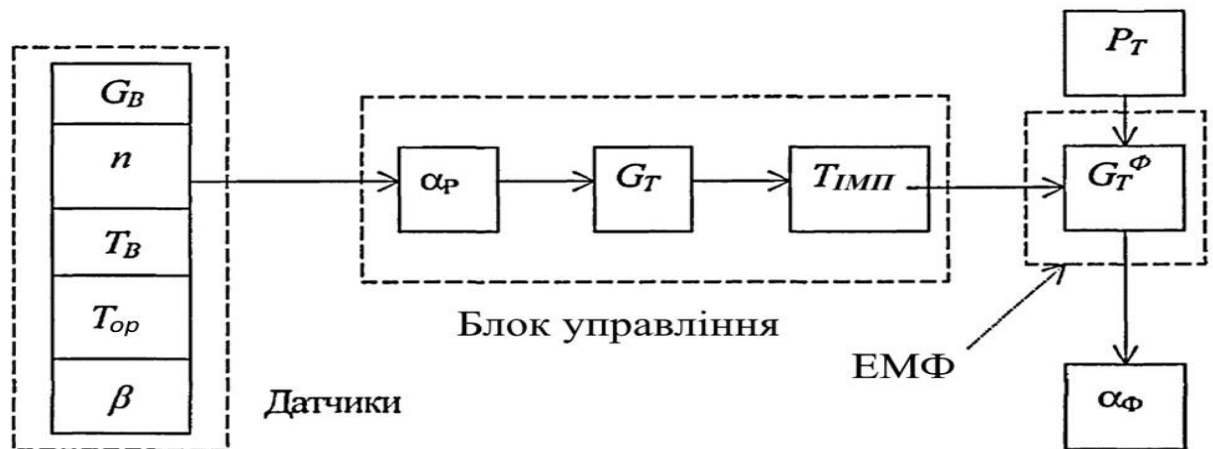


Рисунок 2.1 – Шлях передачі інформації в системі упрорскування дизпалива двигуна СІТРОЄН С5 2.0 HDI (G_B – масова витрата повітря двигуном; n – частота обертання колінчастого валу двигуна; T_B – температура повітря; T_{op} – температура охолоджувальної рідини; β – ступінь відкриття дросельної заслінки; α_p – розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря; $G_{T_{цикл}}$ – розрахункова циклова подача палива; $T_{имп}$ – тривалість упрорскування ЕМФ; P_T – тиск палива в системі; G^{ϕ} – фактична циклова подача палива; α_{ϕ} – фактичний коефіцієнт надлишку повітря)

Таким чином, на роботу двигуна із забрудненими ЕМФ впливають два фактори:

1. зниження пропускної спроможності ЕМФ і збільшення внаслідок цього коефіцієнта надлишку повітря;
2. погіршення якості розпилювання палива.

Пропонується ці два фактори враховувати за допомогою наступних показників:

K_c – показник, що враховує зменшення пропускної здатності ЕМФ, визначається наступним чином

$$K_c = \frac{Q_ч - Q_з}{Q_ч} 100\% \quad (2.1)$$

де $Q_ч$ – пропускна здатність справної чистої форсунки, $\text{см}^3/\text{хв}$;

$Q_з$ – пропускна здатність забрудненої форсунки, $\text{см}^3/\text{хв}$.

Цей показник може змінюватись від 0 до 100%. 0% – відповідає пропускна спроможність справної чистої ЕМФ, а 100% – такої міри через забруднена ЕМФ, що веде до повного припинення подачі палива.

На практиці при величині K_c порядку 10–12% (тобто при зменшенні пропускної здатності електромагнітних форсунок на 10–12%) показники роботи двигуна різко погіршуються. K_p – показник, що враховує погіршення якості розпилювання палива електромагнітних форсунок. Може змінюватись від 0 до 100%. 0% – відповідає якості розпилювання палива справної чистої ЕМФ, а 100% відповідає відсутності будь-якого розпилювання (подача палива струменем).

У процесі експлуатації автомобіля ці показники обов'язково зростатимуть внаслідок появи забруднень на елементах електромагнітних форсунок. Теоретично можлива поява таких забруднень, які спричинять тільки зменшення пропускної спроможності ЕМФ і не вплинуть на якість розпилювання палива (тобто $K_c \neq 0$, $K_p = 0$) або навпаки – які викличуть лише погіршення якості розпилювання палива і не викличуть зменшення пропускної спроможності ЕМФ (тобто $K_c = 0$, $K_p \neq 0$).

Однак на практиці таке практично не зустрічається. Ці два наслідки появи забруднень на елементах електромагнітних форсунок, як правило, виявляються разом і відбувається одночасне зменшення пропускної спроможності ЕМФ та погіршення якості розпилювання.

Механізм впливу забрудненості ЕМФ на роботу двигуна наступний. Коли двигун справний і форсунки чисті при деякому значенні крутного моменту на колінчастому валу $M_{кр}$ і частоті обертання колінчастого валу n двигун витрачає деяку кількість повітря в одиницю часу $G_{п}$ при ступені відкриття дросельної заслінки β . При цьому двигун розвиває потужність N_e , має годинну витрату палива G_t і питому витрату палива g_e .

При закоксованості дизельних ЕМФ зменшується крутний момент двигуна. Тому щоб на частоті обертання n двигун розвивав той самий момент $M_{кр}$, що з чистими форсунками, необхідно збільшити ступінь відкриття дросельної заслінки на величину $\Delta\beta$. При цьому збільшиться витрата повітря двигуном на величину ΔG_B .

Зростання витрати повітря спричинить пропорційне збільшення тривалості впорскування електромагнітних форсунок $T_{имп}$ (рисунок 2.1) і відповідно зростання витрати палива. Однак забруднення електромагнітних форсунок зменшує їхню продуктивність на величину K_c . Якщо відсоткове збільшення витрати повітря перевищить відсоткове зниження пропускної спроможності електромагнітних форсунок (показника K_c), то збільшиться годинний G_t та питома g_e витрата палива.

Таким чином, закоксованість дизельних ЕМФ викликає зростання витрати повітря двигуном і збільшення ступеня відкриття дросельної заслінки на певному режимі роботи і, отже, існують залежності

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_B = f(K_C) \quad (2.4)$$

$$\beta = f(K_C) \quad (2.5)$$

Зроблено припущення (гіпотеза), що у конкретних умовах експлуатації (якість бензину, характер поїздки, манера водіння тощо) співвідношення показників K_C і K_P залишається постійним, тобто при зменшенні пропускної спроможності електромагнітних форсунок пропорційно погіршується якість розпилювання палива

$$\frac{K_P}{K_C} = const \quad (2.6)$$

Ця гіпотеза перевірялася експериментально (розділ 3). На певному режимі роботи двигуна (n , M_{KP}) отримано експериментальну залежність (2.4) для реальних забруднених електромагнітних форсунок і така сама залежність для чистих форсунок у яких імітувалося зниження пропускної здатності шляхом зменшення тривалості впорскування електромагнітних форсунок (T_{IMP}). При цьому K_C зумовлювався таким чином

$$K_C = \left(\frac{G_{B,кор} T_{IMP}}{G_B T_{IMP,кор}} - 1 \right) 100\% \quad (2.7)$$

де $G_{B,кор}$, G_B – витрата повітря відповідно після корекції та до корекції тривалості впорскування ЕМФ (T_{IMP});

$T_{IMP,кор}$, T_{IMP} – тривалість впорскування електромагнітних форсунок відповідно після корекції і докорекції тривалості впорскування електромагнітних форсунок (T_{IMP}).

У розділі отримані залежності витрати повітря двигуном відповідно для забруднених форсунок

$$G_{B,гр} = 1,95 K_C + 63,2 \quad (2.8)$$

та чистих з імітацією зниження пропускної спроможності

$$G_{B,с} = 1,43 K_C + 61,4 \quad (2.9)$$

Обидві залежності лінійні і, отже, при будь-якому значенні K_C зберігається сталість співвідношення збільшення функцій

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\Delta G_{B.гр}}{\Delta G_{B.с}} = const \quad (2.10)$$

та відповідно (2.6).

Показник K_C визначається досить просто шляхом визначення пропускну́ї спроможності ЕМФ, а показник K_P визначити проблематично. Тому пропонується, враховуючи постійність співвідношення між цими показниками, оцінювати забрудненість ЕМФ тільки за допомогою показника K_C .

Показник K_C є функцією від пробігу автомобіля

$$K_C = f(L) = aL^2 + bL + c \quad (2.11)$$

де a, b, c – коефіцієнти;

L – пробіг автомобіля, тис. км.

2.3 Вибір показників токсичності та експлуатаційних властивостей, на які впливає закоксованість дизельних ЕМФ та визначення їх допустимих значень

Забруднення ЕМФ впливає на такі властивості автомобіля:

- екологічну безпеку (з точки зору токсичності відпрацьованих газів);
- тягово-швидкісні властивості;
- паливну економічність.

Екологічна безпека (з точки зору токсичності газів, що відпрацьовали) характеризується наступними показниками:

- вміст окису азоту (NO) у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу, об'ємна частка, млн^{-1} ;
- вміст окису азоту (NO) у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу, об'ємна частка, млн^{-1} .

Тягово-швидкісні властивості характеризується такими основними показниками:

- максимальна швидкість, км/год;
- прискорення при розгоні, м/с^2 .

До основних показників паливної економічності відносяться такі:

- контрольна витрата палива на швидкостях 90 та 120 км/год., л/100км;
- витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км (рисунок 2.2);
- витрата палива автомобілем в міському циклі на дорозі, л/100 км (рисунок 2.3);
- паливна характеристика сталого руху.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

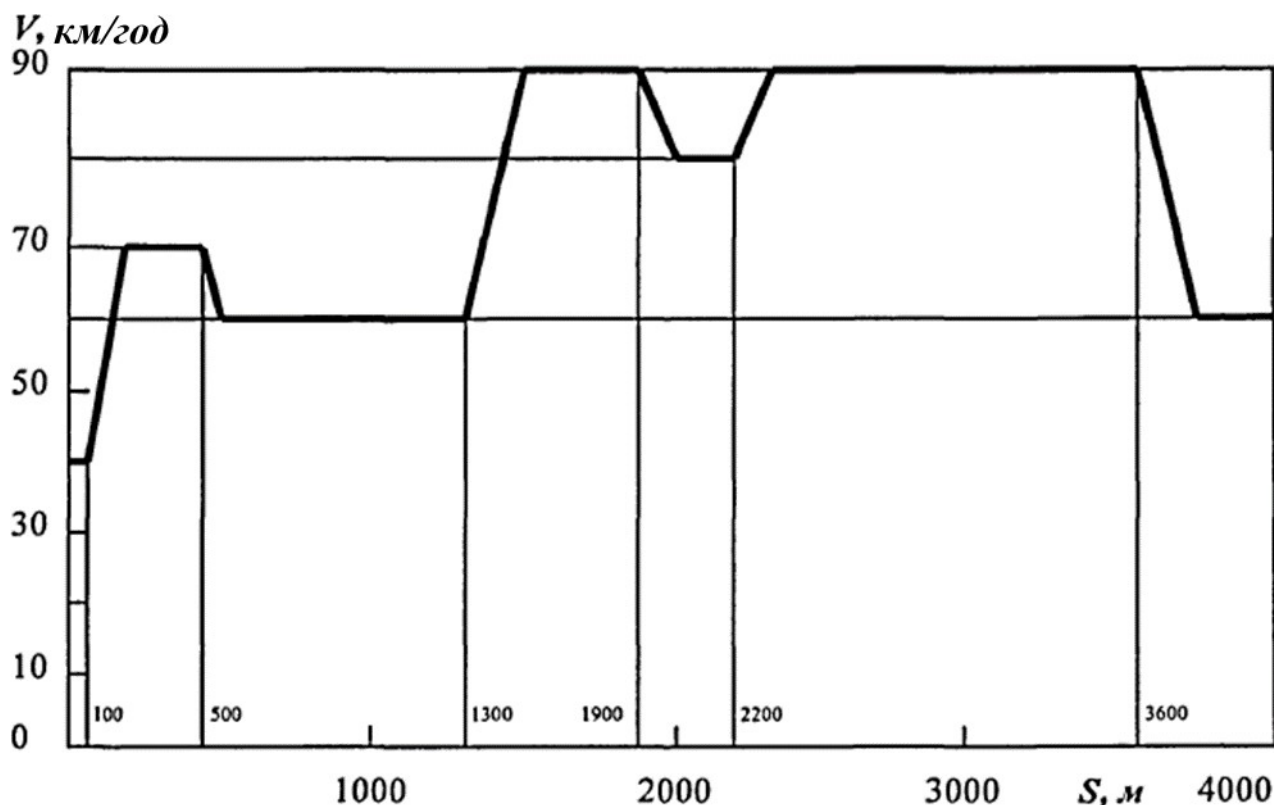
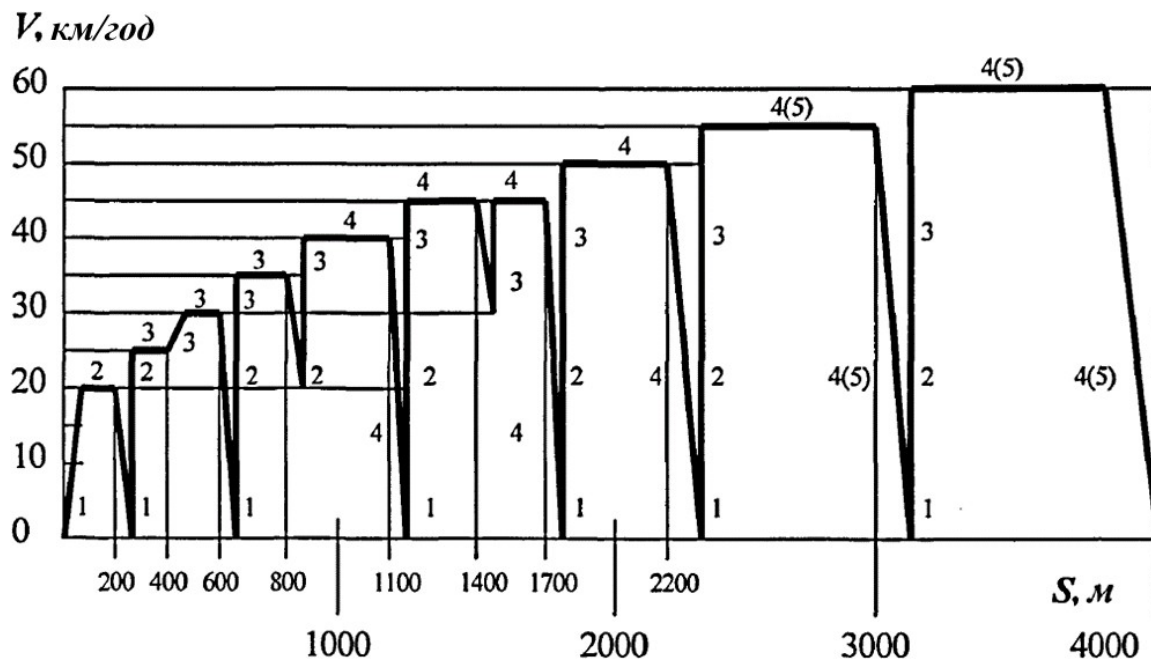


Рисунок 2.2 – Схема магістрального циклу на дорозі для легкового ТЗ повною масою до 3,5 т

Частина перерахованих показників автомобіля є нормованими – інша ні. Показники екологічної безпеки є нормованими і характеризують автомобіль з погляду його небезпеки для навколишнього середовища. Ці показники автомобілів повинні в процесі експлуатації перебувати в певних досить жорстких межах.

Показники тягово-швидкісних властивостей у процесі експлуатації не нормуються, проте мають велике значення для активної безпеки автомобіля. Якщо зменшення максимальної швидкості не так помітно (вона практично ніколи не досягається), то зниження величини прискорення при розгоні (або збільшення часу розгону), особливо при появі провалів у роботі двигуна, безпосередньо впливає на безпеку руху.

Показники паливної економічності у процесі експлуатації не нормуються. Існуючі норми призначені для правильного списання витрат на паливо та мастило під час бухгалтерського обліку при експлуатації автомобіля. Однак витрата палива – важлива складова витрат при експлуатації автомобіля і оцінити його в залежності від ступеня забрудненості ЕМФ представляє великий інтерес. Для повноти дослідження до перерахованих вище показників були додані ще деякі показники. Таким чином, були відібрані наступні показники властивостей автомобіля та визначені відповідні їм допустимі значення (таблиця 2.1).



1, 2, 3, 4, 5 – моменти перемикання передач і рух на вказаній передачі
Рисунок 2.3 – Схема міського їздового циклу на дорозі для ТЗ повною вагою до 3,5т

Таблиця 2.1 – Показники властивостей автомобіля та відповідні їм допустимі значення

Показники властивостей автомобіля	Допустимі значення	Спосіб визначення
Екологічні		
Вміст NO у відпрацьованих газах на мінімальних обертах холостого ходу, млн^{-1}	1200	Експериментально
Вміст NO у газах, що відпрацьовали, на підвищених обертах холостого ходу (3200об/хв), млн^{-1}	600	Експериментально
Тягово-швидкісні		
Максимальна швидкість, км/год.	В експл. не нормується	Розрахунком
Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі, С	6,0	Експериментально і розрахунком
Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на холостому ході, с	0,75	Експериментально

Ефективна потужність при 3000 об/хв. і ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, кВт	Не нормується	Експериментально
Паливна економічність		
Контрольна витрата палива на швидкостях 90 і 120 км/год., л/100км	В експл. не нормується	Розрахунком
Витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км	В експл. не нормується	Розрахунком
Витрата палива у міському циклі на дорозі, л/100 км	В експл. не нормується	Розрахунком
Паливна характеристика сталого руху	В експл. не нормується	Розрахунком
Годинна витрата палива на мінімальних оборотах холостого ходу, л/год	Не нормується	Експериментально
Питома витрата палива при 3000 об/хв та ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, г/кВт год	Не нормується	Експериментально

2.4 Визначення допустимого значення критерію оцінки закоксованості дизельних ЕМФ

Зміну показників токсичності та експлуатаційних властивостей Π_i ; залежно від забрудненості ЕМФ (показника K_C) виразимо залежністю

$$\Pi_i = f(K_C) = a_i K_C^2 + b_i K_C + c_i \quad (2.30)$$

де Π_i – i -ий показник токсичності та експлуатаційних властивостей;

a_i, b_i, c_i ; – коефіцієнти.

Очевидно, що поки ці показники не вийшли за допустимі значення, очищення ЕМФ не потрібно. При лінійній залежності $\Pi_i = f(K_C)$ (коли $a_i = 0$) прирівнявши вираз 2.30 до Π_{di} ; – допустимого значення i -го показника токсичності та експлуатаційних властивостей – і виразивши K_C отримаємо

$$K_{Ci} = \frac{\Pi_{di} - c_i}{b_i} \quad (2.31)$$

в іншому випадку

$$K_{Ci} = \frac{-b_i \pm \sqrt{b_i^2 - 4a_i(c_i - \Pi_{di})}}{2a_i} \quad (2.32)$$

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку показника K_{Ci} та показників властивостей автомобіля

№	Показники токсичності та експлуатаційних властивостей	a_i	b_i	c_i	$ПД_i$	K_{Ci}
1.	Вміст NO у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу, млн ⁻¹	—	9,73	216,3	1200	101,1
2.	Вміст NO у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу (3200 об/хв), млн ⁻¹	—	4,85	84,9	600	106,2
3.	Максимальна швидкість, км/год	0,114	-0,34	170,1	В експл. не норм-ся	Зменш. на 12%
4.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі, с	0,038	0,125 -0,089	5,153 5,33	6,0	5,53
5.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на холостому ходу, с	0,003	-0,0089	0,67	0,75	6,86
6.	Ефективна потужність при 3000 об/хв і ступеня відкриття ДЗ 25%, кВт	—	-0,23	9,43	Не нормується	Зменш. на 24%
7.	Контрольна витрата палива на швидкостях 90 та 120 км/год, л/100км	—	0,167 0,2167	8,63 10,7	не норм-ся	Збільш. на 23 і 24%
8.	Витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км	—	0,168	9,528	не норм-ся	Збільш. на 21%
9.	Витрата палива в міському циклі на дорозі, л/100 км	—	0,236	13,33	В експл. не норм-ся	Збільш. на 21%

Продовження таблиці 2.2

№	Показники токсичності та експлуатаційних властивостей	a_i	b_i	c_i	$ПД_i$	$КС_i$
10.	Питома витрата палива при 3000 об/хв та ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, г/кВт год	—	310	310	Не нормується	Збільш. на 24%
11.	Паливна характеристика сталого руху	—	—	—	не норм-я	Збільш. на 23%
12.	Годинна витрата палива на мінімальних оборотах холостого ходу, л/год	—	1,24	1,24	Не нормується	Збільш. на 16%

Таблиця 2.3 – Значення показників властивостей автомобіля при $K_{Ci} = 5,53 \%$

№	Показники токсичності та експлуатаційних властивостей	Початкові значення показника	Значення показника при $K_{Ci} = 5,53\%$	Зміна
1.	Вміст NO у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах ХХ, млн ⁻¹	216,3	270,1	24,9
2.	Вміст NO у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу (3200 об/хв), млн ⁻¹	84,9	111,7	31,6
3.	Максимальна швидкість, км/год	170,2	164,8	-3,2
4.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі, с	5,33	6,0	12,6
5.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на холостому ході, с	0,67	0,71	6,3
6.	Питома витрата палива при 3000 об/хв та ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, г/кВт год	310	344,9	11,3
7.	Ефективна потужність при 3000 об/хв і ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, кВт	9,43	8,16	-13,5
8.	Годинна витрата палива на мінімальних оборотах холостого ходу, л/год	1,24	1,33	7,6

Продовження таблиці 2.3				
№	Показники токсичності та експлуатаційних властивостей	Початкові значення показника	Значення показника при $K_{Ci} = 5,53\%$	Зміна
9.	Паливна характеристика сталого руху	—	—	Збільш. в сер. на 23%
10.	Контрольна витрата палива на швидкості 90 км/год, л/100км	8,63	9,56	10,7
11.	Контрольна витрата палива на швидкості 120 км/год, л/100км	10,7	11,9	11,2
12.	Витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км	9,53	10,46	9,8
12.	Витрата палива в міському циклі на дорозі, л/100 км	13,33	14,64	9,8

Значення K_{Ci} для i -го показника токсичності та експлуатаційних властивостей відповідає такому ступеню забруднення ЕМФ, коли i -ий показник токсичності та експлуатаційних властивостей вийшов за допустимі межі.

Визначивши експериментально коефіцієнти a_i , b_i , c_i (розділ 3) і знаючи допустимі межі $П_{Di}$, отримаємо значення K_{Ci} для i -го показника токсичності та експлуатаційних властивостей (таблиця 2.2). Найменше з позитивних значень K_{Ci} дасть нам допустиме значення ступеня забрудненості ЕМФ. Найменше з позитивних значень $K_C = 5,53\%$ для середнього часу розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі у русі.

Таким чином, найбільш критичним із нормованих показників властивостей автомобіля з точки зору забрудненості ЕМФ є прискорення при розгоні автомобіля. У розділі 3 проведено органолептичну оцінку забрудненості ЕМФ за динамічними властивостями автомобіля. Перевищення середнього часу розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі величини 6,61с розцінювалося водіями як погіршення динаміки. Величина 6.61с практично збігається з допустимим значенням цього показника (6.0 с).

У таблиці 2.3 представлені значення показників властивостей автомобіля при $K_C = 5,53\%$ і відсоткова зміна цих показників у порівнянні з їх початковим значенням.

2.5 Вибір діагностичного параметра і його допустимого значення

Вибір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану автомобілів

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюють із номенклатури, що рекомендується державними стандартами, а також іншою нормативно-технічною документацією.

Однак у зазначених вище нормативно-технічних документах не передбачено параметрів для діагностики елементів системи упорскування палива. Номенклатура структурних параметрів, які доцільно застосовувати при діагностуванні системи упорскування палива, є вихідною інформацією, на основі якої виявляється номенклатура непрямих діагностичних параметрів.

Для визначення зв'язків між структурними та діагностичними параметрами розробляються структурно-наслідкові схеми.

Розробка блок-схем структурно-наслідкових зв'язків здійснюється по ланцюгу: агрегат – елемент – структурний параметр – несправність – зовнішня ознака (симптом) – діагностичний параметр. Кожна ланка визначає рівень пошуку або технологічного кроку, спрямованого на встановлення несправності:

- перший рівень (вищий), включає агрегати або вузли, з яких складається діагностована система (у нашому випадку система електромагнітних форсунок);
- другий містить сполучення та елементи вузлів і агрегатів, що мають у процесі експлуатації найбільш відчутні зміни та відхилення структурних параметрів;
- третій включає структурні параметри сполучень і елементів; склад структурних параметрів визначається на основі аналізу взаємодій елементів і сполучень з урахуванням критеріїв експлуатаційної надійності;
- четвертий містить набір можливих несправностей об'єкта (як наслідок зміни структурних параметрів елементів);
- п'ятий визначає перелік зовнішніх ознак (симптоми), які визначають кожну конкретну несправність об'єкта;
- шостий – попередній набір діагностичних параметрів, з яких згодом вибирають ті, які найбільшою мірою задовольняють вимогам однозначності, стабільності, чутливості, інформативності та технологічності.

В умовах реальної експлуатації найбільш частими несправностями електромагнітних форсунок є забруднення клапана електромагнітних форсунок і забруднення розпилювача електромагнітних форсунок, що призводять до зменшення кількості та погіршення якості розпилювання палива. Ці несправності можна діагностувати такими діагностичними параметрами:

6-2 – вміст оксидів азоту (NO_x) у відпрацьованих газах автомобіля (збільшення);

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

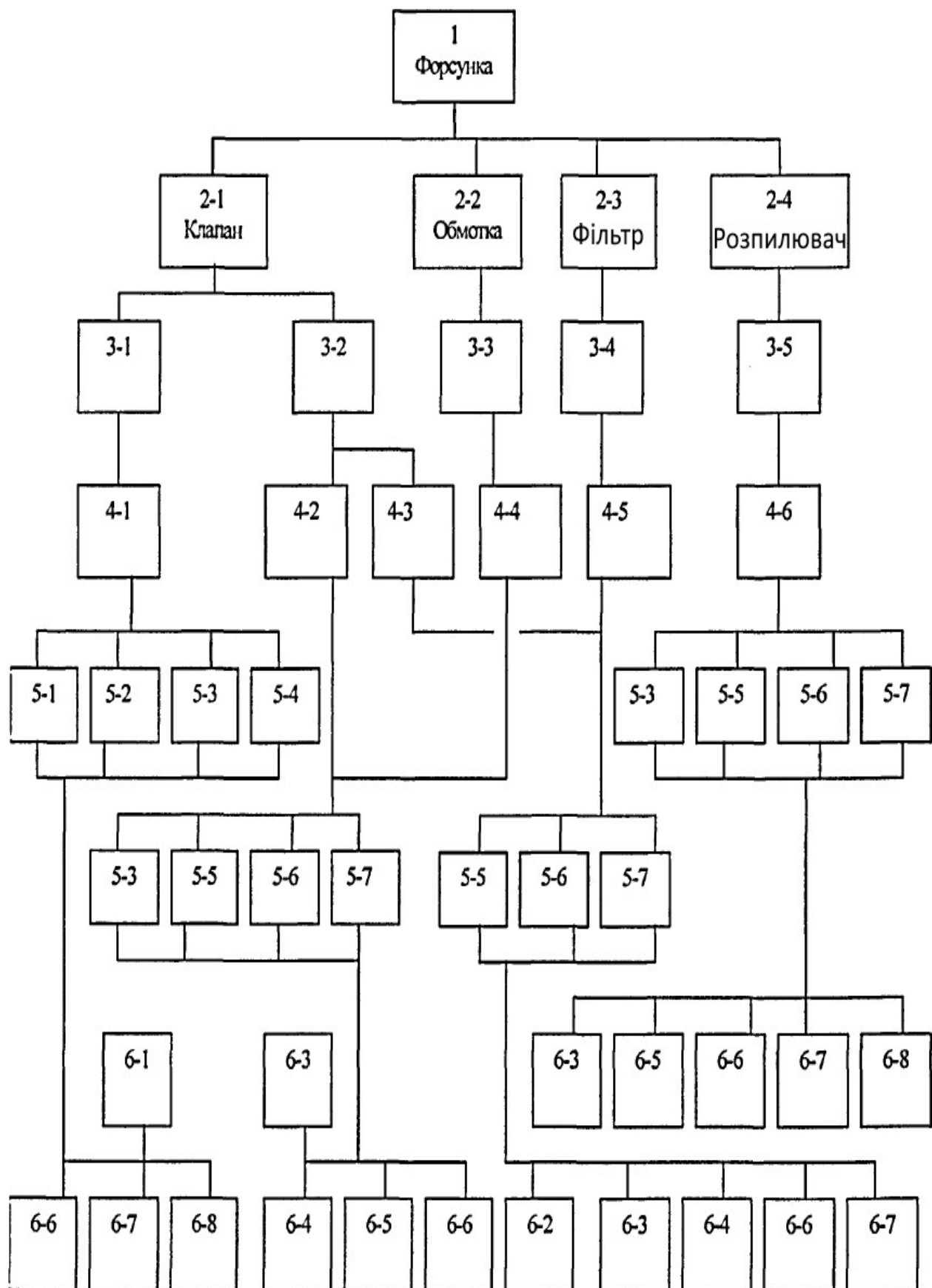


Рисунок 2.4 – Схема структурно-наслідкових зв'язків електромагнітної форсунки

Позначення до рис. 2.4: (1 – електромагнітна форсунка; 2-1 – клапан форсунки; 2-2 – обмотка електромагніта; 2-3 – вбудований фільтр; 2-4 – розпилювач форсунки; 3-1 – герметичність закриття клапана форсунки; 3-2 – за забруднення замикаючого елемента; 3-3 – опір обмотки електромагніту; 3-4 – забруднення вбудованого фільтра; 3-5 – забруднення розпилювача форсунки; 4-2 – фіксація клапана в закритому положенні (залипання); 4-3 – зменшення пропускної спроможності; 4-4 обрив обмотки електромагніту; 5-2 – утруднений пуск двигуна в гарячому стані; 5-3 – підвищена витрата палива; 5-4 – зниження в'язкості масла через попадання в нього палива; 5-5 – нестійка робота двигуна на холостому ході; 5-6 – втрата потужності; 5-7 – двигун не достатньо прийомистий; 6-1 – протікання палива через закриту форсунку; 6-2 – збільшення вмісту оксидів азоту (NO_x); 6-3 – час розгону двигуна у режимі вільного прискорення (t_n , t_{xx}); 6-4 – статична пропускна здатність ЕМФ (Q_{cm}); 6-5 – контрольна витрата палива (Q_s); 6-6 – витрата повітря в певному режимі (G_B); 6-7 – збільшення вмісту окису вуглецю (CO); 6-8 – збільшення вмісту вуглеводнів (CH)

6-3 – час розгону двигуна в режимі вільного прискорення (t_n , t_{xx}) (збільшення);

6-4 – статична пропускна здатність електромагнітних форсунок (Q_{cm}) (зменшення);

6-5 6-5 – контрольна витрата палива (Q_s) (збільшення);

6-6 – витрата повітря на певному режимі (G_B) (збільшення);

6-7 – вміст окису вуглецю (CO) в ОГ (збільшення);

6-8 – вміст вуглеводнів (CH) в ОГ (збільшення).

Дані про відповідність вибраних параметрів вимогам до діагностичних параметрів наведено в таблиці 2.4.

Як видно з таблиці 2.4 найбільшою мірою відповідає вимогам параметр G_B . Вимір вмісту NO_x у відпрацьованих газах ускладнений внаслідок малої поширеності таких газоаналізаторів. Параметр часу розгону двигуна в режимі вільного прискорення (t_n , t_{xx}) залежить від великої кількості факторів: якість палива, стан системи запалювання, регулювання мінімальних оборотів холостого ходу тощо.

Вимірювання статичної пропускної спроможності ЕМФ пов'язане з необхідністю демонтажу ЕМФ з автомобіля, що займає значний час. Крім цього необхідно додаткове обладнання для здійснення такої перевірки (пристрій для подачі випробувальної рідини в ЕМФ, напруга живлення для відкриття запірного клапана, вимірювальне приладдя тощо). Вимірювання вмісту CO і CH у газах, що відпрацьовали, нескладно і доступно, але вимагає застосування

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газоаналізаторів.

Визначення контрольної витрати палива автомобіля також потребує спеціального обладнання. Витрата повітря на певному режимі (G_v) є непрямим показником якості роботи двигуна, що показано в цій главі. На цей параметр впливають також інші фактори, такі як: температура охолоджуючої рідини, стан системи запалення, підсмоктування повітря через нещільності впускного трубопроводу.

Таблиця 2.4 Оцінка діагностичних властивостей

	Однозначність	Стабільність	Доступність	Зручність вимірювань	Інформативність	Технологічність
NO_x	+	+	-	+	+	-
$t_{ }, t_{xx}$	+	-	+	+	+	+
Q_{cm}	+	+	-	-	+	-
Q_s	+	+	-	-	+	-
G_v	+	+	+	+	+	+
CO	+	+	+	+	-	-
CH	+	+	+	+	+	-

На підвищених оборотах обертання колінчастого валу холостого ходу прогрітого до робочої температури двигуна зазначені фактори мають незначний вплив. Використання витрати повітря двигуном як діагностичного параметра не вимагає зняття ЕМФ з автомобіля і дозволить мінімізувати час діагностичного впливу.

Виходячи з вищевикладеного, пропонується як діагностичний параметр забрудненості ЕМФ використовувати витрату повітря двигуном на режимі холостого при 4000 об/хв. Використовуючи залежність (2.8), отримаємо допустиме значення діагностичного параметра без урахування помилки апроксимації експериментальних даних 74 кг/год.

2.6 Висновки по розділу

1. Запропоновано та обґрунтовано критерій забрудненості ЕМФ. Ним є K_C – показник, що враховує зменшення пропускну здатності ЕМФ.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Проведено аналіз математичної моделі автомобіля, що дозволяє визначати показники тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності автомобіля за різного ступеня забрудненості ЕМФ у різних режимах руху.

3. Визначено залежність показників експлуатаційних властивостей від ступеня забрудненості ЕМФ. Розрахунки показали, що при забрудненні ЕМФ (зміна показника K_C від 0 до 12%) відбувається погіршення показників тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності:

- знижується максимальна швидкість із 170,2 км/год до 149,7 км/год (на 12%);
- Збільшується час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі з 5,2 до 6,7 с (на 28,8%).
- контрольна витрата палива на швидкості 90 км/год. збільшилася з 8,7 до 10,7 л/100 км (на 23 %);
- контрольна витрата палива на швидкості 120 км/год. збільшилася з 10,8 до 13,4 л/100 км (на 24 %);
- Витрата палива в магістральному циклі на дорозі збільшилася з 9,58 до 11,6 л/100 км (на 21%);
- Витрата палива в міському циклі на дорозі збільшилася з 13,4 до 16,24 л/100 км (на 21%);
- Витрата палива за паливною характеристикою сталого руху в діапазоні швидкостей від 40 до 140 км/год зросла у середньому на 23%.

4. Визначено допустиме значення критерію для оцінки забрудненості ЕМФ. При значенні показника $K_C = 5,53\%$ знижується динаміка розгону автомобіля нижче за допустимі межі.

5. Обґрунтовано діагностичний параметр забруднення ЕМФ та його допустиме значення. Ним є витрата повітря на холостому ході двигуна при частоті обертання 4000 об/хв. Його допустиме значення без урахування помилки апроксимації експериментальних даних 74 кг/год.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАКОКСОВУВАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ЕМФ НА ВЛАСТИВОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Постановка завдання

Для реалізації мети роботи було поставлено завдання визначення впливу забрудненості ЕМФ на показники властивостей автомобіля. У другому розділі висунуто гіпотезу про сталість співвідношення K_p/K_c і обґрунтовано характер зміни параметрів роботи двигуна в міру забруднення ЕМФ, запропоновано оціночний показник забруднення ЕМФ. Для визначення значень забрудненості ЕМФ при яких показники властивостей автомобіля матимуть допустимі значення та вибору діагностичного параметра необхідно провести такі експериментальні дослідження:

1. Визначити залежність співвідношення K_p/K_c при різному ступені забрудненості ЕМФ за співвідношенням витрати повітря (G_B) і тривалості впорскування ЕМФ (T_{imn}).

2. Визначити вплив забрудненості ЕМФ на наступні показники властивостей автомобіля:

- вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах (CO) на мінімальних оборотах холостого ходу;
- вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах (CO) на підвищених оборотах холостого ходу;
- вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах (NO) на мінімальних оборотах холостого ходу;
- вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах (NO) на підвищених оборотах холостого ходу;
- годинна витрата палива (G_T) на мінімальних оборотах холостого ходу;
- питома витрата палива (g_e) при навантаженні на двигун 25% та 3000 об/хв;
- ефективна потужність (Ne) при навантаженні на двигун 25% та 3000 об/хв;
- середній час розгону двигуна на холостому ходу від 2000 до 5000 $хв^{-1}$ (t_{II});
- середній час розгону автомобіля на другій передачі з 2000 до 5000 $хв^{-1}$ (t_{II}).

3. Встановити залежність забрудненості ЕМФ від пробігу автомобіля.

4. Визначити вплив забрудненості ЕМФ на органолептичну оцінку водія динамічних властивостей автомобіля.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Дослідна установка

Для отримання експериментальних залежностей параметрів роботи двигуна від ступеня забрудненості ЕМФ використовувався автомобіль СІПРОЄН С5 2.0 HDI кафедри автомобільного транспорту ІФНТУНГ. Для виключення впливу регулювань та технічного стану двигунів обстежуваних автомобілів форсунки демонтувалися та встановлювалися на моторну установку.

Установка являє собою двигун моделі СІПРОЄН С5 2.0 HDI в зборі зі зчепленням і коробкою передач опорах. Коробка передач з'єднана карданним валом із навантажувальним пристроєм. Навантажувальний пристрій розташований на окремому фундаменті.

Навантажувальний пристрій складається із генератора моделі МПБ 24,5/22 потужністю 50 кВт. Величина навантаження регулюється шляхом зміни величини опору реостата навантаження. Для вимірювання моменту навантаження використовується пристрій моделі ВКМ-17. Генератор навантажувального пристрою закріплений на фундаменті рухомо, на підшипниках, і з'єднаний з вимірювальною головкою ваг. Показання ваги пропорційні моменту навантаження двигуна. Коефіцієнтом пропорційності є довжина важеля навантажувального пристрою.

Система живлення двигуна СІПРОЄН С5 2.0 HDI складається з наступних елементів:

- паливний бак ємністю 5л;
- електробензонасос BOSCH (580464044);
- паливний фільтр грубої очистки;
- фільтр тонкого очищення палива BOSCH (050 905 601);
- регулятор тиску палива фірми BOSCH (450 905 200);
- паливопроводи;
- паливна рампа;
- електромагнітні форсунки фірми BOSCH (280150711).

Комплексна мікропроцесорна система управління двигуном включає наступні елементи встановлені на моторній установці:

- датчик масової витрати повітря BOSCH (0280212014);
- датчик кутової синхронізації BOSCH (0261210113);
- датчик положення розподільного валу BOSCH (0232103006);
- датчик температури повітря моделі 19.3828;
- датчик температури охолоджуючої рідини моделі 19.3828;
- блок управління BOSCH (480150715).

Для вимірювання параметрів роботи двигуна використовувалося наступне обладнання:

- пристрій вимірювання моменту навантаження;

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- програмний комплекс Мотор-тестер,
- тестер діагностичний електронний ДСТ-2М;
- газоаналізатор мікропроцесорний Автотест СО-СН-Д-Т.
- тестер діагностичний автомобільний ДСТ-6.

Характеристики засобів вимірювання наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики засобів виміру

Назва	Призначення	Технічна характеристика
Газоаналізатор «Автотест СО-СН-Д-Т» мікро-процесорний	Визначення вмісту окису азоту та вуглеводнів у відпрацьованих газах	Одиниця виміру - % Межі вимірів – 0...10 Похибка вимірів: ±0,25% абсолютна на ділянці діапазону вимірів 0...5%; ±5% відносна від верхньої межі вимірів на ділянці діапазону вимірів 5...10%.
Тестер діагностичний USB- Осцилоскоп	Визначення частоти обертання колінчатого валу двигуна	Одиниця виміру – хв^{-1} Межі вимірів – 0...10000 Похибка вимірів: ±40 хв^{-1}
	Визначення витрати повітря двигуном	Одиниця вимірювань – кг/год Межі вимірювань - 0...500 Похибка вимірів ±0,1 кг/год .
	Визначення витрати палива двигуном	Одиниця вимірів – л/год Межі вимірів – 0...30 Похибка вимірів ±0,1 л/год
	Визначення часу упорскування палива	Одиниця вимірів – мс Межі вимірів – 0...10000 Похибка вимірів ±0,5 мс
	Визначення часу розгону двигуна	Одиниця вимірів – мс Межі вимірів – 0...10000 Похибка вимірів ±0,5 мс
Прилад для перевірки продуктивності	Визначення прохідного перерізу ЕМФ	Одиниця вимірів – мл Межі вимірів – 0...10 Похибка вимірів ±0,05 мл

ВКМ-17	Вимірювання зусилля на важелі навантажувального пристрою	Одиниця вимірів – кг Межа виміру – 0...100 Похибка виміру $\pm 0,5$ кг
Ваги лабораторні	Вимірювання маси палива	Одиниця вимірів – г Межа виміру – 0...1000 Похибка виміру $\pm 0,5$ г

3.3 Експериментальне визначення впливу закоксовування дизельних ЕМФ на споживання палива двигуном

Випробування проводили на моторній установці. Забруднені ЕМФ автомобіля, що проходило ТО, демонтувалися і на приладі для перевірки продуктивності ЕМФ визначалася їхня пропускна здатність. Далі ЕМФ встановлювалися на двигун моторної установки і проводився замір витрати повітря двигуном на холостому ходу при частоті обертання колінчастого валу 4000 хв^{-1} .

Потім проводилося очищення або заміна ЕМФ і за допомогою тестера USB-Осцилоскоп проводилася корекція параметра RCOK для зменшення тривалості впорскування ЕМФ. Падіння частоти обертання колінчастого валу, що виникає при цьому, компенсувалося відкриттям дросельної заслінки. Вироблявся новий замір витрати повітря. Корекція тривалості впорскування ЕМФ та виміри витрати повітря здійснювалися з дискретністю зміни параметра RCOK до тих пір, поки не починалися перебої в роботі двигуна.

На рисунку 3.1 показано залежність витрати повітря двигуном від показника K_C забрудненості реальних ЕМФ знятих з автомобілів, що проходили обслуговування системи живлення двигуна (суцільна лінія). Штриховою лінією показана залежність витрати повітря для чистих ЕМФ, зменшення перерізу, яких імітувалося зменшенням часу упорскування. Як показник забрудненості використовувалося відсоткова зміна відношення витрати повітря до часу упорскування палива (п.2.2).

Експериментальні залежності з достатньою точністю описуються лінійними рівняннями:

$$G_B = 1,95K_C + 63,2 \quad (3.1)$$

$$G_B = 1,43K_C + 61,4 \quad (3.2)$$

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

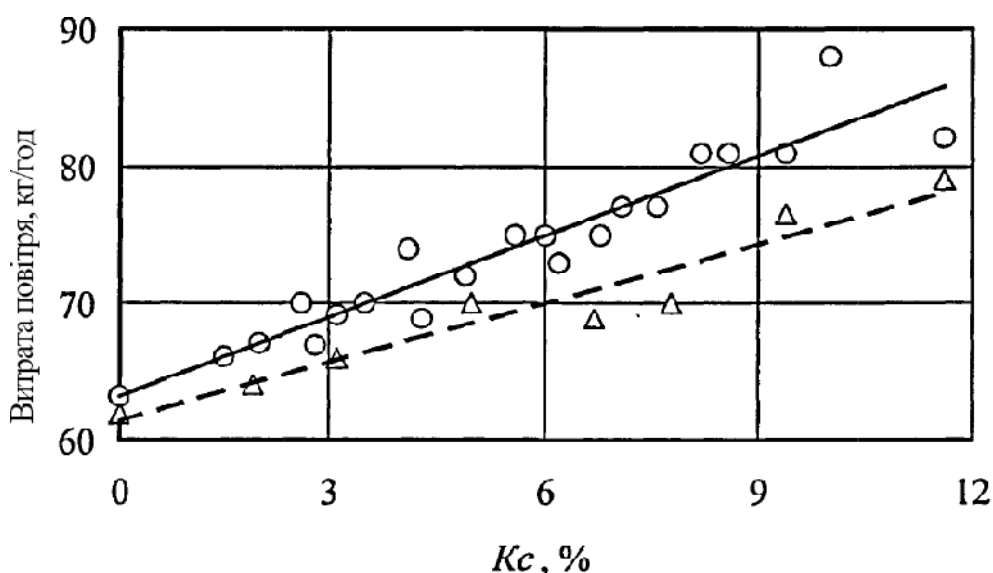


Рисунок 3.1 – Залежність витрати повітря двигуном від показника КС реальних ЕМФ (суцільна лінія) та для чистих ЕМФ при імітації зменшення прохідного перерізу зменшенням часу упорскування палива (штрихова лінія)

3.4 Експериментальне визначення впливу забруднення ЕМФ на показники властивостей автомобіля

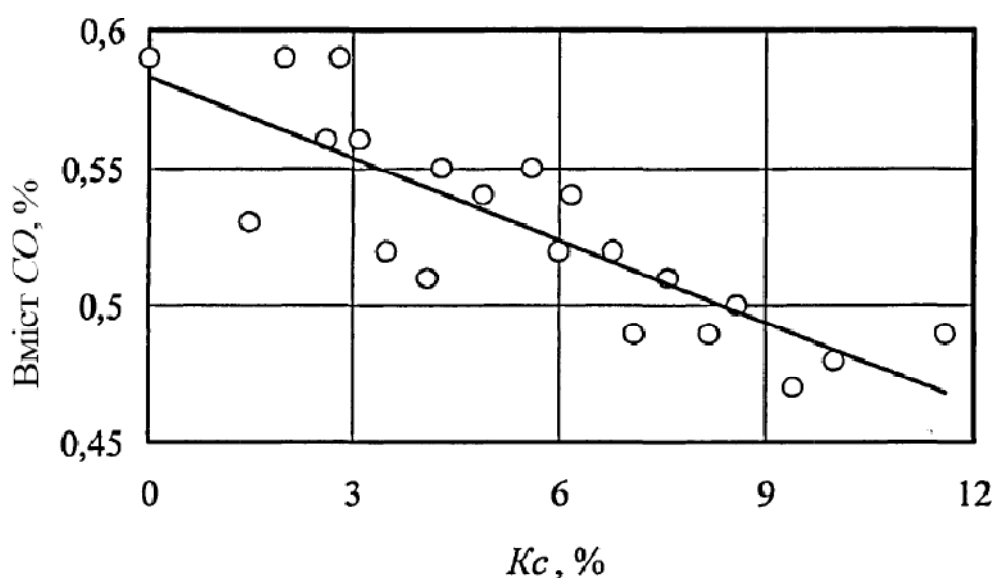
Дослідження проводили на моторній установці. Предметом дослідження були ЕМФ 21 автомобіля, що перебував в експлуатації. При плановому ТО або при виникненні неполадок і відмов з двигуна автомобіля знімалися ЕМФ і на стенді приладом ДСТ-6 визначалася їхня пропускна здатність. Далі ЕМФ встановлювалися на моторну установку та проводилося визначення показників властивостей автомобіля (табл.3.2).

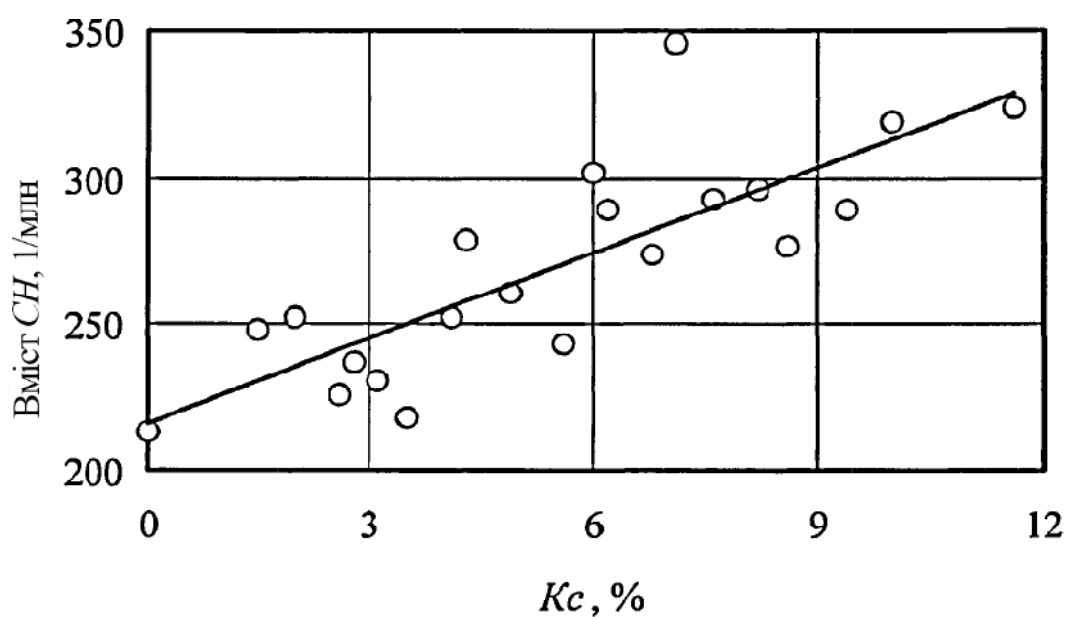
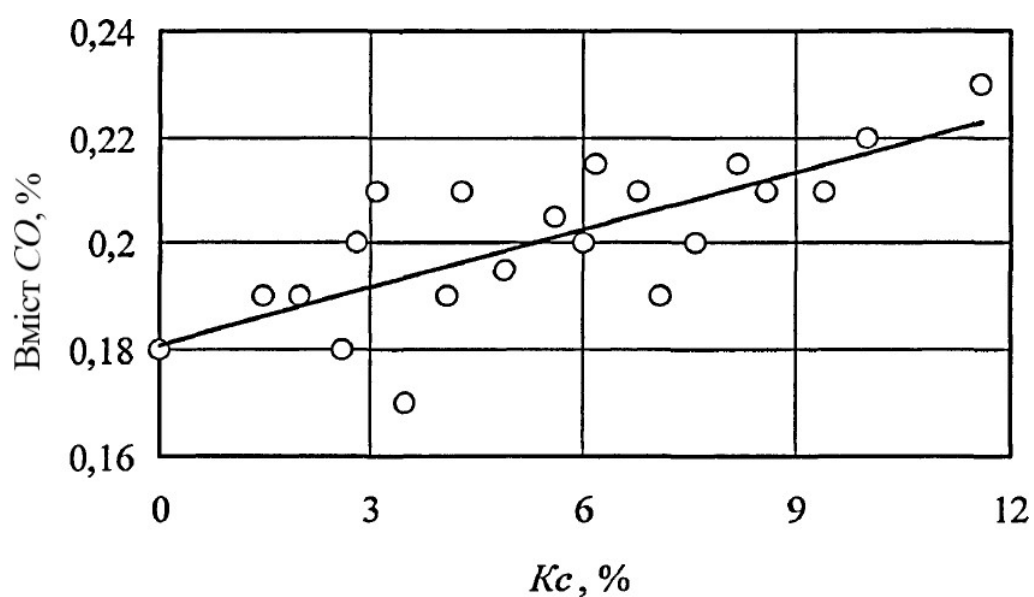
Результати вимірів представлені графіками залежностей показників властивостей автомобіля від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ у відсотках (K_C) (рис.3.2- рис.3.10).

Крім того, перед зняттям ЕМФ з автомобіля проводилися випробування з визначення часу розгону двигуна від 2000 до 5000 xv^{-1} при русі на другій передачі. Виміри часу розгону проводилися на прямому горизонтальному ділянці дороги з асфальтобетонним покриттям біля майданчика для навчального водіння.

Таблиця 3.2 – Показники властивостей автомобіля

№	Показники властивостей автомобіля	Одиниці виміру	Режим
1	Вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах (CO)	%	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв^{-1})
2			Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв^{-1})
3	Вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах (NO)	млн^{-1}	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв^{-1})
4			Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв^{-1})
5	Часова витрата палива (G_T)	л/год	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв^{-1})
6	Питома витрата палива (g_e)	г/кВт год	Середні оберти (3000 хв^{-1}), навантаження 25%
7	Ефективна потужність (N_e)	кВт	Середні оберти (3000 хв^{-1}), навантаження 25%
8	Час розгону двигуна (t_{xx})	с	Від 2000 до 5000 хв^{-1} холостий хід
9	Час розгону двигуна (t_{II})	с	Від 2000 до 5000 хв^{-1} , II передача





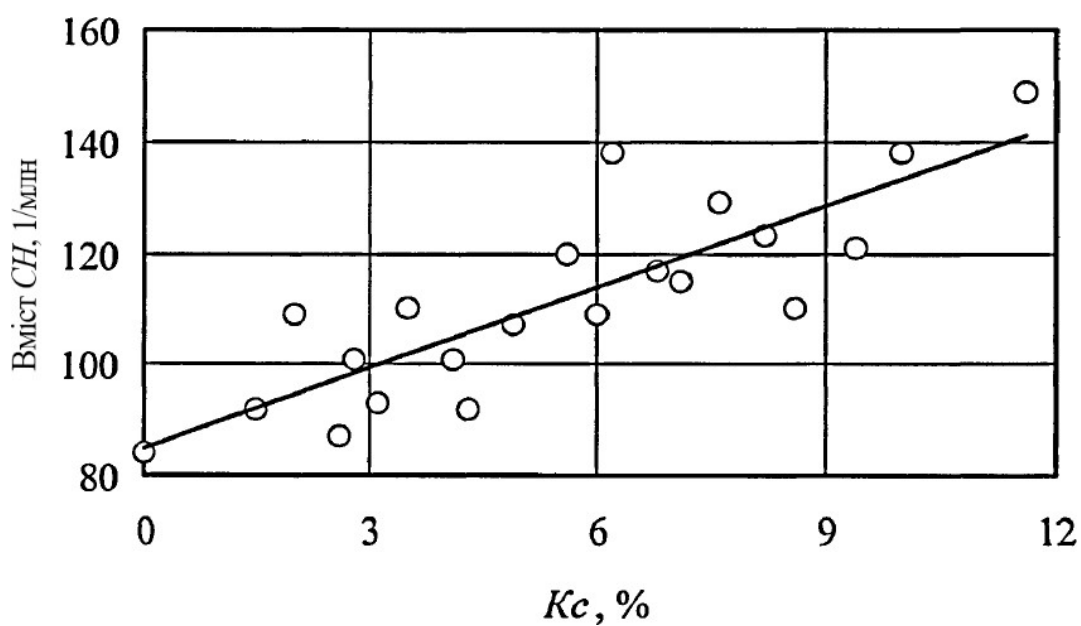


Рисунок 3.5 – Вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу (3200 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ:

$$ПЧНП = 4,85Kc + 84,9$$

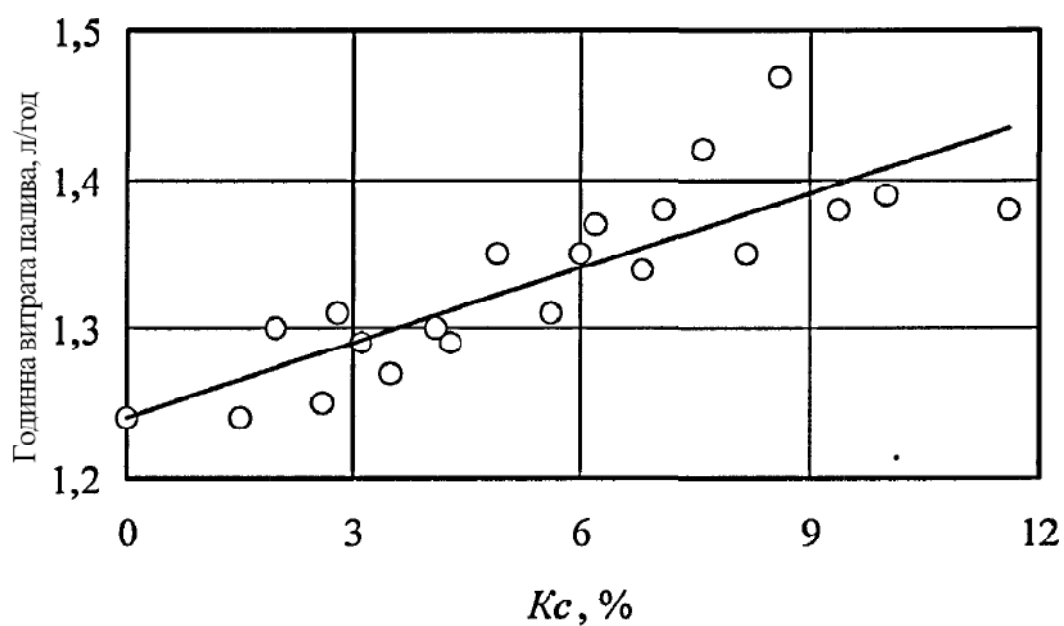


Рисунок 3.6 – Годинна витрата палива на мінімальних обертах холостого ходу (850 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ:

$$ПГТ = 0,017Kc + 1,24$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

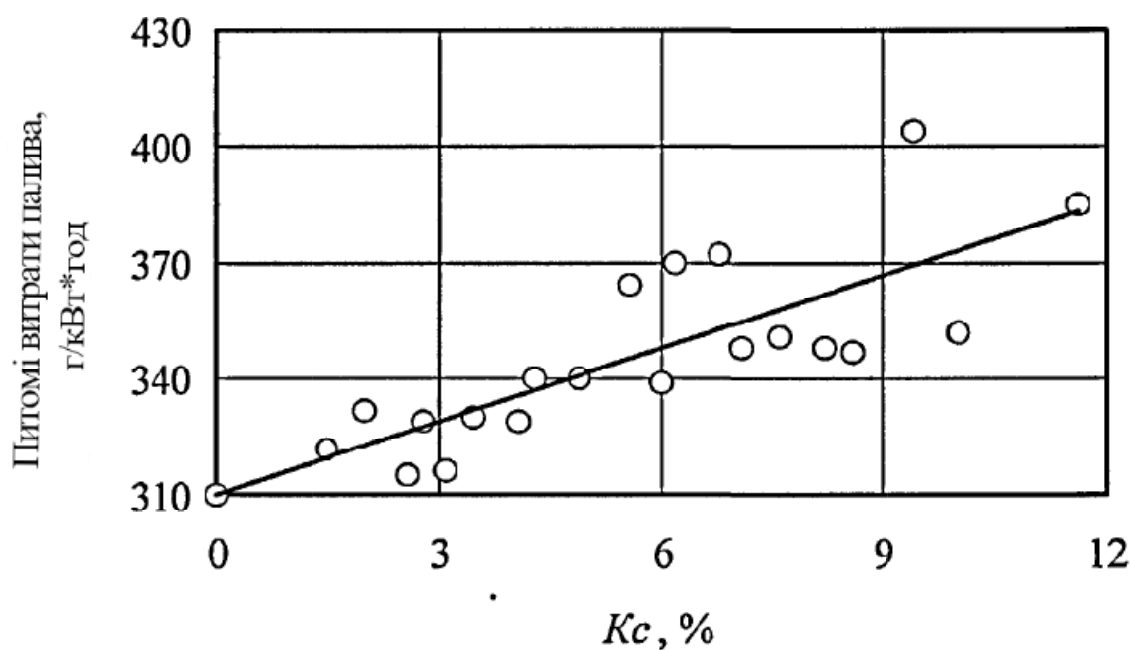


Рисунок 3.7 – Питома витрата палива при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ:
 $P_{GE} = 6,32K_c + 310,0$

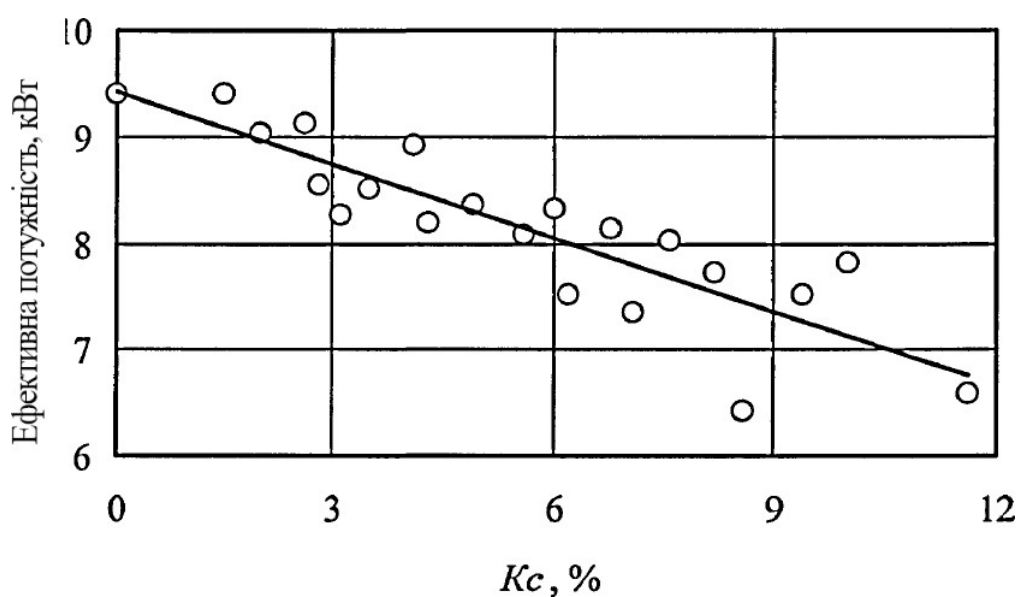


Рисунок 3.8 – Ефективна потужність двигуна при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25 % в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $P_{NE} = -0.23K_c + 9,43$

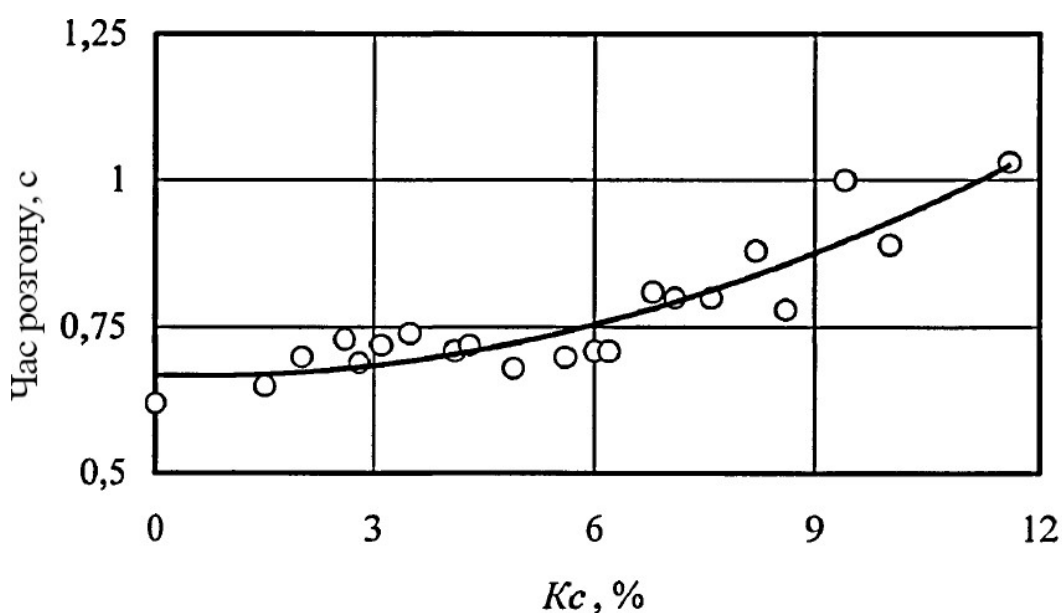


Рисунок 3.9 – Час розгону двигуна на холостому ході з 2000 до 5000 хв^{-1} залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $ПТХ = 0,003K_c + 0,67$

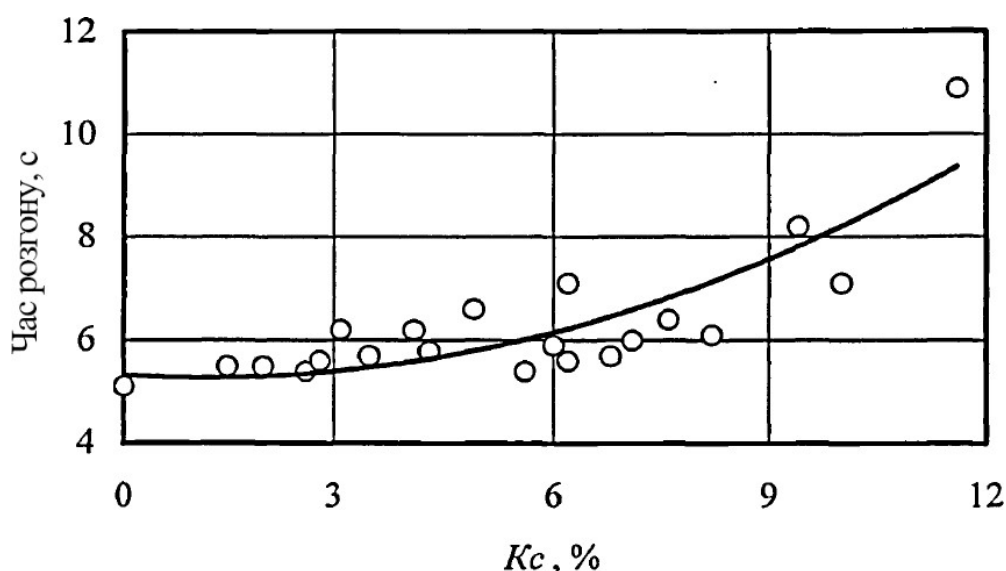


Рисунок 3.10 – Час розгону двигуна на II передачі з 2000 до 5000 хв^{-1} залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ:

$$ПТП = 0,038K_c^2 - 0,089K_c + 5,33$$

Отримані експериментальні дані (таблиця 3.3) щодо впливу забрудненості K_c на параметри роботи двигуна використовувалися для теоретичних досліджень експлуатаційних властивостей автомобіля (розділ 2.6). Зокрема, на підставі експерименту з визначення ефективної потужності двигуна при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} та навантаженні 25% залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ отримано значення коефіцієнта $k_3 = 2,44$ (розділ 2.4.2).

3.5 Експериментальне визначення закоксовування дизельних ЕМФ в експлуатації

Експериментальні дослідження проводилися з ЕМФ знятими з автомобілів, у яких фіксувався пробіг з моменту останнього очищення ЕМФ до заїзду на ТО, в період якого проводилися виміри параметрів роботи двигуна (п.3.4). Таким чином, були отримані дані, що пов'язують пробіг автомобіля та ступінь забрудненості ЕМФ. Вони представлені графіком залежності показника забрудненості K_c від пробігу автомобіля (рис. 3.11).

Таблиця 3.3 – Результати випробувань

№	Досліджуваний параметр	Режим роботи двигуна	Вид залежності	Рівняння регресії
1	Вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах, %	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв ⁻¹)	Лінійна	$-0,01K_c + 0,58$
2		Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв ⁻¹)		$0,0036K_c + 0,18$
3	Вміст NO у відпрацьованих газах, млн ⁻¹	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв ⁻¹)		$9,73K_c + 216,3$
4		Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв ⁻¹)		$4,85K_c + 84,9$
5	Годинна витрата палива, кг/год	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв ⁻¹)		$0,0117K_c + 1,24$
6	Питома витрата палива, г/кВт год	Середні оберти (3000 хв ⁻¹), навантаження 25%		$6,32K_c + 310,0$
7	Ефективна потужність, кВт	Середні оберти (3000 хв ⁻¹), навантаження 25%		$-0,23K_c + 9,43$
8	Час розгону двигуна, с	Від 2000 до 5000 хв ⁻¹ , холостий хід	Квадратична	$0,003K_c^2 - 0,0032K_c + 0,67$ С
9		Від 2000 до 5000 хв ⁻¹ , II переаचा		$0,038K_c^2 - 0,089K_c + 5,53$ С

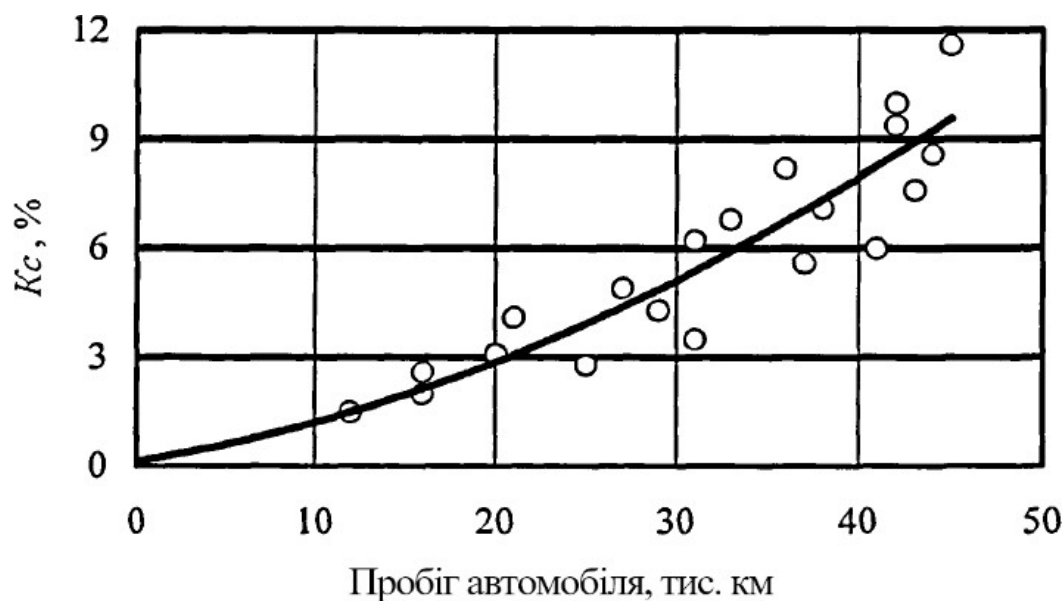


Рисунок 3.11 – Зменшення прохідного перерізу ЕМФ зі зростанням пробігу автомобіля:

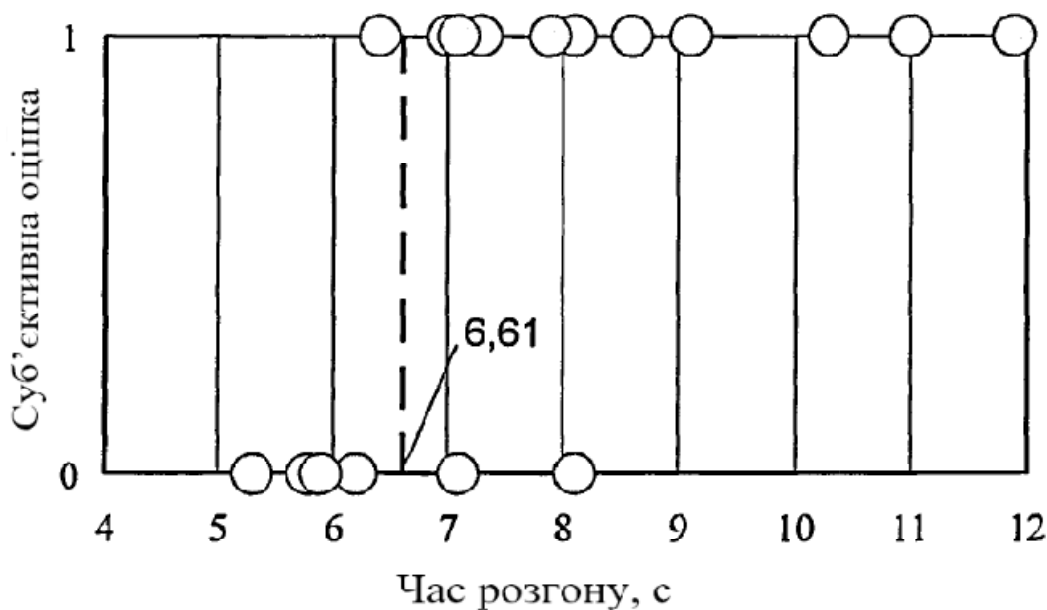
$$Kc = 0,003L^2 + 0,078L$$

3.6 Органолептична оцінка закоксовування дизельних ЕМФ по динамічним властивостям автомобіля

Одним із простих способів оцінки експлуатаційних властивостей автомобіля є органолептична оцінка водія. У зв'язку з цим при заїзді автомобіля на ТО проводилося опитування водіїв. Їм ставилося питання: «Чи вважаєте ви динаміку розгону автомобіля задовільною?» На рисунку 3.12 показані результати опитування водіїв: 0 – позитивна відповідь на запитання, 1 – негативна.

За результатами опитування водіїв було визначено час розгону двигуна з 2000 до 5000 хв⁻¹ під час руху на другій передачі, при якому водії оцінюють погіршення динаміки розгону автомобіля. Для підрахунку цієї величини було знайдено середній час розгону для значень, які перебували в інтервалі розгону зі змішаними оцінками водіїв.

Таким чином, органолептична оцінка змінювалася при збільшенні часу розгону до 6,61 с.



*Рисунок 3.12 - Органолептична оцінка водіїв динамічних властивостей автомобіля в залежності від часу розгону на другій передачі: відповіді водія на запитання про задовільність динаміки розгону автомобіля:
0 так; 1-ні*

3.7 Висновки

Проведені експериментальні дослідження впливу забрудненості ЕМФ на показники властивостей автомобіля, зміни забрудненості ЕМФ в експлуатації та органолептичної оцінки забрудненості ЕМФ дозволили зробити такі висновки:

1. Отримано експериментально залежність витрати повітря двигуном при забруднених ЕМФ та ЕМФ, зменшення прохідного перерізу яких імітувалося зменшенням часу упорскування палива.

2. У міру забрудненості ЕМФ (зміна показника K_c від 0 до

12%), що виявляється у зменшенні прохідного перерізу та погіршенні якості розпилювання палива відбувається:

- зменшення вмісту окису вуглецю у відпрацьованих газах, на мінімальних оборотах холостого ходу з 0,58 до 0,46 % (на 21 %);
- збільшення вмісту окису вуглецю у газах, що відпрацьовали, на підвищених оборотах холостого ходу з 0,18 до 0,22 % (на 24 %);
- збільшення вмісту NO у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу з 216,3 до 333 млн⁻¹ (на 54%);
- збільшення вмісту NO у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу з 84,9 до 143 млн⁻¹ (на 69%);

- збільшення годинної витрати палива на мінімальних оборотах холостого ходу з 1,24 до 1,44 л/год (на 16%);
- збільшення питомої витрати палива при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв⁻¹ і навантаженні 25% з 310 до 386 г*кВт/год (на 24%);
- падіння ефективної потужності при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв⁻¹ та навантаженні 25 % з 9,43 до 6,67 кВт (на 29 %);
- прогресивне зростання часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв⁻¹ на холостому ході з 0,67 до 1,06 с (на 59%);
- прогресивне зростання часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв⁻¹ під час руху автомобіля на другій передачі з 5,33 до 9,73 с (на 83%).

3. В умовах експлуатації забруднення ЕМФ прогресивно збільшується зі зростанням пробігу і при пробігу автомобіля 50 тис. км досягає граничних значень – близько 12%.

4. Опитування водіїв показало, що органолептична оцінка погіршення динамічних властивостей автомобіля має місце при збільшенні до 6,6 з часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв⁻¹ при русі автомобіля на другій передачі.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНИХ ЕМФ В СПРАВНОМУ СТАНІ

4.1 Постановка завдання

Під справним станом ЕМФ у контексті завдань розв'язуваних у даній роботі будемо розуміти такий стан ЕМФ, при якому показники властивостей автомобіля не досягатимуть допустимих значень, встановлених у п.2.

Традиційний спосіб визначення допустимого нормативу заснований на мінімізації витрат на ТО та ремонт. Для цього необхідно як вихідні дані використовувати розподіл діагностичного параметра для чистих ЕМФ ($Kc = 0$) та ЕМФ, забрудненість яких з відповідає допустимим значенням ($Kc = 5,53$). На практиці зробити виміри та отримати параметри розподілу витрати повітря у різних автомобілів з однаковим показником забрудненості ЕМФ Kc важко. Крім того, інтенсивність забруднення ЕМФ залежить від багатьох факторів: якість бензину, кліматичні умови тощо. Тому, прив'язка допустимого значення показника забрудненості Kc^{don} до пробігу має сенс тільки для конкретного регіону, в якому експлуатуються автомобілі. Необхідно врахувати так само, що вартість діагностики ЕМФ досить мала (близько 500 грн.) і на порядок менше вартості ТО (промивання ЕМФ). У зв'язку з цим відмова від мінімізації витрат при нормуванні періодичності ТО ЕМФ не призведе до відчутного зростання витрат на ТО.

Тому, для визначення допустимого значення діагностичного параметра та відповідного пробігу автомобіля доцільно використовувати експериментальні дані залежності діагностичного параметра (витрати повітря) від показника забрудненості ЕМФ отримані в п. 3.3.

Крім того, для практичної реалізації результатів дослідження необхідно розробити методику діагностування забрудненості ЕМФ в експлуатації.

4.2 Обґрунтування допустимого значення діагностичного параметра

Для визначення допустимого значення діагностичного параметра G_B^{don} необхідно врахувати можливу помилку у визначенні параметрів рівняння лінії регресії залежності витрати повітря G_B від показника забрудненості ЕМФ Kc :

$$G_B = 1,95Kc + 63,2 \quad (4.1)$$

Вона зводиться до розрахунку діапазону значень коефіцієнтів рівняння регресії. Для середнього значення показника забрудненості ЕМФ знайдемо мінімальне значення середньої витрати повітря (рисунок 4.1):

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_B^{CP} MIN = G_B^{CP} - t_{1-\alpha} S_B \quad (4.2)$$

де $t_{1-\alpha}$ – квантиль t -розподілу з числом ступенів свободи $n-2$;

$$S_B = S_{OCT} / n^{0,5};$$

S_{OCT} – залишкове середньоквадратичне відхилення;

n – число вимірювань.

Через отриману точку $(K_C^{CP}; G_B^{CP MIN})$ проходять дві прямі, які із заданою ймовірністю визначають межу мінімальних значень G_B з урахуванням помилки:

$$G_B = \begin{cases} (1,95 - t_{1-\alpha} S_A) K_C + 63,2 - t_{1-\alpha} S_B; & K_C > K_C^{CP}; \end{cases} \quad (4.3)$$

$$(1,95 + t_{1-\alpha} S_A) K_C + 63,2 - t_{1-\alpha} S_B; \quad K_C^{CP} > K_C; \quad (4.4)$$

$$\text{де } S_A = S_{OCT} / [\sum (K_{Ci} - K_C^{CP})^2]^{0,5}.$$

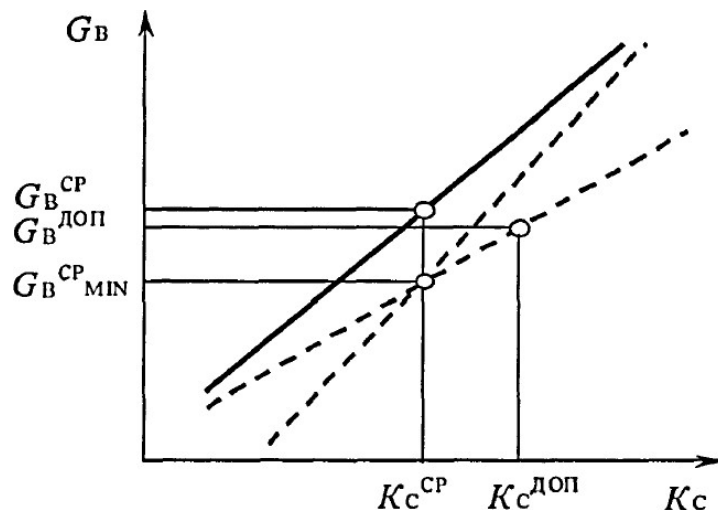


Рисунок 4.1 – Нижні межі довірчої зони лінії регресії залежності витрати повітря від показника забрудненості ЕМФ

Середнє значення показника K_C забрудненості ЕМФ становить 5,52 %, а допустиме значення, у якому ЕМФ вважаються справними – 5,53%. Таким чином, коригування допустимого значення G_B проводиться за рівнянням (4.3) і з ймовірністю 0,95 складе:

$$G_B^{доп} = 1,003 K_C^{доп} + 62,9 = 68,45 \quad (4.6)$$

Отримана експериментально (п.3.5) залежність показника за забрудненістю K_C від пробігу автомобіля дозволяє для умов експлуатації автомобілів у помірному кліматі визначити пробіг автомобіля L , при якому необхідно проводити промивання ЕМФ:

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_C = 0,003L^2 + 0,078L \quad (4.7)$$

Вирішивши рівняння (4.7) щодо пробігу автомобіля L отримаємо для $K_C^{\text{доп}}$ значення 31,8 тис. км. Таким чином, у помірному кліматі очищення ЕМФ автомобілів ГАЗ-3110 із двигунами СІТРОЄН С5 2.0 HDI необхідно проводити через 30 тис.км пробігу під час проведення обслуговування А (через 5 тис. км) або Б (через 10 тис. км).

В інших регіонах необхідно діагностувати забрудненість ЕМФ кожні 5 тис. км (обслуговування А) і прогнозувати момент досягнення допустимого значення діагностичного параметра G_B . Залежність витрати повітря на частоті обертання колінчастого валу двигуна 4000 об/хв на холостому ході описується поліномом другого ступеня (рисунки 3.1, 3.10). Проте за пробігу автомобіля близько 10 тис. км. (Між минулим обслуговуванням А і майбутнім) можна з невеликою погрішністю прийняти закон зміни діагностичного параметра G_B лінійним (рисунок 4.2). Тоді до наступного обслуговування діагностичний параметр досягне значення

$$G_B = G + (G - G_{\Pi})L_B/L_{\Pi} \quad (4.8)$$

де G – витрата повітря при поточному обслуговуванні, кг/год;
 G_{Π} – витрата повітря при попередньому обслуговуванні, кг/год;
 L_{Π} – пробіг автомобіля з попереднього обслуговування, тис. км;
 L_B – пробіг автомобіля до наступного обслуговування, тис. км.

Промивання ЕМФ проводять якщо $G_B \geq 68.5$ кг/год.

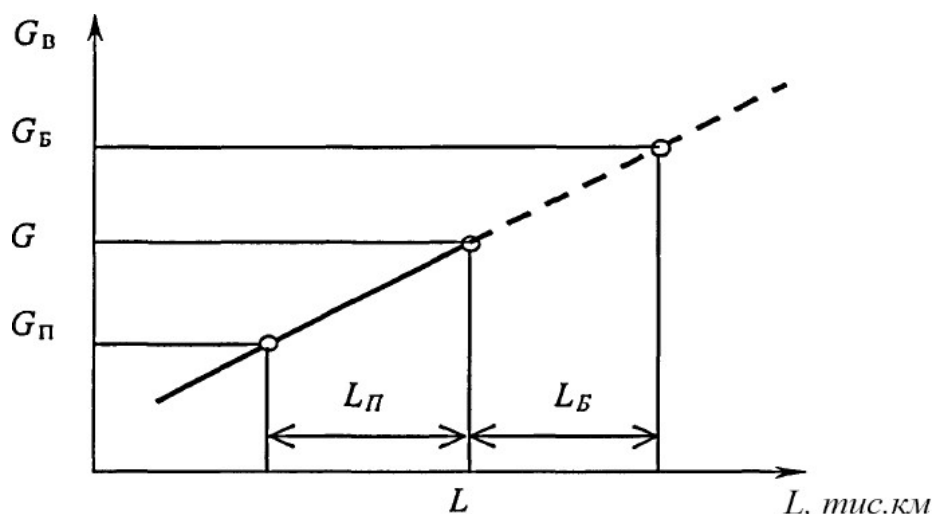


Рисунок 4.2 – До питання прогнозування значення діагностичного параметра

4.3 Методика діагностики закоксованості дизельних ЕМФ

Для проведення робіт із діагностування закоксованості дизельних ЕМФ необхідне використання наступного обладнання:

- сканер діагностичний Бош КТС-530;
- датчик масової витрати повітря "Bosch" або його аналог.
- відвід відпрацьованих газів, при роботі в закритому приміщенні.

Виконання робіт проводиться відповідно до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта діагностики забрудненості електромагнітних форсунок

№	Зміст робіт, операцій	Обладнання та інструменти	Технічні вимоги та вказівки
1	Встановити автомобіль на пост діагностики	Місце діагностики	
2	Зафіксувати автомобіль ручним гальмом, підкласти противідкатні упори	Противідкатні упори	
3	Приєднати до глушника шланг для відводу відпрацьованих газів	Шланг відводу відпрацьованих газів	Контроль вмикання вентилятора відведення газів
4	Запустити двигун і прогріти його до робочої температури охолоджувальної рідини 80-90 ⁰ С		Контроль температури
5	Заглушити двигун		
6	Замінити ДМВП на контрольний		Підключити роз'єм ДМВП до контрольного датчика
7	Підключити тестер ДСТ-2М	сканер діагностичний Бош КТС-530, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку
8	Увімкнути запалення		

№	Зміст робіт, операцій	Обладнання та інструменти	Технічні вимоги та вказівки
9	Проконтролювати тестером відсутність помилок в КМПСУД, при необхідності очистити наявні помилки	Сканер діагностичний Бош KTC-530	При наявності помилок в КМПСУД необхідний пошук та усунення несправностей
10	Запустити двигун		
11	Встановити частоту обертання двигуна дроселем 4000 об/хв	Сканер діагностичний Бош KTC-530	Контроль по FREQ
12	Зняти показники масової витрати повітря JAIR	Сканер діагностичний Бош KTC-530	Витрата повітря визначається по параметру JAIR
13	Заглушити двигун		
14	Замінити контрольний ДМВП на штатний	Викрутка шліцева	Підключити роз'єм ДМВП до штатного датчика
15	Від'єднати тестер ДСТ-2М	Сканер діагностичний Бош KTC-530, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку

4.4 Висновки

1. Допустиме значення діагностичного параметра забрудненості ЕМФ (витрата повітря двигуном на холостому ходу при частоті обертання колінчастого валу 4000 хв⁻¹) з урахуванням помилки апроксимації експериментальних даних становить 68,5 кг/год.

2. Періодичність ТО з очищення ЕМФ для автомобілів, що експлуатуються в помірному кліматі, становить 30 тис. км. Цей норматив не можна застосовувати в інших регіонах через відмінність умов експлуатації, що впливають на інтенсивність забруднення ЕМФ (якість бензину, кліматичні умови тощо).

3. Розроблена методика діагностування забрудненості ЕМФ дозволяє без зняття ЕМФ з двигуна і застосування дорогого устаткування визначати величину діагностичного параметра.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Організація охорони праці

Згідно з законом України «Про охорону праці» і кодексом законів про працю (КЗНП), забезпечення здорових і безпечних умов праці для всіх працівників покладається на адміністрацію підприємства – директора, його заступників, головних спеціалістів, керівників, структурних підрозділів.

Адміністрація підприємства повинна суворо дотримуватись встановлених правил і норм з охорони праці, техніки безпеки, виробничої санітарії, добиватись неухильного виконання всіма працівниками вказаних вимог [7], [22].

З метою забезпечення усього і всіма працівниками регулярно (не рідше 1 разу на місяць) проводиться інструктаж на робочому місці. В обов'язковому порядку вказаний інструктаж проводиться при нещасних випадках на виробництві, а також керівниками підрозділу. Важливе місце в навчанні і пропаганді охорони праці займає наочна агітація (стенди, плакати, планшети тощо).

Фінансування запланованих заходів з охорони праці здійснюється з розрахунку 2-3% від фонду заробітної плати робітників. Контроль за станом охорони праці здійснюється трьохступінчасто: бригадир – майстер – начальник підрозділу.

Особи, винні в порушеннях заходів з охорони праці несуть відповідальність у встановленому порядку [7], [22].

5.2 Техніка безпеки під час ТО та ремонту автомобілів

Технічне обслуговування й ремонт автомобілів необхідно виконувати відповідно до діючого Положення про технічний, обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту, Правилами технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту за ДСТУ 2489-94 є:

Технічне обслуговування й ремонт виконується у спеціально відведених місцях (постах), оснащених необхідними пристроями, приборами й пристосуваннями, інвентарем (відповідно до табеля технологічного устаткування й спеціалізованого інструмента).

Пости технічного обслуговування й ремонту повинні розташовуватися так, щоб відстань між автомобілями, а також автомобілями та конструкціями будинку було не менш регламентованих.

Автомобілі, що направляються на пости технічного обслуговування або ремонту, повинні бути вимиті, очищені від бруду й снігу.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При постановці автомобіля на пост технічного обслуговування або ремонту необхідно вивішувати на кермове колесо табличку з написом «Двигун не запускати - працюють люди!».

При обслуговуванні автомобіля на підйомнику (гідравлічному, електромеханічному) на механізмі або пульті керування підйомником повинна бути вивішена табличка з написом «Не чіпати - під автомобілем працюють люди!».

У робочому (піднятому) положенні плунжер підйомника повинен надійно фіксуватися упором (штангою), що гарантує неможливість мимовільного опускання підйомника.

У приміщеннях технічного обслуговування з потоковим рухом автомобілів обов'язковий пристрій сигналізації (світловий, звуковий), вчасно попереджуючої працівників на лінії обслуговування (в оглядових канавах, на естакадах і т.д.) про момент початку руху автомобіля з поста на пост.

Переміщення рухомого складу з поста на пост дозволяється тільки після включення сигналу (звукового, світлового). Пости повинні мати сигнали аварійної зупинки.

Після установки автомобіля на пост технічного обслуговування або ремонту автомобіль варто загальмувати ручним гальмом, включити нижчу передачу, виключити запалювання (подачу палива), а під колеса підкласти упори не менш двох.

При роботах, пов'язаних із обертанням колінчатого й карданного валів, необхідно додатково перевірити вимикання запалювання, подачу палива (для дизельних автомобілів), поставити важіль перемикання передач у нейтральне положення, звільнити важіль ручного гальма. Після виконання необхідних робіт варто затягти ручне гальмо й знову включити нижчу передачу.

Робітники, що роблять обслуговування й ремонт автомобілів, повинні забезпечуватися відповідними справними інструментами й пристосуваннями. Працівники, що виконують ремонт автомобілів поза оглядовою канавою, естакади або підйомника, повинні забезпечуватися лежачками. Працювати без лежаків на підлозі (землі) забороняється. Забороняється:

- виконувати які-небудь роботи на автомобілі (причепі), вивішеної тільки на одних піднімальних механізмах (домкратах, телях і т.д.). При виконанні робіт, зв'язаних зі зняттям коліс, потрібно поставити під вивішений автомобіль (причеп) козелки, а під не зняті колеса - упори;
- підкладати під вивішений автомобіль (причеп) замість козелків диски коліс, цегли та інші предмети;
- знімати й ставити ресори на автомобілях (причепах) всіх конструкцій і типів без попереднього їхнього розвантаження від маси кузова шляхом вивішування кузова з установкою козелків під нього або раму автомобіля;

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- проводити технічне обслуговування й ремонт автомобіля при працюючому двигуні, за винятком регулювання системи живлення й електроустаткування двигуна й випробування гальм;
- піднімати (вивішувати) автомобіль за буксирні гаки;
- піднімати (навіть короткочасно) вантажі вагою більшим, ніж це зазначено на табличці даного піднімального механізму;
- знімати, установлювати й транспортувати агрегати при зчалюванні їх тросом і канатами без спеціальних захватів.

Забороняється:

- використати випадкові підставки й підкладки замість спеціального додаткового упору;
- працювати з ушкодженими або неправильно встановленими упорами;
- ставити піднятий на вантажений кузов на упори.

При ремонті й обслуговуванні автобусів і вантажних автомобілів з високими кузовами робітники повинні бути забезпечені сходами і драбинами з щаблями шириною не менш 15 см. Застосовувати приставні сходи не дозволяється.

5.3 Вимоги техніки безпеки до інструментів, пристроїв і основному технологічному устаткуванню

Для підвищення безпеки праці необхідно забезпечити безпеку виробничого встаткування й технологічних процесів. Для цього наявний інструмент, технологічне встаткування повинні відповідати вимогам стандартів системи безпеки праці, норм і правил по охороні праці й санітарних норм. З метою забезпечення електробезпечності все технологічне встаткування з електроприводом повинне бути надійно заземлено. Опір заземлення повинен бути не більше 4 Ом. Перевірка опору заземлення й ізоляції виконується один раз на рік [7], [22].

При роботі на асфальтобетонній підлозі біля верстата, для попередження простудних захворювань і захисту від ураження електричним струмом на підлозі розташовують дерев'яний щит. Відстані між верстатами приймають залежно від габаритних розмірів і схеми розташування відповідно до ОНТ-01-86. Установлювати верстати впритул до стін можна лише в тому випадку, якщо там не розміщуються радіатори опалення, трубопроводи та інше встаткування.

Стільці повинні бути регульованими по висоті і бажано з регульованими спинками. Верстати для виконання розбірно-складальних робіт підганяють по росту робітника за допомогою підставок під верстат або підставок під ноги. Робочу поверхню верстата покривають листовим металом або лінолеумом, залежно від видів виконуваних робіт.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ручний інструмент повинен бути в справному стані, чистим і сухим. Його вибракування, як і вибракування пристосувань, повинно виконуватись не рідше одного разу на місяць. Інструмент повинен бути надійно насаджений на рукоятку й розклинений клинами з м'якої сталі. Вісь рукоятки повинна бути перпендикулярна поздовжньої осі інструмента. Довжину рукоятки вибирають залежно від маси інструмента: для молотка 300-400мм; для кувалди 450-500 мм. Рукоятки ножівок, напилків, викруток, шаберів повинні бути стягнуті бандажними кільцями.

5.4 Заходи техніки безпеки під час проведення ТО та діагностування системи живлення

При виконанні налагоджувальних робіт системи живлення необхідно знати основні причини виникнення пожеж. Тому основними причинами через які стаються пожежі на ремонтно-діагностичних дільницях являється :

- паління в приміщенні та необережне поводження в вогнем поблизу легкозаймистих матеріалів;
- незадовільний стан електричних пристроїв та порушення умов їх експлуатації;
- порушення ізоляції електричних приборів, стендів та електромереж;
- порушення режимів роботи при виконанні технологічних операцій;
- несправність опалювальної системи та умов її експлуатації;
- порушення виконання правил нормативно-технічної документації та правил з питань пожежної безпеки.

Пожежі на виробництві спричинені необережним поводженням з вогнем є дуже частим явищем. Під цим, як правило, розуміють паління в недозволених місцях та виконання так званих вогневих робіт. Вогневими роботами вважають виробничі операції, пов'язані з використанням відкритого вогню, іскроутворенням та нагрівом деталей, устаткування, конструкцій до температур, що здатні викликати займання горючих речовин і матеріалів, парів легкозаймистих рідин (бензину, розчинників).

Якщо брати до уваги систему живлення і перелік обладнання, який використовується для проведення робіт по ТО та діагностуванні системи живлення, то слід дотримуватись цих правил, адже ми маємо справу з вузлами і системами, що пов'язані паливно-мастильними матеріалами. Відповідальність за заходи пожежної безпеки при проведенні даних робіт покладається на керівників дільниць, цехів, підприємств.

Висновки за розділом

У даному розділу розроблено заходи щодо безпеки праці та безпечних умов виробництва на дільниці з ремонту паливної апаратури. Визначено

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають під час проведення ремонтних робіт, наведено заходи щодо покращення стану охорони праці на підприємстві.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз проведених досліджень та стану питань діагностування, технічного обслуговування та ремонту систем упорскування дизпалива показав, що в даний час відсутні нормативи та рекомендації щодо термінів, змісту та методики робіт з очищення закоксованих дизельних ЕМФ. Існуючі методи діагностування дизельних ЕМФ вимагають дорогого обладнання та значних витрат часу на діагностування. Ці методи не можуть бути рекомендовані для широкого використання при діагностуванні дизельних ЕМФ в експлуатації.

2. Як критерій закоксованих ЕМФ обґрунтовано показник K_c , що враховує зменшення пропускної спроможності дизельних ЕМФ та погіршення якості розпилювання палива, який визначається як ступінь зменшення пропускної спроможності ЕМФ у відсотках.

Визначено допустимий рівень закоксованості дизельних ЕМФ ($K_c = 5,53\%$), при якому знижується динаміка розгону автомобіля нижче за допустимі межі. Запропоновано діагностичний параметр закоксованих дизельних ЕМФ – витрата повітря на холостому ході двигуна при частоті обертання 4000 хв^{-1} .

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що в міру забрудненості дизельних ЕМФ (зміна показника K_c від 0 до 12%) відбувається: збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу з $216,3$ до 333 млн^{-1} (54%); збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу з $84,9$ до 143 млн^{-1} (69%); збільшення годинної витрати палива на мінімальних оборотах холостого ходу з $1,24$ до $1,44 \text{ л/год}$ (16%); збільшення питомої витрати то палива при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% з 310 до 386 г кВт/год (24%); падіння ефективної потужності при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% з $9,43$ до $6,67 \text{ кВт}$ (29%); прогресивне зростання часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} на холостому ході з $0,67$ до $1,06 \text{ с}$ (59%) та часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} при русі автомобіля на другій передачі з $5,33$ до $9,73$ (83%).

Експериментально отримано залежності витрати повітря двигуном від показника K_c для забруднених та чистих дизельних ЕМФ. В останніх зменшення прохідного перерізу імітувалося зменшенням тривалості упорскування палива.

В умовах експлуатації в помірному кліматі забруднення дизельних ЕМФ прогресивно збільшується зі зростанням пробігу і до 50 тис. км пробігу досягає граничного значення (близько 12%). Опитування водіїв показало, що органолептична оцінка погіршення динамічних властивостей автомобіля має місце при збільшенні часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} у русі автомобіля на другій передачі до $6,6 \text{ с}$.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Допустиме значення діагностичного параметра закоксованих дизельних ЕМФ (витрата повітря двигуном автомобіля Сітроєн С5 2.0 HDI на холостому ході при частоті обертання колінчастого валу 4000 хв^{-1}) становить 68,5 кг/год з урахуванням помилки апроксимації експериментальних даних.

Рекомендована періодичність ТО з очищення дизельних ЕМФ для автомобілів СІТРОЄН С5 2.0 HDI, становить для умов України 60-70 тис. км. При поширенні цих даних на регіони з умовами експлуатації, що відрізняються, виникає необхідність їх коригування або використання методу прогнозування діагностичного параметра до моменту наступного обслуговування.

Розроблена методика підтримки дизельних ЕМФ у справному стані дозволяє підвищити ефективність експлуатації автомобіля. При цьому показники властивостей автомобіля (активної та екологічної безпеки) знаходяться у допустимих межах.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Germany: Robert Bosch GmbH, 2018. 1424 p.
2. Heywood, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill Education, 2018. 928 p.
3. Кукурудзяк, Ю. Ю., Петров, М. В. Діагностування електромагнітних форсунок автомобільного двигуна // Науковий вісник Національного технічного університету. 2020. №5. С. 45–50.
4. Stone, R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. London: Palgrave Macmillan, 2012. 516 p.
5. Henein, N. A., and Reitz, R. D. Diesel Engine Combustion Optimization. London: Springer, 2017. 464 p.
6. Zhao, F. Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: Diesel Engines. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. 890 p.
7. Farsoni, M., and Levesley, M. Fuel Injection in Automotive Applications. New York: SAE International, 2015. 320 p.
8. Catania, A. E. Combustion and Emissions in Modern Automotive Engines. London: Springer, 2019. 532 p.
9. Stiesch, G. Modeling Engine Spray and Combustion Processes. London: Springer, 2017. 284 p.
10. Lefebvre, A. H., and Ballal, D. R. Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions. Boca Raton: CRC Press, 2010. 576 p.
11. Watson, N., and Janota, M. Internal Combustion Engine Fundamentals. London: Springer, 2015. 588 p.
12. Галкін, С. Г. Matlab & Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК. Київ: Вид-во НТУУ «КПІ», 2017. 456 с.
13. Бae, С., and Kim, J. Alternative Fuels and Combustion in Internal Combustion Engines. New York: Elsevier, 2020. 650 p.
14. Hiroyasu, H., and Arai, M. The Spray Formation and Mixing in Diesel Engines. SAE Paper, 2016.
15. Dent, J. The Introduction to Diesel Injector Systems. Journal of Automobile Engineering, 2015, vol. 223, pp. 124–131.
16. Говорущенко, Н. Я. Системотехніка транспорту. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2019. 380 с.
17. Pickett, L. Combustion Optimization in Diesel Engines. SAE International Journal of Engines, 2018, vol. 9, pp. 95–102.
18. Zeuch, W. Diesel Injection Systems and Combustion Processes. Berlin: Springer, 2013. 424 p.

					БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Manente, V., Johansson, B., and Tunestal, P. The Impact of Injector Characteristics on Engine Performance. *Journal of Energy*, 2020, vol. 68, pp. 72–85.
20. Lechner, G. P., and Denton, C. High-Pressure Fuel Injection Systems. SAE Technical Paper, 2021.
21. Kegl, B. Biodiesel Combustion and Emissions Characteristics. *Energy Conversion and Management*, 2017, vol. 51, pp. 142–152.
22. Zhu, G., and Zhang, Y. Advanced Control Strategies for Internal Combustion Engines. London: Elsevier, 2018. 420 p.
23. Andrei, M., and Popescu, C. Modern Trends in Diesel Injector Design. *International Journal of Automotive Engineering*, 2019, vol. 34, pp. 98–107.
24. Fuel Injection Systems / Robert Bosch GmbH. – Wiley, 2005. – 300 p.
25. Diesel Engine Reference Book / Edited by Bernard Challen and Rodica Baranescu. – 2nd ed. – Butterworth-Heinemann, 1999. – 800 p.
26. Modern Diesel Technology: Diesel Engines / Sean Bennett. – Cengage Learning, 2014. – 608 p.
27. Diesel Fuel Injection / Ulrich Adler. – Wiley, 1994. – 275 p.
28. Common Rail Fuel Injection Technology in Diesel Engines / Qianfan Xin. – Woodhead Publishing, 2013. – 400 p.
29. Diesel Engine Management: Systems and Components / Robert Bosch GmbH. – Springer Vieweg, 2006. – 544 p.
30. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. – 2nd ed. – McGraw-Hill Education, 2018. – 1056 p.
31. The Diesel Odyssey of Clessie Cummins / C. Lyle Cummins Jr.. – Diesel Technology Co., 1998. – 400 p.
32. Diesel Technology / Andrew Norman. – Goodheart-Willcox, 2019. – 832 p.
33. Diesel Engine System Design / Qianfan Xin. – Woodhead Publishing, 2011. – 1088 p.
34. Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development / Edited by Hua Zhao. – Woodhead Publishing, 2009. – 848 p.
35. Diesel Engines: Environmental Impact and Control / Edited by Magdi K. Khair and W. Addy Majewski. – SAE International, 2006. – 584 p.

					<i>БР.АТ-73.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тема бакалаврської роботи:

«Оптимізація діагностики та збільшення ресурсу дизельних електромагнітних форсунок»

Данилюк Микола Любомирович

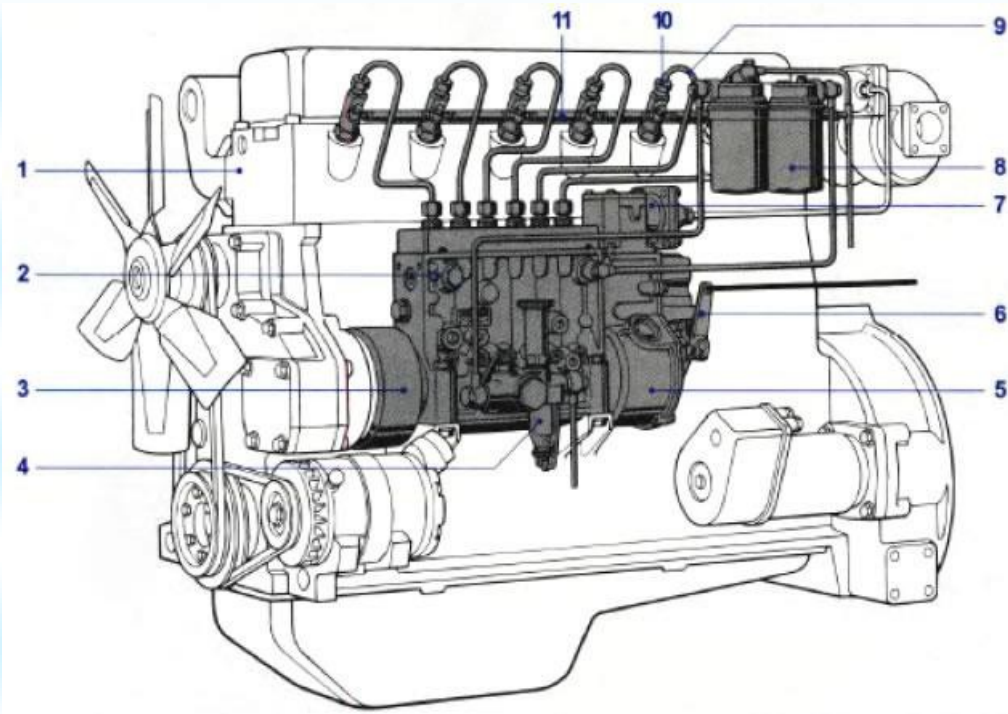


Рисунок 1 – Рядні ПНВТ живлення дизеля

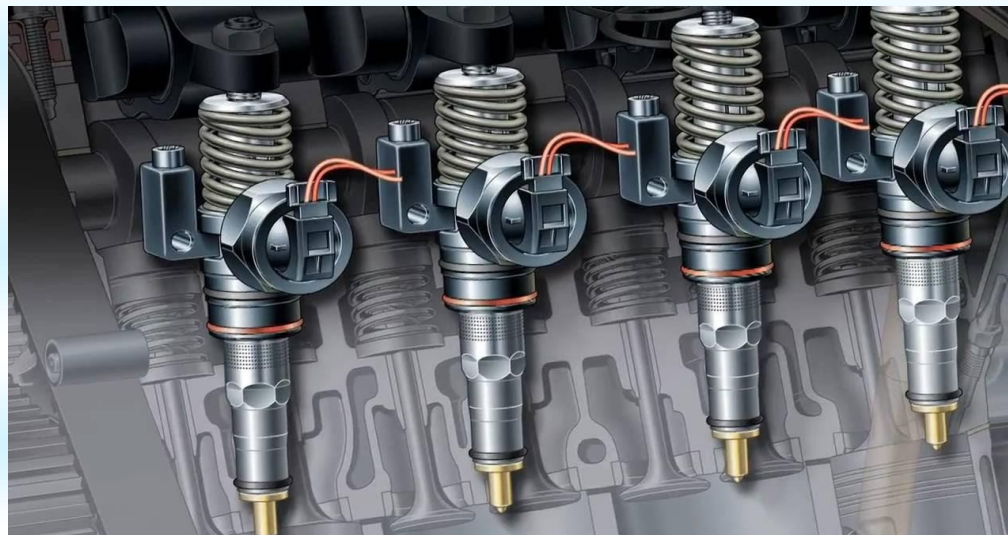


Рисунок 2 – Система паливоподачі з насос-форсунками

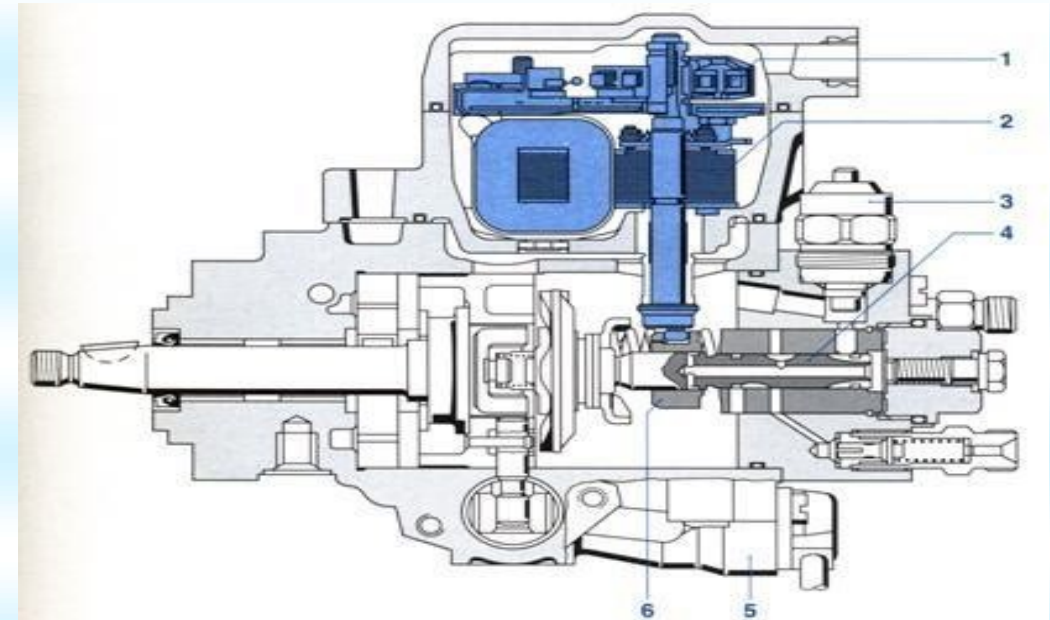


Рисунок 3 – Розподільний насос ПНВТ дизеля



Рисунок 4 – Система паливоподачі Common Rail

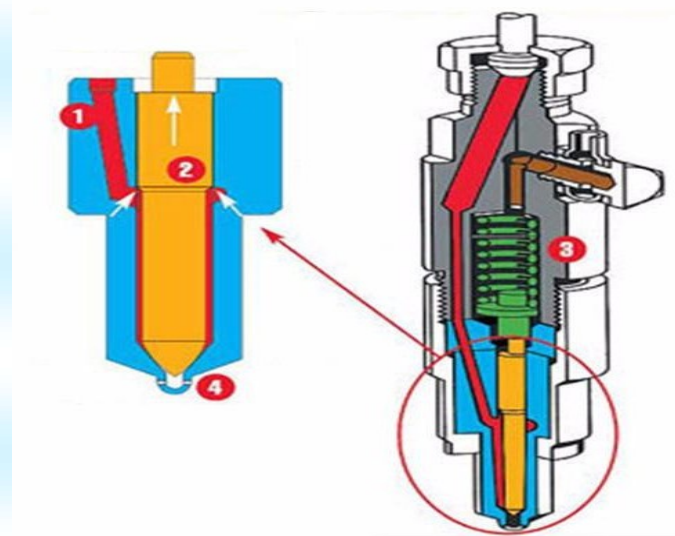
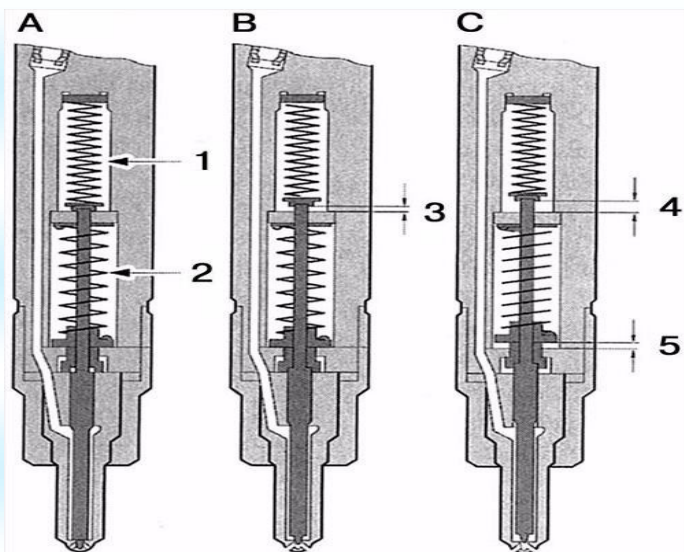


Рисунок 1 – Механічна паливна форсунка

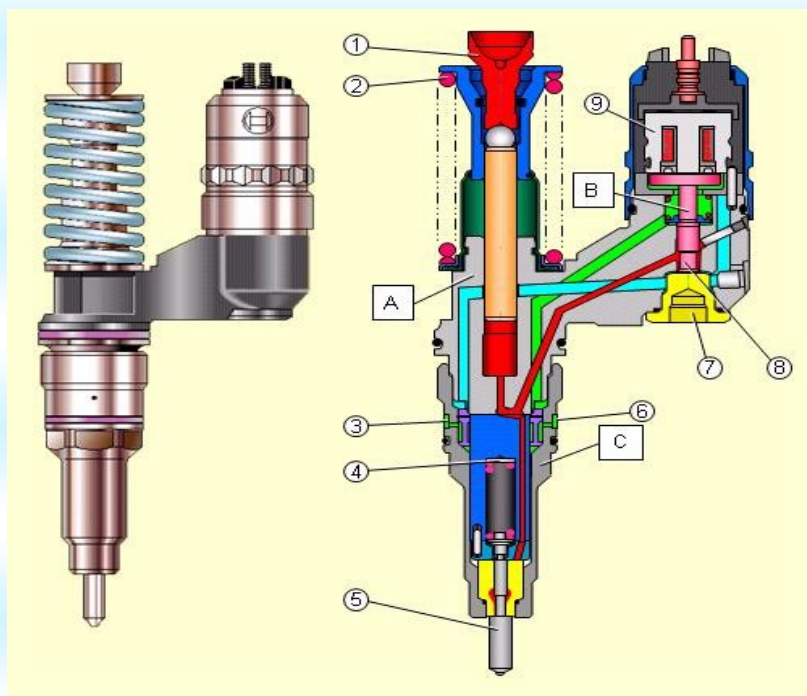


Рисунок 2 – Насос-форсунка

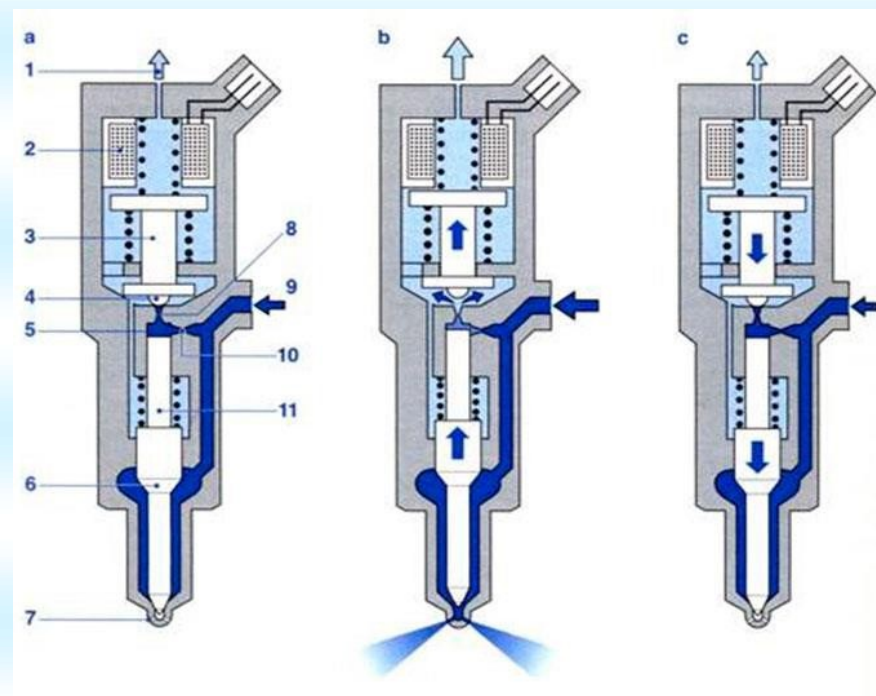
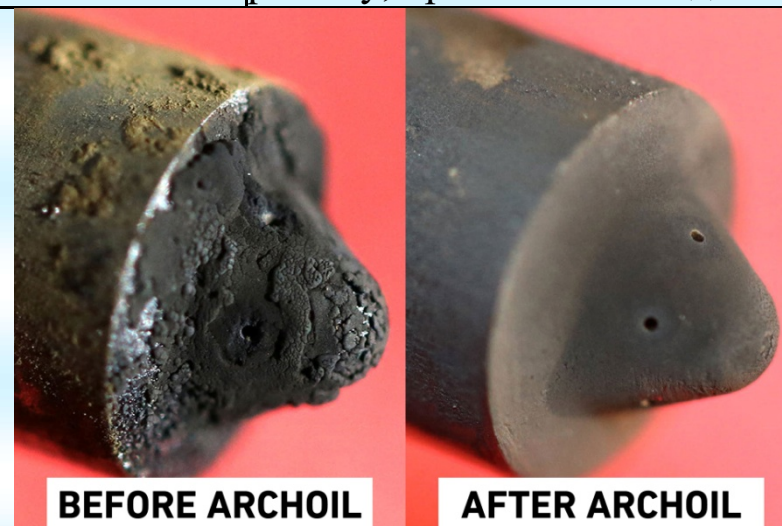


Рисунок 3 – Електромагнітна паливна форсунка

Елемент електромагнітної форсунки	Вимоги до збереження працездатності	Можливі причини несправності
Розпилювач	Закоксування отворів розпилювача	Погіршення якості розпилення палива, втрата потужності
Розпилювач	Формування конуса розпилюваного палива під заданим утом	Погіршення якості розпилення палива, втрата потужності
Сітка фільтра	Очистка палива від механічних домішок	Зменшення кількості палива, через забруднення сітки
Обмотка електромагніта	Відсутність обривів і замикань ($R=15.5\pm0.5$ Ом)	Припинення подачі палива
Магнітний якір	Вирівнювання та необхідний зазор.	Переривання подачі палива, необмежена подача палива
Голчастий клапан	Статична продуктивність при тиску $P_t = 30$ МПа, напруга живлення ЕМФ $U_{ж} = 13$ В, $Q=207 - 212$ см ³ /хв	Зниження продуктивності, погіршений запуск
Кільце ущільнювача в ГБЦ	Герметичність з'єднання форсунки та ГБЦ	Витік палива через з'єднання
Електричний роз'єм	Надійний електричний контакт	Окислення контактів роз'єму, припинення подачі палива

Рисунок 1 – Нижня частина дизельної електромагнітної форсунки CR (пробіг автомобіля – 60000 км):
зліва – забруднені коксовими відкладеннями;
праворуч – після очищення



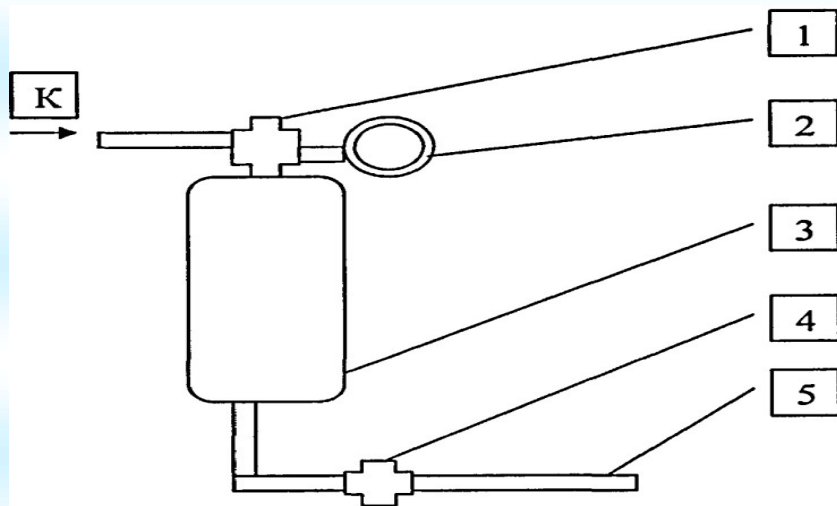


Рисунок 1 – Схема установки ОФ-1: 1 – кран тиску палива механічний; 2 – манометр; 3 – балон із сольвентом; 4 – кран запірний; 5 – шланг подачі; К – стиснене повітря від компресора

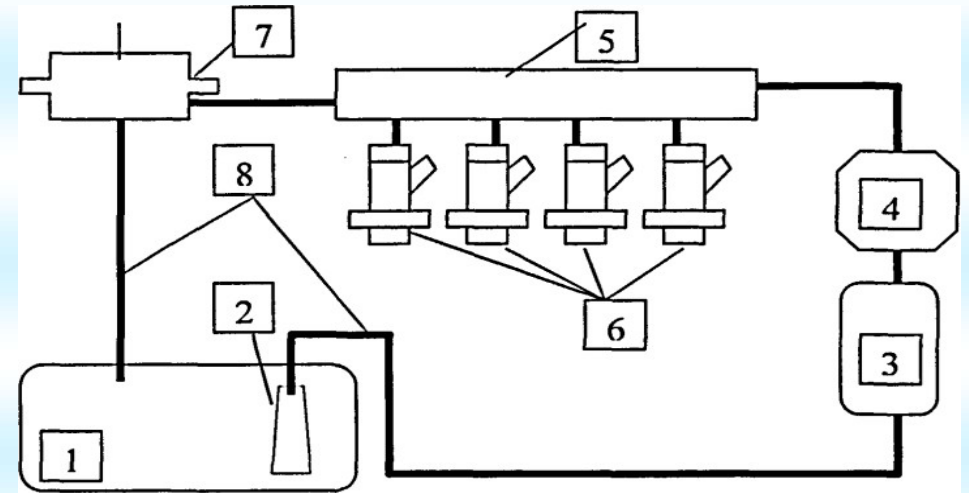


Рисунок 2 – Система подачі палива: 1 – паливний бак; 2 – фільтр грубої очистки; 3 – електричний бензонасос; 4 – тонкодисперсний фільтр очищення палива; 5 – паливна рампа; 6 – насадка; 7 – регулятор тиску палива; 8 – паливо проводи



Рисунок 3 – Дизельні електромагнітні форсунки після (форсунки 1, 2) та до (форсунки 3, 4) очищення

КІЛЬКІСТЬ ВІДКЛАДЕНЬ ТА СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ФОРСУНОК

6

Таблиця 1 – Кількість відкладень у впускній системі дизельного двигуна при випробуваннях лабораторним методом

Показники бензинів	Кількість утворених відкладень, мг
Концентрація фактичних смол, мг на 100 мл	
5	40
15	90
25	150
35	200
Індукційний період, хв	
1000	8
340	22
110	43
Вміст ненасичених вуглеводнів, %	
0.7	2
2.0	20
4.0	31

Таблиця 2 – Способи очищення форсунок

Очистка ЕМФ	Спосіб очистки ЕМФ	Трудомісткість робіт з очистки ЕМФ на Сітроен С5 2.0 HDI, люд/год	Вартість необхідного обладнання, грн.	Вартість витратних матеріалів (на 4 ЕМФ), грн.
Без зняття з двигуна	Добавки до полива	0,2-5	-	1125
	Очищення сольвентом без циркуляції палива	1,0	45000	1125
	Очищення сольвентом із циркуляцією палива	0,6	100000	1125
Зі зняттям з двигуна	Очищення розчинником вручну	1,2	-	315
	Очищення на промивному стенді	1,6	200000	450

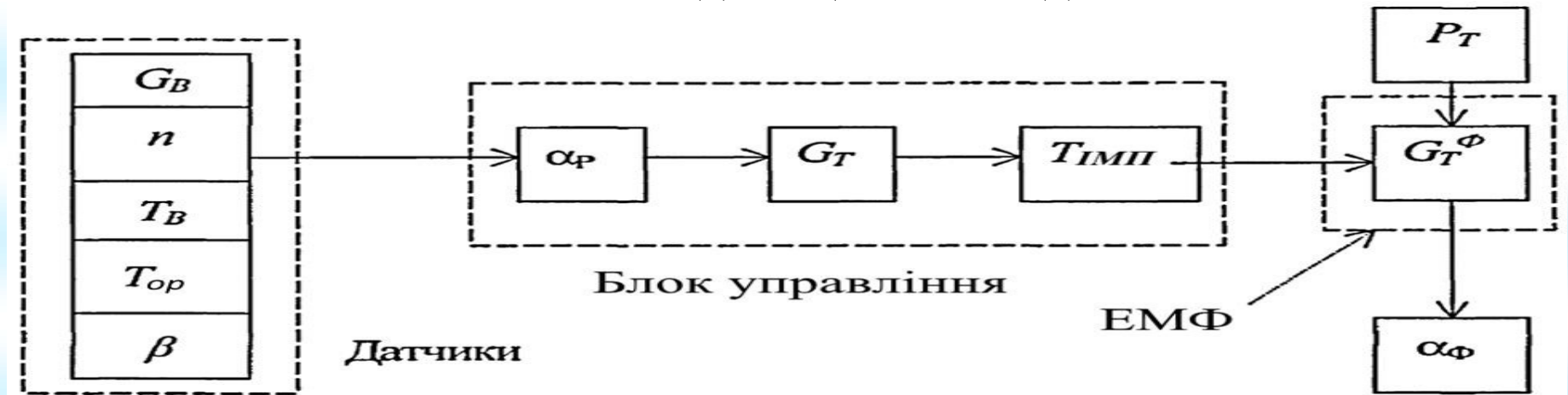


Рисунок 1 – Шлях передачі інформації в системі упорскування палива двигуна ФОРД ЕСКОРТ (G_B – масова витрата повітря двигуном; n – частота обертання колінчастого валу двигуна; T_B – температура повітря; T_{op} – температура охолоджувальної рідини; β – ступінь відкриття дросельної заслінки; α_P – розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря; $G_{T_{цикл}}$ – розрахункова циклова подача палива; $T_{имп}$ – тривалість упорскування ЕМФ; P_T – тиск палива в системі; G^{Φ} – фактична циклова подача палива; α_{Φ} – фактичний коефіцієнт надлишку повітря)

K_C – показник, що враховує зменшення пропускної здатності ЕМФ, визначається наступним чином

$$K = \frac{Q_4 - Q_3}{Q_4} 100\%$$

де Q_4 – пропускна здатність справної чистої форсунки, $\text{см}^3/\text{хв}$; Q_3 – пропускна здатність забрудненої ЕМФ, $\text{см}^3/\text{хв}$.

$$\frac{K_P}{K_C} = \text{const} \quad (1)$$

$$G_B = f(K_C) \quad (2)$$

$$\beta = f(K_C) \quad (3)$$

K_C

$$G_{B.гр} = 1,95K_C + 63,2 \quad (4)$$

$$G_{B.c} = 1,43K_C + 61,4 \quad (5)$$

$$G_{B.гр} / \Delta G_{B.c} = \text{const} \quad (6)$$

Показник K_C є функцією від пробігу автомобіля

$$K_C = f(L) = aL^2 + bL + c \quad (2.11) \quad \text{де } a, b, c \text{ – коефіцієнти; } L \text{ – пробіг автомобіля, тис. км.}$$

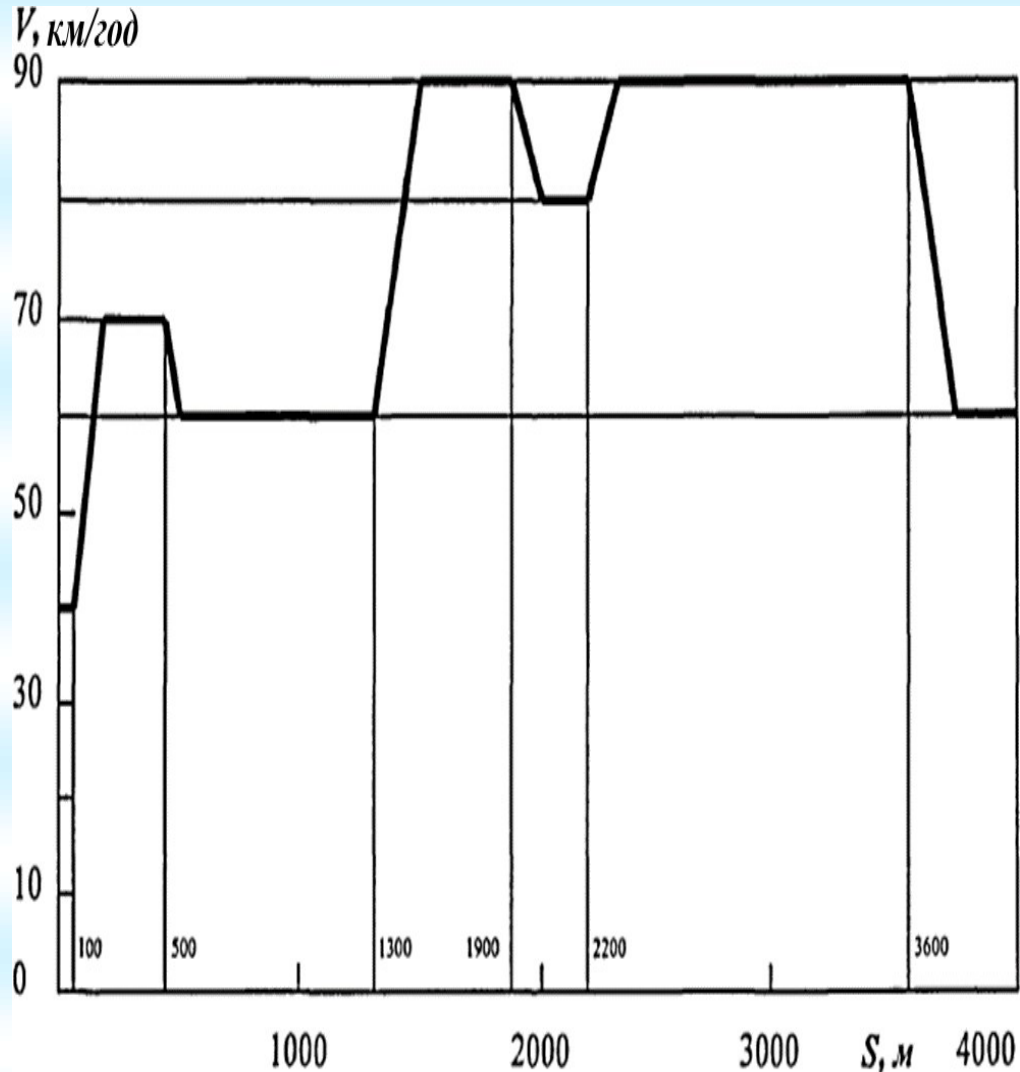
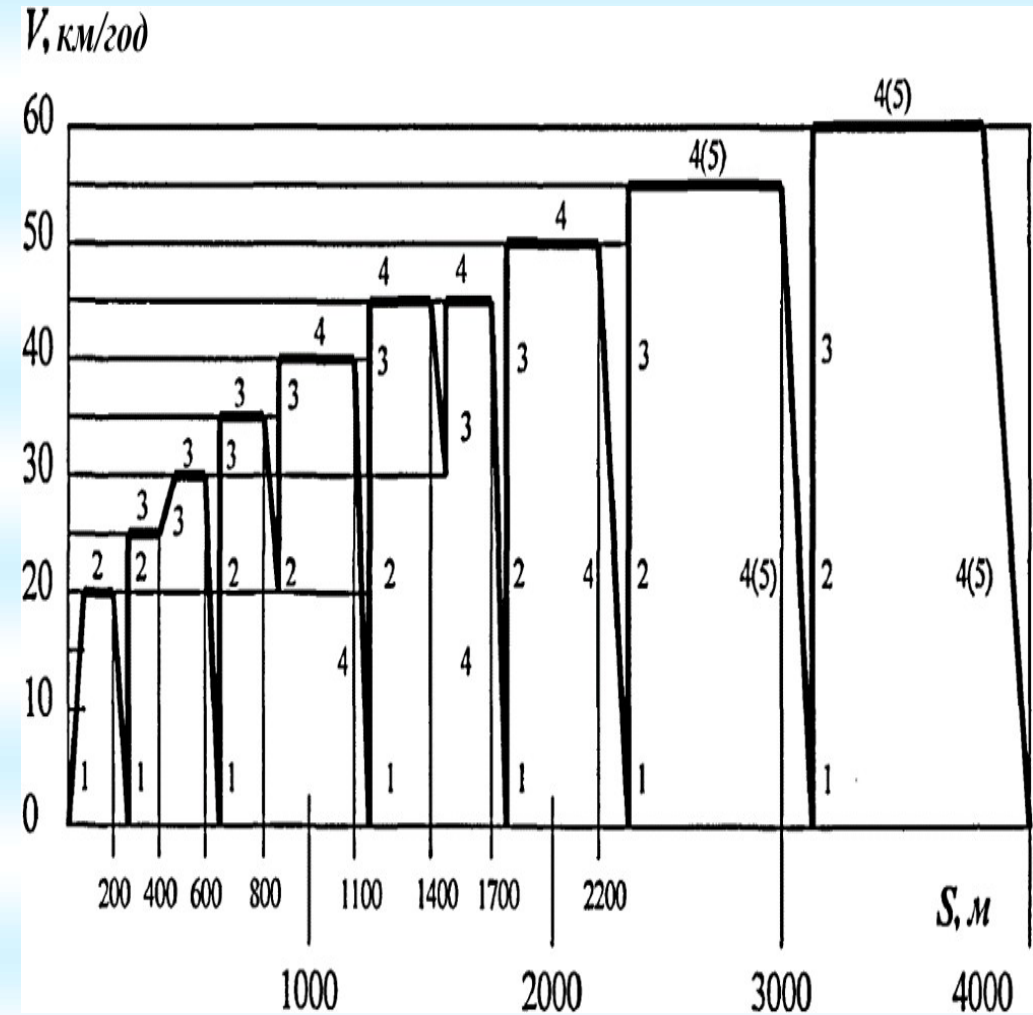


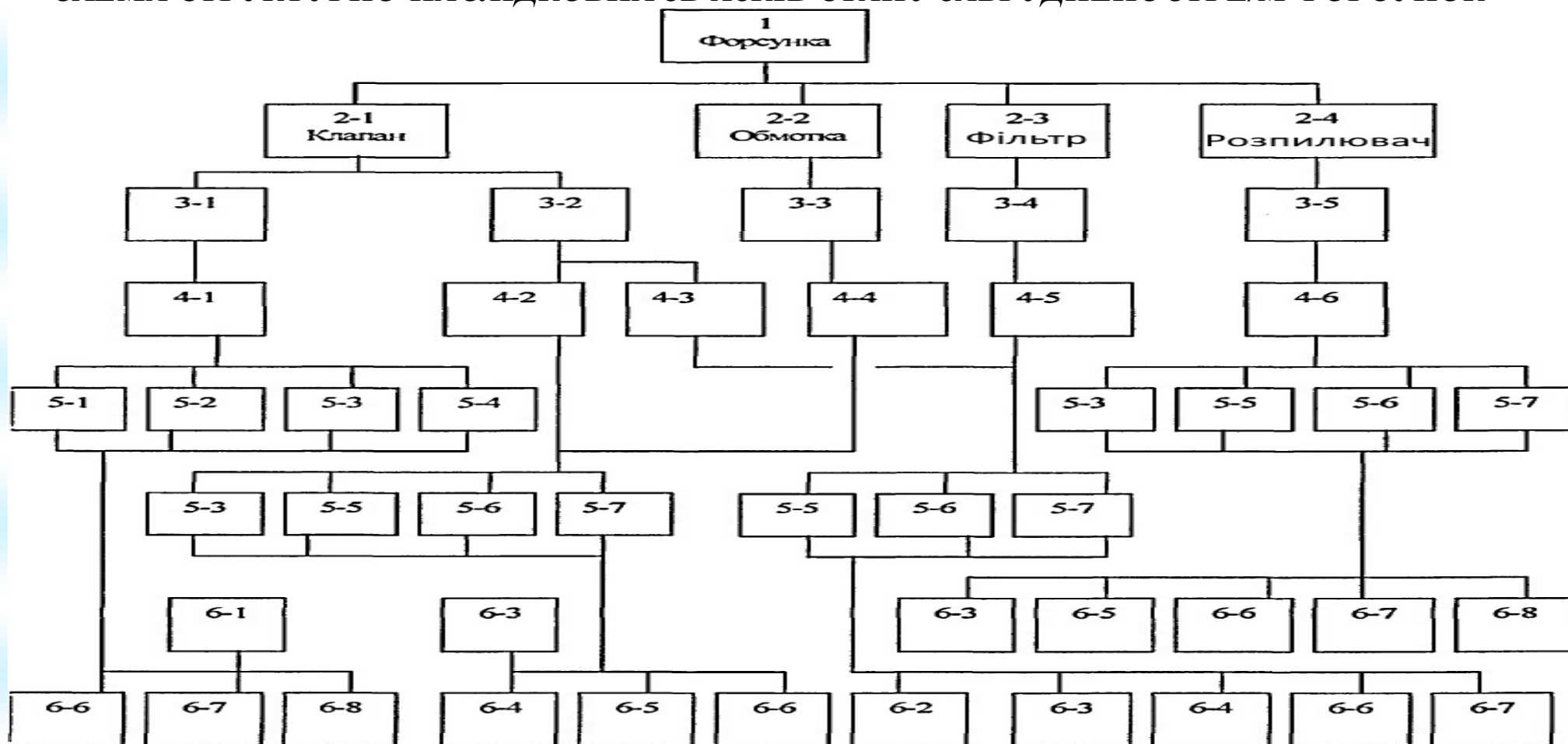
Рисунок 1 – Схема магістрального циклу на дорозі для ТЗ повною масою до 3,5 т та автобусів далекого прямування



1, 2, 3, 4, 5 – моменти перемикання передач і рух на вказаній передачі

Рисунок 2 – Схема міського їздового циклу на дорозі для ТЗ повною вагою до 3,5 т

№	Показники властивостей автомобіля	Допустимі значення	Спосіб визначення
1.	Годинна витрата палива на мінімальних оборотах XX, л/год	Не нормується	Експериментально
2.	Питома витрата палива при 3000 об/хв та ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, г/кВт год	Не нормується	Експериментально
3.	Вміст NO у відпрацьованих газах на мінімальних обертах XX, млн ⁻¹	1200	Експериментально
4.	Вміст NO у газах, що відпрацьовали, на підвищених обертах холостого ходу (3200 об/хв), млн ⁻¹	600	Експериментально
5.	Максимальна швидкість, км/год.	Не нормується	Розрахунком
6.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на 2 передачі в русі, С	6,0	Експериментально і розрахунком
7.	Середній час розгону двигуна від 2000 до 5000 об/хв на XX, с	0,75	Експериментально
8.	Ефективна потужність при 3000 об/хв. і ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, кВт	В експлуатації не нормується	Експериментально
Паливна економічність			
9.	Контрольна витрата на швидкостях 90 і 120 км/год, л/100км	Не нормується	Розрахунком
10.	Витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км	Не нормується	Розрахунком
11.	Витрата палива у міському циклі на дорозі, л/100 км	Не нормується	Розрахунком



Позначення: 1 – електромагнітна форсунка; 2-1 - клапан форсунки; 2-2 - обмотка електромагніта; 2-3 – вбудований фільтр; 2-4 – розпилювач форсунки; 3-1 – герметичність закриття клапана форсунки; 3-2 – за забруднення замикаючого елемента; 3-3 – опір обмотки електромагніту; 3-4 – забруднення вбудованого фільтра; 3-5 – забруднення розпилювача форсунки; 4-2 – фіксація клапана в закритому положенні (залипання); 4-3 – зменшення пропускної спроможності; 4-4 обрив обмотки електромагніту; 5-2 – утруднений пуск двигуна в гарячому стані; 5-3 – підвищена витрата палива; 5-4 – зниження в'язкості масла через попадання в нього палива; 5-5 – нестійка робота двигуна на холостому ході; 5-6 – втрата потужності; 5-7 – двигун не достатньо прийомистий; 6-1 – протікання палива через закриту форсунку; 6-2 – збільшення вмісту оксидів азоту (NO_x); 6-3 – час розгону двигуна у режимі вільного прискорення (t_n , t_{xx}); 6-4 – статична пропускна здатність ЕМФ ($Q_{ст}$); 6-5 – контрольна витрата палива (Q_s); 6-6 – витрата повітря в певному режимі (GB); 6-7 – збільшення вмісту окису вуглецю (CO); 6-8 – збільшення вмісту вуглеводнів (CH)

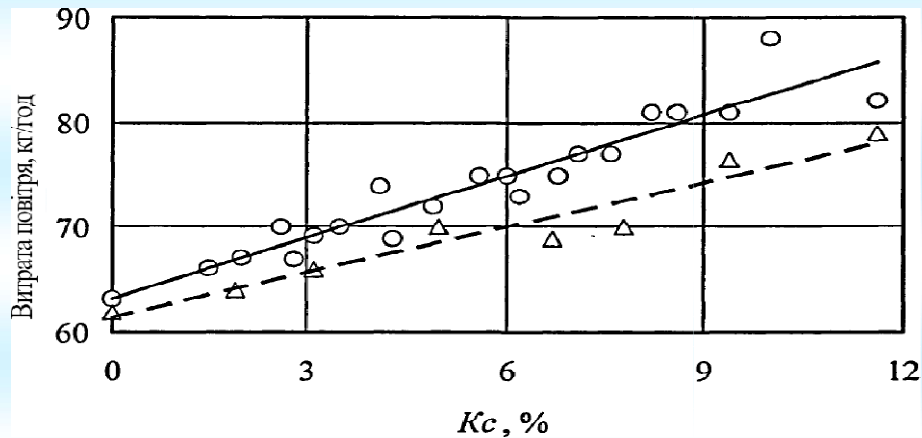


Рисунок 1 – Залежність витрати повітря двигуном від показника K_c реальних ЕМФ (суцільна лінія) та для чистих ЕМФ при імітації зменшення прохідного перерізу зменшенням часу упорскування палива (штрихова лінія)

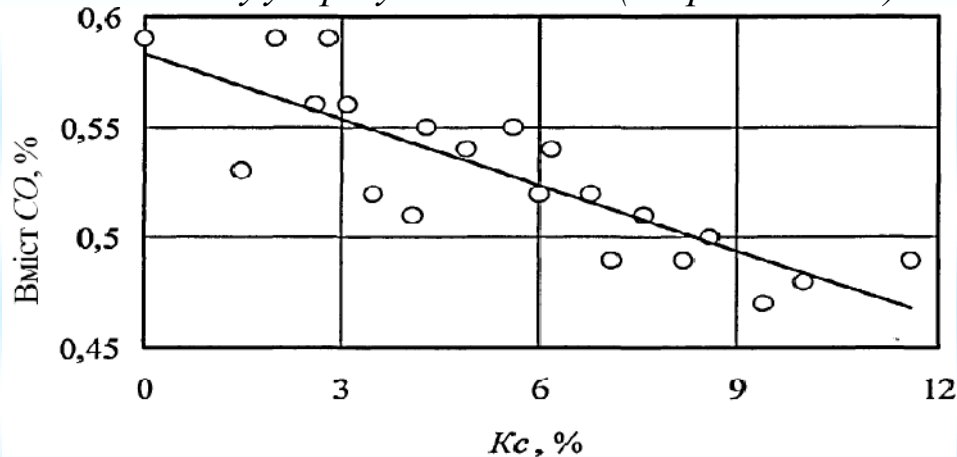


Рисунок 2 – Вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу (850 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $P_{COx} = -0,01K_c + 0,58$

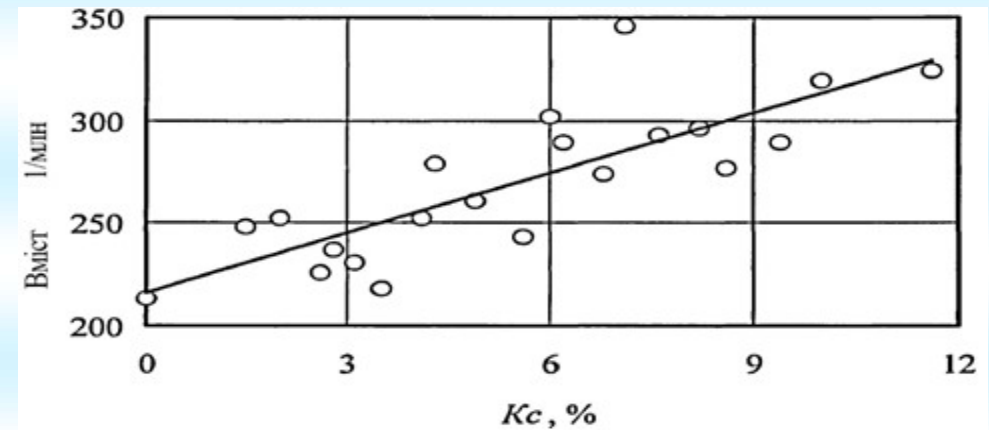


Рисунок 3 – Вміст NO у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу (850 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $P_{NOx} = 9,73K_c + 216,3$

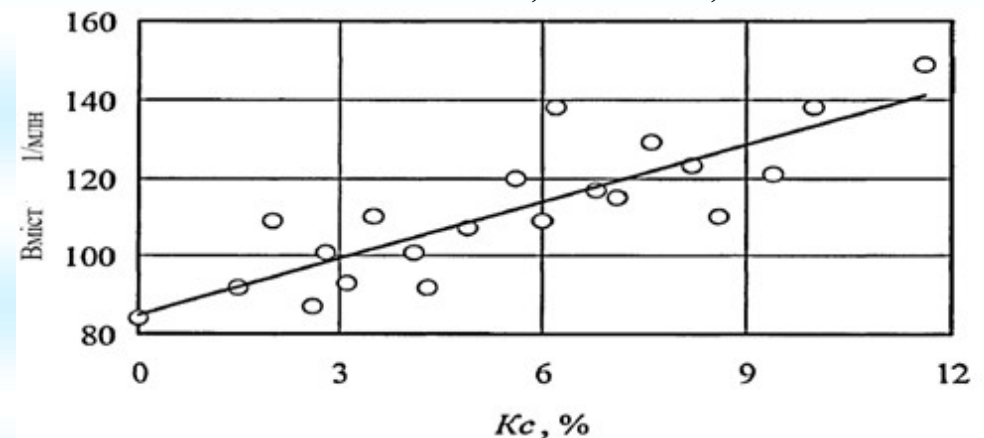


Рисунок 4 – Вміст NO у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу (3200 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $P_{NOx} = 4,85K_c + 84,9$

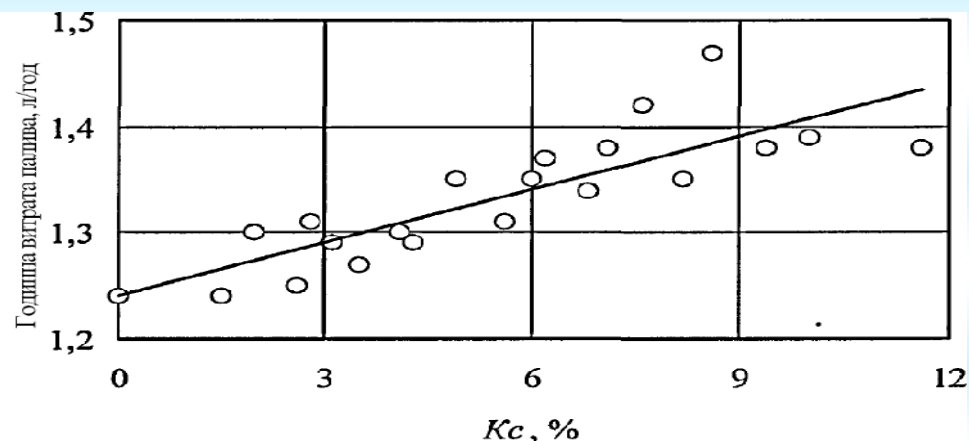


Рисунок 1 – Годинна витрата палива на мінімальних обертах холостого ходу (850 хв^{-1}) в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $П_{GT} = 0,017K_c + 1,24$

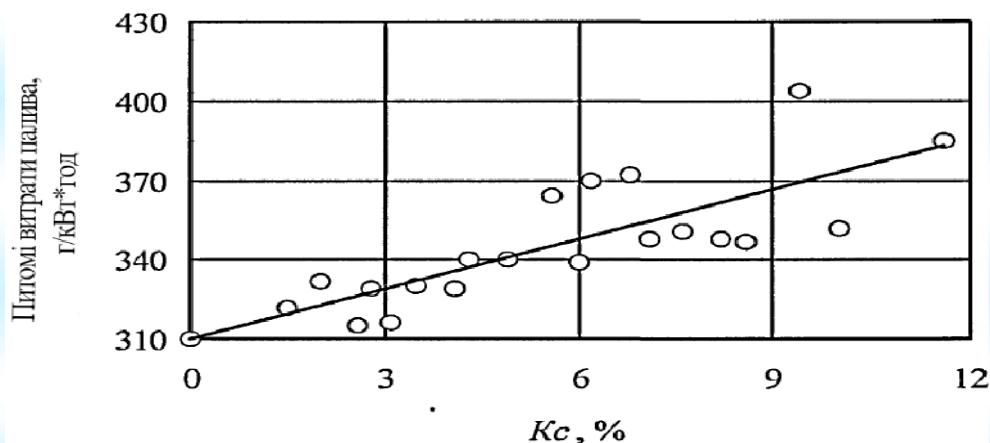


Рисунок 2 – Питома витрата палива при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $П_{GE} = 6,32K_c + 310,0$

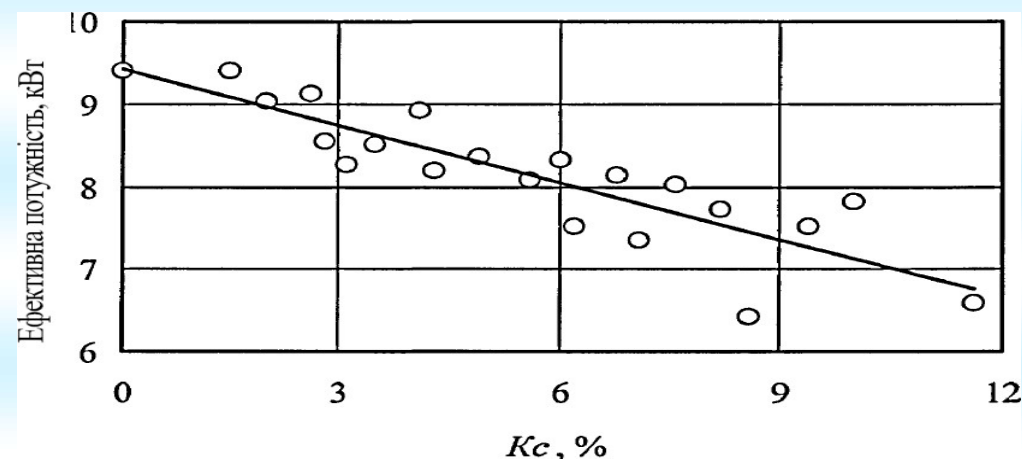


Рисунок 3 – Ефективна потужність двигуна при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25 % в залежності від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $П_{NE} = -0,23K_c + 9,43$

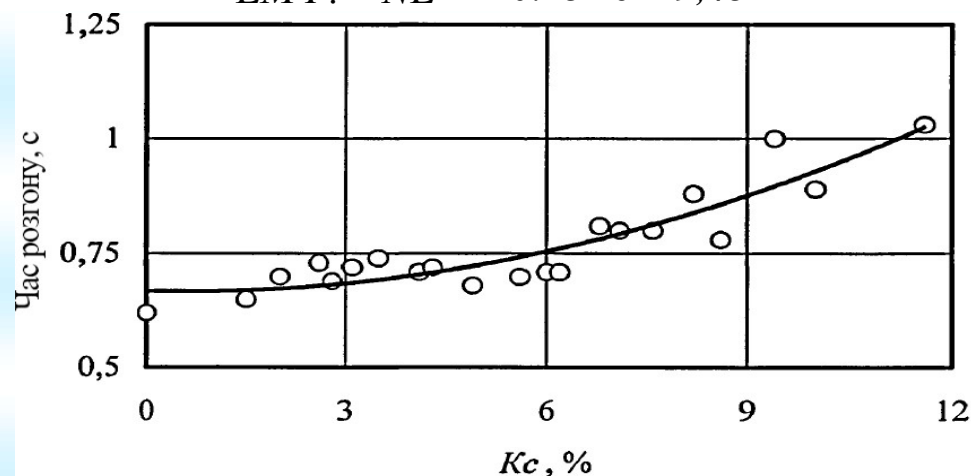


Рисунок 4 – Час розгону двигуна на холостому ході з 2000 до 5000 хв^{-1} залежно від ступеня зменшення прохідного перерізу ЕМФ: $П_{TX} = 0,003K_c + 0,67$

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДІАГНОСТИКИ ЗАБРУДНЕНOSTІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ФОРСУНОК 13

№	Зміст робіт, операцій	Обладнання та інструменти	Технічні вимоги та вказівки
1	Встановити автомобіль на пост діагностики	Місце діагностики	
2	Зафіксувати автомобіль ручним гальмом, підкласти противідкатні упори	Противідкатні упори	
3	Приєднати до глушника шланг для відводу відпрацьованих газів	Шланг відводу відпрацьованих газів	Контроль відведення газів
4	Запустити двигун і прогріти його до робочої температури охолодж. рідини 80-90 ⁰ С		Контроль температури
5	Заглушити двигун		
6	Замінити ДМВП на контрольний		Підключити роз'єм ДМВП до контрольного датчика
7	Підключити тестер ДСТ-2М	Сканер діагностичний Бош КТС-530, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку
8	Увімкнути запалення		
9	Проконтролювати тестером відсутність помилок в КМПСУД, при необхідності очистити наявні помилки	Сканер діагностичний Бош КТС-530	При наявності помилок в КМПСУД необхідний пошук несправностей
10	Запустити двигун		
11	Встановити частоту обертання двигуна дроселем 4000 об/хв	Сканер діагностичний Бош КТС-530	Контроль по FREQ
12	Зняти показники масової витрати повітря JAIR	Сканер діагностичний Бош КТС-530	Витрата повітря визначається по параметру JAIR
13	Заглушити двигун		
14	Замінити контрольний ДМВП на штатний	Викрутка шліцьова	Підключити роз'єм ДМВП до штатного датчика
15	Від'єднати тестер ДСТ-2М	Сканер діагностичний Бош КТС-530, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку

1. Аналіз проведених досліджень та стану питань діагностування, технічного обслуговування та ремонту систем упорскування дизпалива показав, що в даний час відсутні нормативи та рекомендації щодо термінів, змісту та методики робіт з очищення закоксованих дизельних ЕМФ. Існуючі методи діагностування дизельних ЕМФ вимагають дорогого обладнання та значних витрат часу на діагностування. Ці методи не можуть бути рекомендовані для широкого використання при діагностуванні дизельних ЕМФ в експлуатації.

2. Як критерій закоксованих ЕМФ обґрунтовано показник K_c , що враховує зменшення пропускної спроможності дизельних ЕМФ та погіршення якості розпилювання палива, який визначається як ступінь зменшення пропускної спроможності ЕМФ у відсотках. Визначено допустимий рівень закоксованості дизельних ЕМФ ($K_c = 5,53\%$), при якому знижується динаміка розгону автомобіля нижче за допустимі межі. Запропоновано діагностичний параметр закоксованих дизельних ЕМФ – витрата повітря на холостому ході двигуна при частоті обертання 4000 хв^{-1} .

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що в міру забрудненості дизельних ЕМФ (зміна показника K_c від 0 до 12%) відбувається: збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах на мінімальних оборотах холостого ходу з $216,3$ до 333 млн^{-1} (54%); збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах на підвищених оборотах холостого ходу з $84,9$ до 143 млн^{-1} (69%); збільшення годинної витрати палива на мінімальних оборотах холостого ходу з $1,24$ до $1,44 \text{ л/год}$ (16%); збільшення питомої витрати то палива при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% з 310 до 386 г кВт/год (24%); падіння ефективної потужності при частоті обертання колінчастого валу 3000 хв^{-1} і навантаженні 25% з $9,43$ до $6,67 \text{ кВт}$ (29%); прогресивне зростання часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} на холостому ході з $0,67$ до $1,06 \text{ с}$ (59%) та часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} при русі автомобіля на другій передачі з $5,33$ до $9,73$ (83%).

Експериментально отримано залежності витрати повітря двигуном від показника K_c для забруднених та чистих дизельних ЕМФ. В останніх зменшення прохідного перерізу імітувалося зменшенням тривалості упорскування палива.

В умовах експлуатації в помірному кліматі забруднення дизельних ЕМФ прогресивно збільшується зі зростанням пробігу і до 50 тис. км пробігу досягає граничного значення (близько 12%). Опитування водіїв показало, що органолептична оцінка погіршення динамічних властивостей автомобіля має місце при збільшенні часу розгону двигуна з 2000 до 5000 хв^{-1} у русі автомобіля на другій передачі до $6,6 \text{ с}$.

4. Допустиме значення діагностичного параметра закоксованих дизельних ЕМФ (витрата повітря двигуном автомобіля Сітроєн С5 2.0 HDI на холостому ході при частоті обертання колінчастого валу 4000 хв^{-1}) становить $68,5 \text{ кг/год}$ з урахуванням помилки апроксимації експериментальних даних.

Рекомендована періодичність ТО з очищення дизельних ЕМФ для автомобілів СІТРОЄН С5 2.0 HDI, становить для умов України $60-70$ тис. км. При поширенні цих даних на регіони з умовами експлуатації, що відрізняються, виникає необхідність їх коригування або використання методу прогнозування діагностичного параметра до моменту наступного обслуговування.

Розроблена методика підтримки дизельних ЕМФ у справному стані дозволяє підвищити ефективність експлуатації автомобіля. При цьому показники властивостей автомобіля (активної та екологічної безпеки) знаходяться у допустимих межах.