

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу діагностики форсунок
ДЕКА-1D 406.1132711-02 з дослідженням впливу забруднення на експлуатаційні
характеристики автомобіля

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Давидяк Д.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Гевко І.Б.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Левкович М.Г.
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри _____
(підпис) Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Давидяку Денису Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу діагностики форсунок
ДЕКА-1D 406.1132711-02 з дослідженням впливу забруднення на експлуатаційні
характеристики автомобіля

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2023 року № 4/7-1071

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика форсунок ДЕКА-1D 406.1132711-02

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.
4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних
ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Можливі відмови елементів електромагнітного сопла – 1А1. Способи очищення
форсунок – 1А1. Залежності показників експлуатаційних властивостей відступення
забруднення ЕМФ – 1А1. Результати розрахунку показника K_{Ci} та показників
властивостейавтомобіля – 1А1. Схема структурно-наслідкових зв'язків
електромагнітної форсунки – 1А1.

Результати вимірів експериментальних досліджень – 2А1.

Технологічна карта діагностики забрудненості ЕМФ – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	24.11.2023	
2	Технологічний розділ	30.11.2023	
3	Конструкторський розділ	05.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	07.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	14.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	21.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

(підпис)

Давидяк Д.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гевко І.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу діагностики форсунок ДЕКА-1D 406.1132711-02 з дослідженням впливу забруднення на експлуатаційні характеристики автомобіля».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Гевко І.Б.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 68 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 2 сторінки додатків.

Ключові слова: вдосконалення, технологічний процес, діагностика, форсунки, дослідження.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Огляд системи впорскування палива в двигун.....	8
1.2. Можливі причини відмови електромагнітних форсунок.....	12
1.3 ТП діагностики та ТО електромагнітних форсунок.....	14
1.4 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу.....	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Оцінка ступеня погіршення роботи електромагнітних форсунок.....	17
2.3 Вплив забрудненості електромагнітних форсунок роботи двигуна.....	21
2.4 Аналіз впливу ступеня забруднення електромагнітних форсунок на експлуатаційні параметри автомобіля.....	25
2.5 Визначення критерієм діагностики та його припустимого діапазону.....	28
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	32
3.1 Моделювання потоку палива крізь отвори розпилювача.....	32
3.2 Підбір найбільш відповідної геометрії форсунок для інжектора.....	40
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	42
4.1 Експериментальний аналіз впливу забруднених електромагнітних форсунок на об'єм повітря, який споживається двигуном.....	43
4.2 Дослідження впливу забруднення електромагнітних форсунок на робочі характеристики та ефективність автомобіля.....	44
4.3 Аналіз забруднення електромагнітних форсунок під час використання....	48
4.4 Сенсорний аналіз робочої здатності автомобіля в контексті забрудненості електромагнітних форсунок та їх впливу на динамічні характеристики.....	49
4.5 Вивчення стратегії забезпечення ефективної роботи електромагнітних форсунок в умовах тривалої експлуатації.....	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
5.1 Вимоги безпеки до території виробничих і допоміжних приміщень.....	55
5.2 Територія і місця зберігання автомобілів.....	56

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	6
БІБЛІОГРАФІЯ.....	65
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Вдосконалення технологічних процесів у галузі автомобільної промисловості завжди було предметом особливої уваги фахівців. Автомобіль є складним механізмом, який об'єднує в собі численні системи та підсистеми. Однією з ключових частин автомобіля є його топливна система, в серці якої знаходяться форсунки, такі як ДЕКА-1D 406.1132711-02. Ці компоненти відіграють вирішальну роль у забезпеченні ефективної роботи двигуна, визначаючи якість згоряння пального та, відповідно, викиди в атмосферу.

Втім, протягом експлуатації автомобіля, різноманітні фактори, зокрема забруднення пального, можуть впливати на робочі характеристики форсунок і, як результат, на загальні експлуатаційні характеристики автомобіля. Забруднення може викликати зниження продуктивності форсунок, погіршення якості атомізації пального і, як наслідок, зниження ефективності роботи двигуна.

Тому дослідження впливу забруднення на робочі характеристики форсунок ДЕКА-1D 406.1132711-02 і розробка методик їх діагностики та вдосконалення стають актуальними завданнями для спеціалістів. Правильний підхід до цього питання дозволить не тільки продовжити термін служби автомобіля, але й забезпечити більш екологічно чисту експлуатацію, що є особливо важливим у сучасних умовах посилення екологічних вимог.

З урахуванням вищевказаного, метою цього дослідження є вивчення впливу забруднення на експлуатаційні характеристики автомобіля через лінзу діагностики форсунок ДЕКА-1D 406.1132711-02, а також розробка рекомендацій з їх вдосконалення.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд системи впорскуванням палива в двигун

Двигун з розподіленим впорскуванням палива є важливим елементом сучасних автомобілів, який об'єднує передові технологічні рішення з метою підвищення ефективності роботи та зниження викидів шкідливих речовин. Основна особливість такого двигуна полягає у точному дозуванні та впорскуванні палива безпосередньо у циліндри, що дозволяє досягти оптимальних умов згоряння.

Особливості робочого процесу:

Точне впорскування: Допомогає контролювати кількість палива, яке потрапляє в кожен циліндр, забезпечуючи оптимальний режим згоряння.

Зниження втрат палива: Мінімізація втрат палива завдяки тому, що воно впорскується безпосередньо у вогнище згоряння.

Покращення динаміки: Забезпечує швидке реагування на натискання педалі газу.

Щодо надійності силової системи:

Довговічність: Конструкція і матеріали, з яких виготовлені сучасні форсунки та інші компоненти системи впорскування, розраховані на тривалий термін служби.

Автоматична діагностика: Більшість сучасних систем з розподіленим впорскуванням мають вбудовані засоби діагностики, які дозволяють виявляти та попереджувати різні несправності.

Стабільність роботи: Завдяки сучасному управлінню, система з розподіленим впорскуванням забезпечує стабільний робочий процес незалежно від умов експлуатації.

Отже, силова система двигуна з розподіленим впорскуванням палива представляє собою високоефективний та надійний механізм, який поєднує в собі передові технологічні рішення для забезпечення оптимальних робочих характеристик автомобіля.

Особливості робочого процесу і надійність силової системи двигуна на

основі системи живлення аналогічної LH2–Jetronic (рис. 1.1)

Система живлення, аналогічна LH2–Jetronic, є однією з ключових і новаторських систем у сфері автомобільних технологій. LH2–Jetronic представляє собою електронну систему управління впорскуванням палива, яка забезпечує оптимальне дозування та впорскування палива в двигун автомобіля.

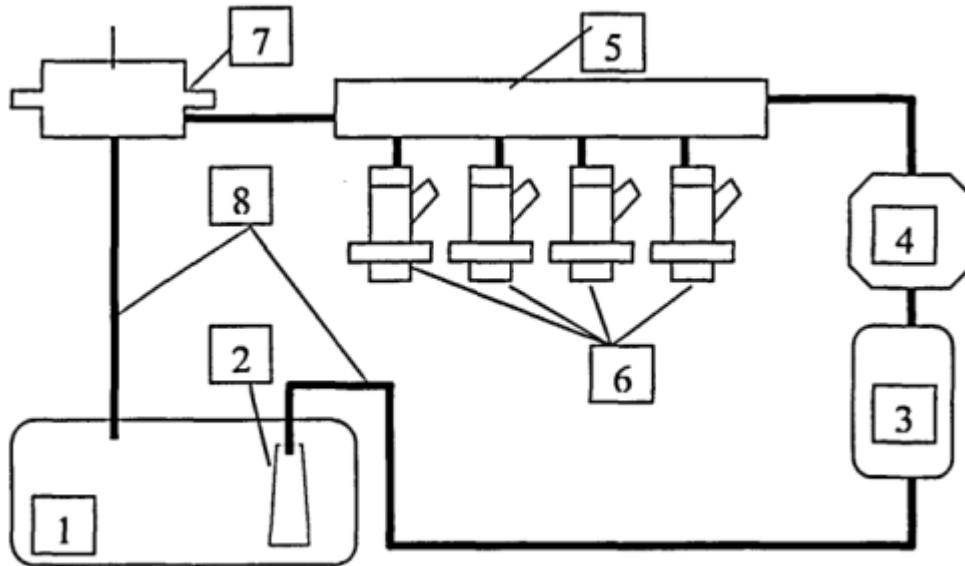


Рис. 1.1. Система живлення двигуна:

1 – паливнийбак; 2 – фільтр грубої очистки; 3 – електричнийбензонасос;
4 – тонкодисперсний фільтрочищенняпалива; 5 – паливнарампа; 6 – насадка;
7 – регулятор тискупалива; 8 – паливопроводи.

Електричний бензиновий насос (ЕБН) є ключовим компонентом більшості сучасних системи живлення автомобілів. Його основна функція - забезпечити потрібний тиск та подачу пального від бака до двигуна. Насоси ЕБН часто використовуються у заміну механічних насосів завдяки їхній ефективності та надійності.

Основні характеристики та особливості ЕБН:

Місцезнаходження: Часто розташований безпосередньо в бензобаці або поряд з ним. Існують внутрішні (занурювані) та зовнішні моделі насосів.

Електричне живлення: Зазвичай працює від 12-вольтової бортової мережі автомобіля.

Регулювання тиску: Багато сучасних насосів мають вбудовані регулятори тиску для забезпечення стабільного тиску пального.

Ефективність: Електричні насоси можуть швидко реагувати на зміни у потребах двигуна, забезпечуючи оптимальну подачу пального.

Проблеми та симптоми несправного ЕБН:

Зниження продуктивності двигуна або його заглохання.

Слабке прискорення.

Непостійна робота на холостому ході.

Неможливість запустити двигун.

Фільтр тонкого очищення палива — це важливий компонент системи живлення будь-якого автомобіля, що служить для вилучення дрібних частки забруднень з пального перед тим, як воно потрапить до форсунок чи карбюратора двигуна.

Основні функції фільтра:

Захист двигуна: Видалення мікроелементів забруднень, таких як пил, рослинні частки, окиси металу і водяні краплі, які можуть завдати шкоди двигуну.

Підтримання якості палива: Забезпечення того, що пальне, яке потрапляє в двигун, відповідає необхідним стандартам якості.

Подовження терміну служби системи впорскування: Зменшення ризику забруднення форсунок і інших компонентів системи впорскування.

Особливості:

Матеріал: Зазвичай виготовлений з високоякісного паперового або синтетичного матеріалу.

Структура: Має пористу структуру, що дозволяє пропускати пальне, але затримувати дрібні частки забруднення.

Розташування: Зазвичай розташований між бензобаком та форсунками двигуна.

Коли потрібна заміна фільтра:

Зменшена продуктивність двигуна.

Підвищений витрат пального.

Проблеми при запуску двигуна.

Відчутний запах пального в салоні автомобіля.

Регулярна перевірка та заміна фільтра тонкого очищення палива є

необхідною для забезпечення ефективної роботи двигуна та збереження його ресурсу. Рекомендується слідкувати за рекомендаціями виробника автомобіля щодо інтервалів заміни фільтра та використовувати якісні компоненти для найкращого результату.

Електромагнітна форсунка є одним із ключових компонентів системи впорскування пального сучасних автомобілів. Вона контролює кількість пального, що потрапляє в циліндри двигуна, та забезпечує оптимальне спалювання.

Принцип роботи:

Електромагнітний клапан: Центральним елементом форсунки є електромагнітний клапан, який відкриває або закриває прохід пального під контролем електронного блоку управління двигуном (ЕБУ).

Керування: ЕБУ визначає, коли та як довго потрібно відкрити форсунку, засновуючись на ряді параметрів, таких як оберти двигуна, температура, навантаження та інші.

Дозування пального: Забезпечує точне дозування пального, що потрібно для кожного циклу роботи двигуна.

Миттєва реакція: Швидко реагує на команди від ЕБУ, що дозволяє забезпечити оптимальне спалювання при різних режимах роботи двигуна.

Тривалий термін служби: З правильним обслуговуванням та якісним паливом може служити довгий час без необхідності заміни.

Проблеми та симптоми несправної форсунки:

Нерівномірний робота двигуна.

Збільшення витрат пального.

Зменшення потужності та динаміки.

Викид чорного диму з вихлопної труби.

Запах пального в салоні автомобіля.

Електромагнітна форсунка відіграє вирішальну роль в системі впорскування пального, впливаючи на ефективність та економічність двигуна. Регулярний огляд та вчасне обслуговування форсунок допоможе забезпечити довгий термін служби двигуна і високу продуктивність автомобіля.

Регулятор тиску палива (РТП) механічного типу є важливим

компонентом системи живлення двигуна, призначеним для забезпечення стабільного та консистентного тиску палива у системі впорскування.

Принцип роботи:

Мембрана: В середині регулятора розташована мембрана, яка реагує на зміни тиску палива.

Протидія: Коли тиску палива стає занадто великим, мембрана рухається, дозволяючи частині пального витікати назад до паливного бака або іншої частини системи.

Постійний тиску: Дія мембрани забезпечує постійний рівень тиску палива у системі впорскування, незалежно від робочих умов двигуна.

Простота конструкції: Має менше рухомих частин порівняно з електронними регуляторами, що знижує ризик збою.

Діапазон регулювання: Зазвичай має обмежений діапазон регулювання тиску порівняно з електронними регуляторами.

Надійність: Завдяки своїй простоті механічний РТП зазвичай відрізняється високою надійністю.

Симптоми несправного РТП:

Нестабільна робота двигуна.

Збільшення витрат пального.

Проблеми при запуску двигуна.

Зниження потужності двигуна.

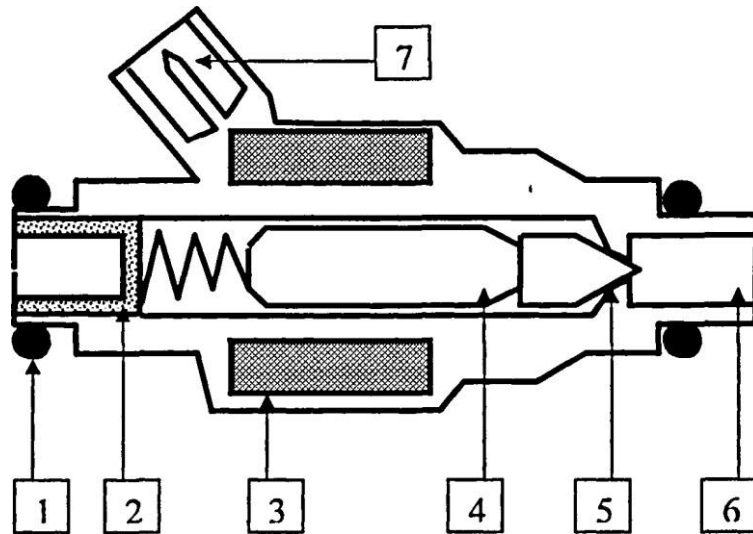
Відсутність реакції двигуна на натискання педалі газу.

Механічний РТП є ключовим компонентом для забезпечення правильної роботи системи впорскування двигуна. Він допомагає підтримувати оптимальний тиск палива, що забезпечує ефективне спалювання і оптимальну роботу двигуна. Несправний РТП може призвести до ряду проблем з двигуном, тому важливо регулярно перевіряти його стан і, при необхідності, проводити заміну.

1.2 Можливі причини відмови електромагнітних форсунок

Електромагнітні форсунки (рис. 1.2) є важливими елементами системи

впорскування палива. Якщо вони не працюють належним чином, це може призвести до порушень роботи двигуна та інших проблем.



1.2. Будова сопла:

1 – кільце ущільнювача; 2 – фільтруюча сітка; 3 – обмотка електромагніту;
4 – магнітний кір; 5 – голчастий клапан; 6 – пульверизатор; 7 – електричний роз'єм.

Розглянемо деякі можливі причини відмови їх елементів:

Забруднення (рис. 1.3.):



Рис. 1.3. Форсунки:

зліва – забруднені смолистими відкладеннями; праворуч – післяочищення,
(пробіг автомобіля – 42000 км)

Форсунки можуть стати забрудненими частинками палива, водою або іншими домішками.

Забруднені форсунки можуть не відкриватися або закриватися належним чином, що призведе до порушення дозування пального.

Електричні проблеми:

Пошкодження проводів або контактів може призвести до відмови електромагнітного клапана форсунки.

Відсутність потужності на форсунці може запобігти її відкриттю.

Механічні пошкодження:

Надмірний тиск палива або використання палива невідповідної якості може призвести до преждевременного зносу компонентів форсунки.

Пошкодження герметичності може призвести до витoku пального.

Корозія:

Проникнення води в систему пального живлення може призвести до корозії внутрішніх компонентів форсунки.

Відкладення в системі:

З часом у форсунках можуть утворюватися відкладення, які впливають на їх роботу, зокрема, зменшують точність дозування пального.

Пошкодження мембрани або пружини:

Ці компоненти відповідають за рух елементів форсунки. Якщо вони пошкоджені або зношені, форсунка може не працювати правильно.

При виникненні проблем із електромагнітними форсунками необхідно провести їх діагностику для визначення причини відмови. Це допоможе своєчасно вирішити проблему та запобігти подальшим збоям у роботі двигуна.

1.3 ТП діагностики та ТО електромагнітних форсунок

Розглянемо методи діагностики форсунок а саме:

Візуальний огляд:

Найпростіший метод. Виявляє наявність фізичних пошкоджень, витоків пального чи корозії.

Вимірювання опору форсунки:

Використовуючи мультиметр, можна виміряти опір кожної форсунки для визначення її стану. Ненормальні показники опору можуть вказувати на електричні проблеми.

Тест впорскування палива: За допомогою спеціалізованого обладнання

можна перевірити, наскільки ефективно форсунка розпилює паливо.

Діагностика за допомогою сканера ECU:

Сучасні автомобілі мають систему управління двигуном (ECU), яка може реєструвати коди помилок, пов'язані з форсунками.

Тест тиску: Визначення тиску палива в системі впорскування може вказувати на проблеми з форсунками або іншими компонентами системи.

Ультразвукова очистка та тестування:

Форсунки можуть бути видалені та очищені ультразвуком, після чого їх можна протестувати на правильну роботу.

Аналіз вихлопних газів: Зміни в складі вихлопних газів можуть вказувати на неправильну роботу форсунок.

1.4 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

З урахуванням розширення і модернізації автомобільних технологій діагностика електромагнітних форсунок (ЕМФ) стає все більш актуальною. Однак, не всі методи діагностування є оптимальними та відповіддю на потреби сучасних автомобільних систем.

Деякі сучасні методи, наприклад, ультразвукова очистка та тестування чи використання дорогого діагностичного обладнання, хоча й забезпечують точну інформацію про стан ЕМФ, можуть бути недоступними для багатьох автосервісів або власників автомобілів через велику вартість такого обладнання та тривалий час проведення діагностики.

З іншого боку, є методи, які спрямовані на швидке виявлення забрудненості форсунок. Проте, такі методи часто визначають лише деякі параметри роботи форсунок і можуть ігнорувати інші важливі фактори, такі як зміни в складі вихлопних газів чи тиску палива в системі. Це може призвести до неточності в діагностиці та рекомендаціях щодо подальшої експлуатації або ремонту.

Таким чином, важливо розуміти обмеження кожного методу та обирати такий підхід до діагностики ЕМФ, який найкраще відповідає конкретній ситуації, можливостям та потребам автосервісу або власника автомобіля.

Необхідно працювати над створенням нових, більш ефективних та доступних методів діагностики, які б дозволяли комплексно аналізувати стан ЕМФ та вчасно виявляти проблеми.

Отже, для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні завдання:

Аналіз критеріїв оцінки забруднення ЕМФ: Необхідно розглянути теоретичні аспекти оцінки забрудненості форсунок. Це включає розробку або адаптацію математичної моделі автомобіля, яка дозволить розраховувати показники тягово-швидкісних характеристик і паливної економічності залежно від ступеня забрудненості ЕМФ. Важливим етапом є визначення допустимого рівня забрудненості ЕМФ, а також вибір параметра, за яким буде проводитися діагностика стану ЕМФ.

Експериментальне дослідження: Після теоретичних розрахунків необхідно провести ряд експериментів. Спочатку варто отримати експериментальні дані про залежність робочих характеристик автомобіля від ступеня забрудненості ЕМФ. Це дозволить зрозуміти, наскільки сильно забруднені форсунки впливають на роботу двигуна. Далі важливо встановити кореляцію між ступенем забрудненості ЕМФ і пробігом автомобіля, щоб зрозуміти, як з часом змінюється ефективність форсунок.

Встановлення періодичності технічного обслуговування (ТО): За результатами аналізу впливу забрудненості на ефективність роботи ЕМФ слід визначити оптимальну періодичність ТО. Це дозволить своєчасно виявляти та усувати проблеми, що виникають у процесі експлуатації.

Розробка методики підтримки робочого стану ЕМФ: На основі отриманих даних потрібно розробити систематизовану методику, яка б охоплювала рекомендації по діагностиці, чистці, заміні та інших дій, спрямованих на підтримку оптимального стану ЕМФ. Ця методика буде корисною як для сервісних інженерів, так і для власників автомобілів, бажаючих забезпечити надійну роботу своєї техніки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Оцінка ступеня погіршення роботи електромагнітних форсунок

Під час роботи двигуна ЗМЗ–4062.10 система управління паливом працює за певною схемою, зображеною на рис. 2.1. Електронний блок керування постійно аналізує дані від різних датчиків. Якщо ці дані відповідають стандартам, блок керування забезпечує оптимальне споживання палива, виходячи із зазначеного коефіцієнта. Він також визначає час впорскування палива.

При регулюванні тиску палива до визначеного рівня регулятором, важливо, щоб кількість палива, що потрапляє в циліндр, відповідала запланованій для цього циклу.

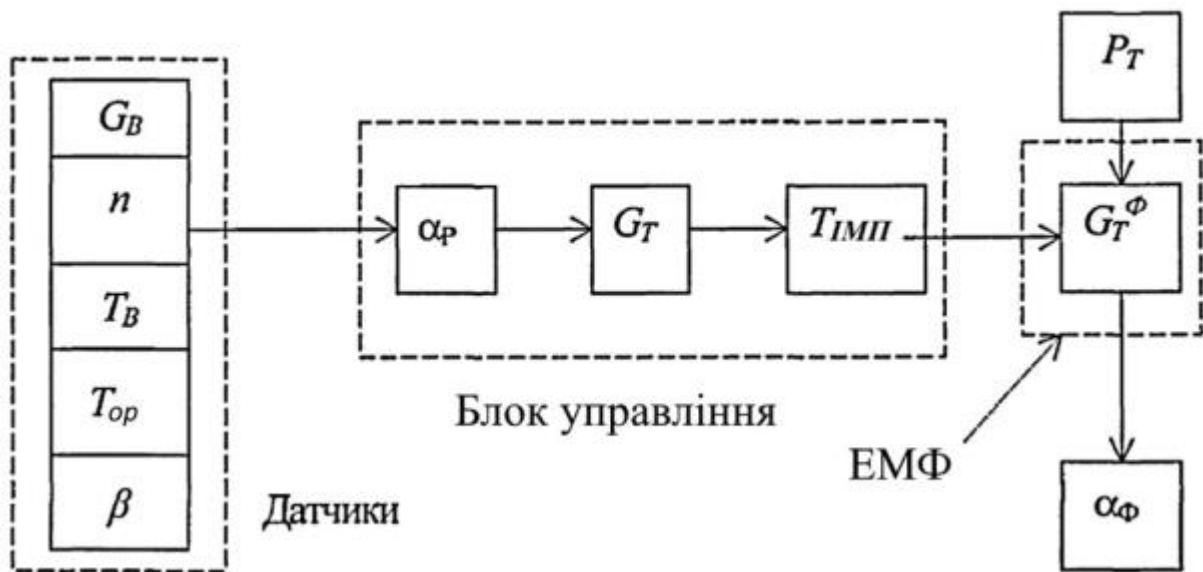


Рис. 2.1. Система впорскування палива двигуна ЗМЗ–4062.10 існує специфічний механізм передачі даних, який забезпечує ефективне управління роботою двигуна.

В управлінському блоку є можливість ручної настройки тривалості впорскування електромагнітних форсунок T_{iMP} з використанням приладу ДСТ–2. Це забезпечує точне налаштування паливоповітряної суміші як при мінімальних обертах, так і при середніх навантаженнях двигуна.

Смолисті відклади на внутрішній стороні електромеханічної форсунки обмежують його пропускну здатність, через що за заданий час $T_{\text{імп}}$ подається менше палива. Це веде до некоректної роботи системи і зміни коефіцієнта $\alpha\Phi$. Додатково, ці відклади можуть змінювати форму розпиленого палива, порушуючи ідеальний факел розпилювання. Ці фактори спричиняють невдале змішування палива з повітрям, що призводить до неповного його згоряння. У результаті цього може знизитися ефективність роботи двигуна, погіршуються його характеристики та екологічні показники.

Отже, робота двигуна зі забрудненими ЕМФ стає менш ефективною через два ключові аспекти:

Обмежена пропускну здатність ЕМФ, що призводить до вищого коефіцієнта надлишку повітря.

Втрата оптимального розпилювання палива через забруднення.

Отже, для врахування цих двох аспектів рекомендується користуватися такими показниками:

$$K_C = \frac{Q_C - Q_3}{Q_C} 100\% \quad (2.1)$$

Цей індикатор варіюється в діапазоні від 0 до 100%. Де 0% символізує ідеальну роботу чистої електромеханічної форсунки, а 100% вказує на критичне забруднення, яке блокує подачу палива. У реальних умовах, якщо значення K_C досягає 10-12% (тобто коли електромеханічна форсунка втрачає 10-12% своєї пропускну здатності), ефективність двигуна суттєво знижується.

K_P – це індикатор, який відображає зміни у якості розпилення палива через електромеханічну форсунку. Його значення може коливатися в межах від 0 до 100%. Де 0% символізує оптимальне розпилювання палива незабрудненою електромеханічною форсункою, а 100% вказує на ситуацію, коли розпилювання відсутнє і паливо подається в формі струменя.

Під час використання автомобіля, з часом показники забруднення електромеханічної форсунки будуть неуклонно зростати. Існують теоретичні сценарії, де забруднення впливає лише на одну з функцій електромеханічної форсунки: або обмежує пропускну спроможність без впливу на розпилювання

($K_C \neq 0, K_P = 0$) або погіршує розпилювання, не зачіпаючи пропускність ($K_C = 0, K_P \neq 0$). Однак у реальних умовах ці дві проблеми зазвичай з'являються одночасно: забруднення обмежує пропускну здатність і одночасно зменшує якість розпилювання палива.

Коли двигун працює ідеально та форсунки є чистими, при певних параметрах роботи (M_{KP} та n) двигун споживає встановлену кількість повітря G_{Γ} , коригуючись за допомогою дросельної заслінки (β). Це веде до певних показників потужності та витрат палива. Але коли форсунки забруднені, двигуну потрібно більше зусиль для забезпечення того ж рівня роботи. Відповідно, дросельну заслінку треба більше відкривати (на $\Delta\beta$), що збільшує споживане повітря. Але, через забрудненість електромагнітних форсунок, їхня ефективність спадає. Тому, якщо приріст споживаного повітря перевищує зниження ефективності електромагнітних форсунок, це призведе до збільшення витрат палива. Така динаміка може бути зображена на графічних діаграмах (наприклад, рис. 2.1).

$$G_{T.гр} = G_T \left(\frac{\Delta G_B}{G_B} + 1 \right) \left(1 - \frac{K_C}{100} \right) \quad (2.2)$$

$$g_{e.гр} = g_e \left(\frac{\Delta G_B}{G_B} + 1 \right) \left(1 - \frac{K_C}{100} \right) \quad (2.3)$$

Отже, забруднення електромагнітних форсунок призводить до збільшення потреби двигуна в повітрі та корекції дросельної заслінки на визначеному рівні дії. Це підкреслює наявність взаємозв'язків і залежностей в системі роботи двигуна.

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

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

Отже, з урахуванням певних умов експлуатації, припускається, що показники K_C та K_P корелюють між собою. Це означає, що при будь-якому зниженні продуктивності електромагнітних форсунок відбудеться аналогічне погіршення в якості розпилення палива.

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

Отже, встановлення взаємозв'язку між показниками K_C та K_P відбувалося не лише на словах, а й за допомогою практичних дослідів. Для цього, при визначеному режимі роботи двигуна, були проведені порівняльні вимірювання для забруднених форсунок та для чистих форсунок, у яких штучно імітувалося зниження їхньої продуктивності. Це дозволило з'ясувати, наскільки показник K_C впливає на роботу двигуна в реальних умовах.

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

В результаті досліджень було встановлено конкретні взаємозв'язки між витратою повітря двигуном і станом форсунок. Для забруднених форсунок було виявлено певні відхилення в показниках витрати повітря, що відрізнялося від ідеальних умов чистих форсунок. Ці залежності підтвердили важливість систематичного контролю та обслуговування системи подачі палива для забезпечення оптимальної роботи двигуна.

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

У процесі досліджень було виявлено різницю в показниках витрати повітря двигуном для забруднених форсунок у порівнянні з чистими форсунками, у яких була імітована зменшена пропускна спроможність. Ці результати підкреслюють значущість постійного моніторингу та обслуговування системи подачі палива, щоб забезпечити ефективність і довговічність роботи двигуна.

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

У результаті дослідження було встановлено, що як для забруднених форсунок, так і для чистих із імітованою втратою пропускної спроможності, залежності є лінійними. Це означає, що незалежно від рівня забруднення (K_C) функційні показники зростають у сталому співвідношенні. Така консистентність вказує на взаємозв'язок між забрудненням та ефективністю роботи двигуна.

$$\frac{\Delta G_{B,гр}}{\Delta G_{B,c}} = const \quad (2.10)$$

Отже, у зв'язку з тим, що вимірювання показника K_p є складним процесом, а показник K_c легко визначити і відображає стан забруднення електромагнітних форсунок, рекомендується використовувати лише K_c як головний індикатор стану електромагнітних форсунок. Крім того, через тісний взаємозв'язок з пробігом автомобіля, показник K_c може служити ефективним інструментом для прогнозування та планування обслуговування електромагнітних форсунок на основі даних про пробіг.

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

2.3 Вплив забрудненості електромагнітних форсунок роботи двигуна

Отже, при визначенні ключових параметрів, які відображають вплив забрудненості ЕМФ на екологічний стан та роботу двигуна, важливо вибрати конкретні показники токсичності та оперативних характеристик. Встановлення їх нормативних значень дозволить контролювати та підтримувати оптимальний рівень ефективності та безпеки роботи автомобільного двигуна.

Отже, вплив забрудненості ЕМФ на автомобіль можна охарактеризувати наступним чином:

Вплив на довкілля: збільшення токсичних емісій в атмосферу;

Зміна динамічних характеристик: потенційне зниження відгуку та швидкості руху автомобіля;

Економіка палива: зростання витрат палива через менш ефективну роботу двигуна.

Вплив на довкілля від відпрацьованих газів двигуна може бути визначений за допомогою таких показників:

Концентрація окису вуглецю (CO) при низьких оборотах двигуна: об'ємна частка, %;

Концентрація окису вуглецю (CO) при високих оборотах двигуна: об'ємна частка, %;

Загальний вміст вуглеводнів (CH) при низьких оборотах: об'ємна частка, млн-1;

Загальний вміст вуглеводнів (СН) при високих оборотах: об'ємна частка, млн–1.

Ці показники допомагають визначити ступінь впливу автомобіля на навколишнє середовище з точки зору забруднення повітря.

Динамічні характеристики автомобіля можна визначити за допомогою наступних ключових показників:

верхній ліміт швидкості, км/год;

динаміка розгону, м/с^2 .

Ключові показники ефективності використання палива включають наступне:

середнє споживання палива при швидкостях 90 та 120 км/год, л/100км;

споживання палива при дальньому русі, л/100 км (див. рис. 2.2);

споживання палива у міських умовах, л/100 км (див. рис. 2.3);

характеристика витрати палива під час руху з постійною швидкістю.

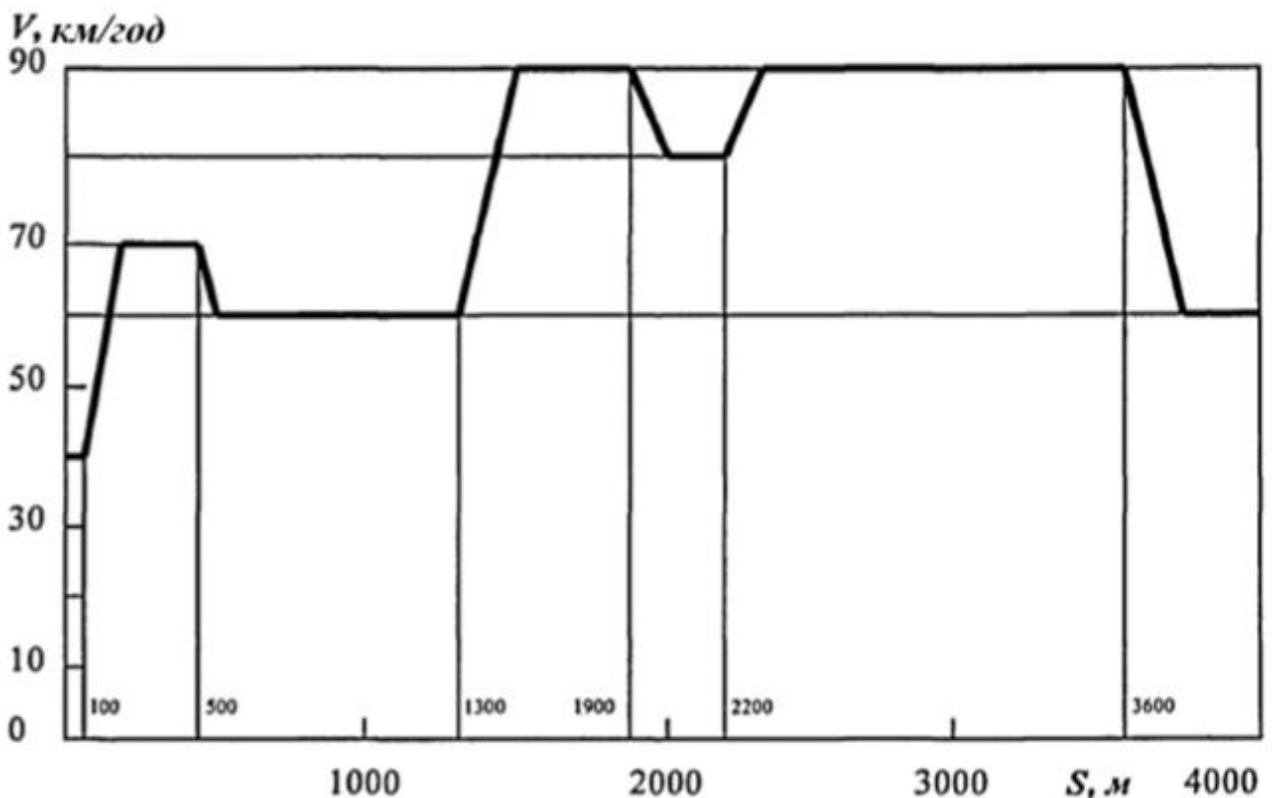


Рис. 2.2. План дорожнього магістрального циклу для транспортних засобів з максимальною вагою до 3,5 тонн.

Деякі із згаданих показників встановлені за стандартами, тоді як інші – не мають чітких норм. Екологічні стандарти визначають, наскільки транспортний

засіб є безпечним для довкілля. Ці критерії дуже строгі, і під час експлуатації автомобіля вони мають залишатися в межах цих норм.

$V, \text{ км/год}$

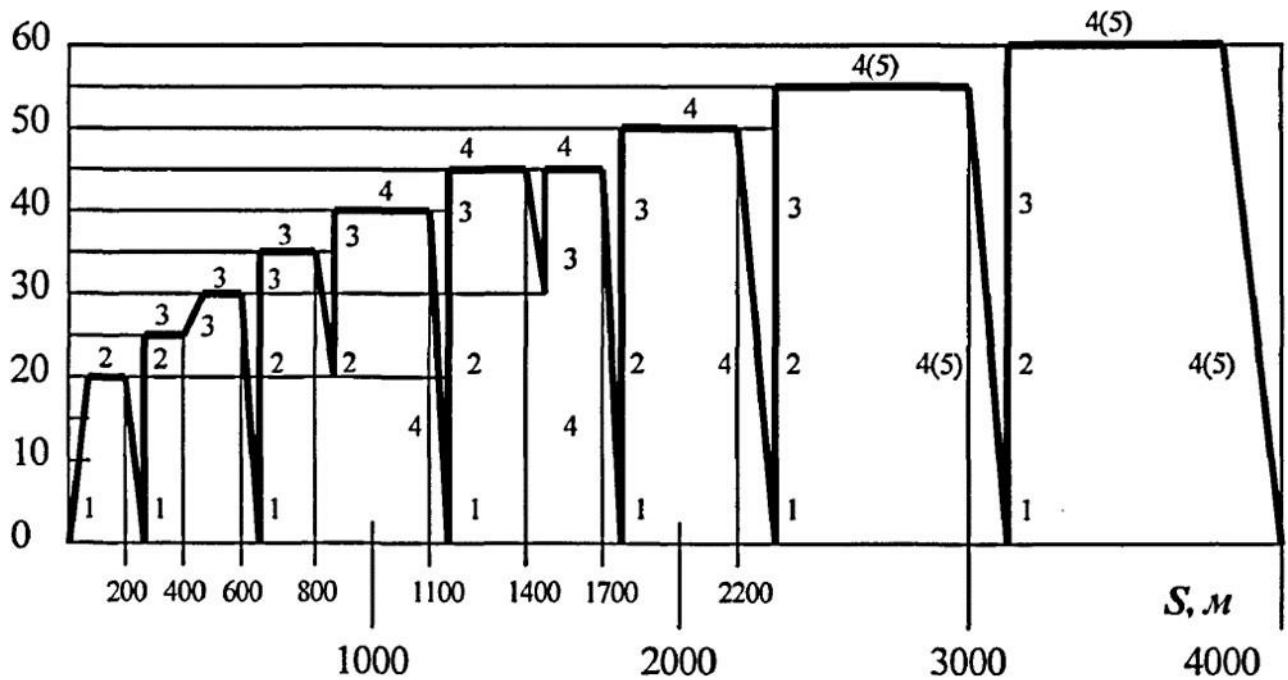


Рис. 2.3. Графік міського руху для автомобілів з максимальною вагою до 3,5 тонн на дорожніх умовах.

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

Показник динаміки автомобіля, хоч і не підлягають чіткій нормативній регламентації під час експлуатації, відіграють ключову роль у гарантії активної безпеки на дорозі. Час відгуку автомобіля при руху, зокрема його прискорювальна спроможність, може бути вирішальним у критичних ситуаціях. Втрата прискорювальної динаміки, а також нестабільна робота двигуна може підвищити ризик аварій на дорогах.

Показник споживання палива, хоч і не мають чітких обмежень під час регулярного використання автомобіля, мають велике значення для економічної ефективності його експлуатації. Норми споживання палива розроблені зокрема для оптимізації обліку та контролю витрат підприємствами та організаціями. При цьому визначення реального споживання палива з урахуванням роботи і стану ЕМФ є актуальним для визначення ефективності автомобіля та можливих додаткових витрат під час його експлуатації.

Для глибшого аналізу та отримання всебічної картини щодо характеристик автомобіля, до основних показників були додані додаткові

параметри. В результаті було сформовано розширений список характеристик машини, а також встановлено критерії та межі для кожного з них, які представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Параметри характеристик автомобіля та їх нормативні величини.

№	Показники властивостей автомобіля	Допустимі значення	Спосіб визначення
Екологічні			
1.	Вміст СО у відпрацьованих газах на мінімальних обертах холостого ходу, %	0,8	Експериментально
2.	Вміст СО у відпрацьованих газах на підвищених обертах холостого ходу (3200 об/хв), %	2,0	Експериментально
3.	Вміст СН у відпрацьованих газах на мінімальних обертах холостого ходу, млн ⁻¹	1200	Експериментально
4.	Вміст СН у газах, що відпрацьовали, на підвищених обертах холостого ходу (3200 об/хв), млн ⁻¹	600	Експериментально
Тягово-швидкісні			
5.	Максимальна швидкість, км/год.	В експл. 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 холостому ході, с	0,75	Експериментально
8.	Ефективна потужність при 3000 об/хв і ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, кВт	Не нормується	Експериментально
Паливна економічність			
9.	Контрольна витрата палива на швидкостях 90 і 120 км/год, л/100км	В експл. не нормується	Розрахунком
10.	Витрата палива в магістральному циклі на дорозі, л/100 км	В експл. не нормується	Розрахунком
11.	Витрата палива у міському циклі на дорозі, л/100 км	В експл. не нормується	Розрахунком
12.	Паливна характеристика сталого руху	В експл. не нормується	Розрахунком

Продовження таблиці 2.1			
№	Показники властивостей автомобіля	Допустимі значення	Спосіб визначення
13.	Годинна витрата палива на мінімальних оборотах холостого ходу, л/год	Не нормується	Експериментально
14.	Питома витрата палива при 3000 об/хв та ступеня відкриття дросельної заслінки 25%, г/кВт год	Не нормується	Експериментально

2.4 Аналіз впливу ступеня забруднення електромагнітних форсунок на експлуатаційні параметри автомобіля

Параметри 1-4, 6, 7, 8, 13, 14 (згідно таблиці 2.1) отримувалися через експериментальний метод. Для показників 5, 6, 9-12 застосовувалася математична модель автомобіля для їх визначення.

Дослідження залежності максимальної швидкості від рівня забрудненості ЕМФ ілюстровано на графіку 2.4.

Діаграма 2.5 демонструє залежність часу розгону двигуна в діапазоні від 2000 до 5000 об/хв на другій передачі від ступеня забрудненості електромагнітних форсунок.

Графіки 2.6 і 2.7 відображають контрольні витрати палива на швидкостях 90 та 120 км/год залежно від забрудненості електромагнітних форсунок.

На малюнках 2.8 і 2.9 представлено результати аналізу витрат палива в магістральному та міському циклах відповідно до ступеня забрудненості електромагнітних форсунок.

Залежність паливної характеристики від умов експлуатації автомобіля при різних рівнях забрудненості електромагнітних форсунок ілюстровано на графіку 2.10.

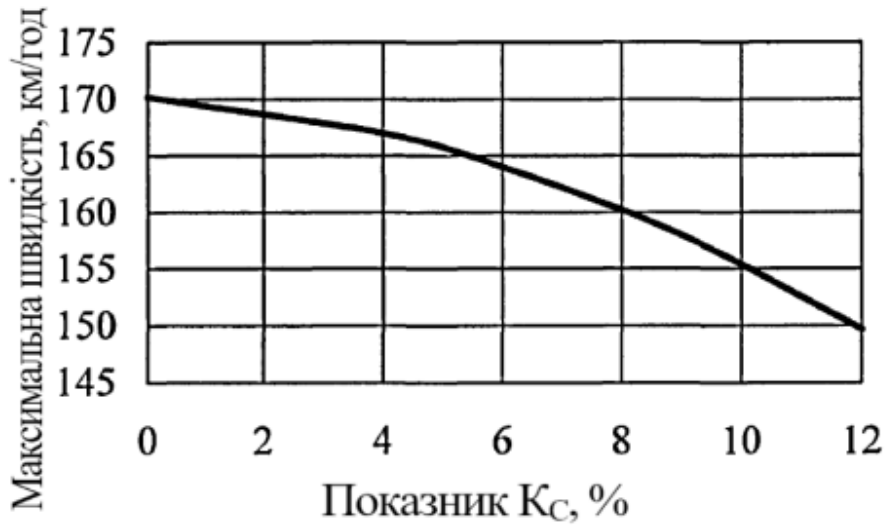


Рис. 2.4. Аналітична модель залежності максимальної швидкості авто моделі ГАЗ-3110 в контексті рівня забруднення електромагнітних форсунок.



Рис. 2.5. Модельна діаграма впливу забрудненості ЕМФ на час розгону двигуна в діапазоні від 2000 до 5000 об/хв при використанні другої передачі.

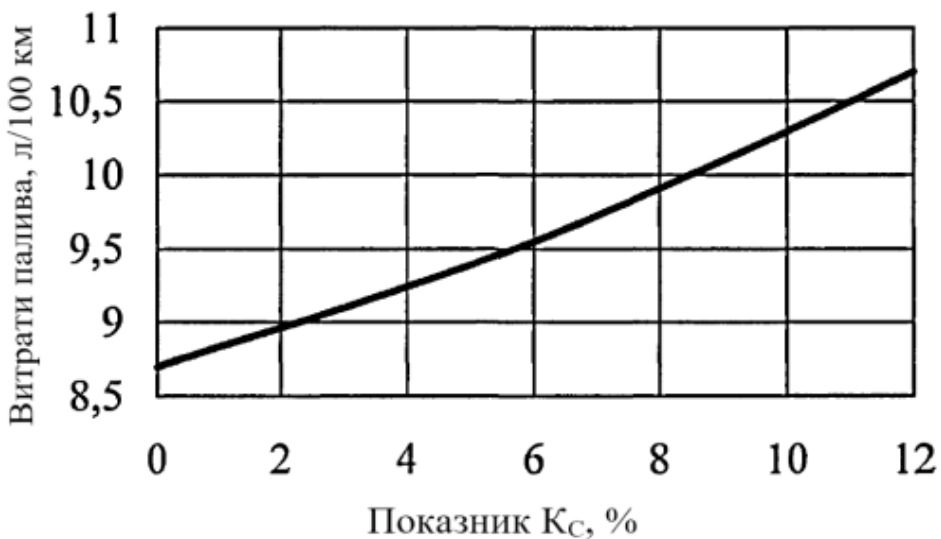


Рис. 2.6. Аналітичний графік впливу забрудненості електромагнітних форсунок на витрати палива при швидкості 90 км/год.

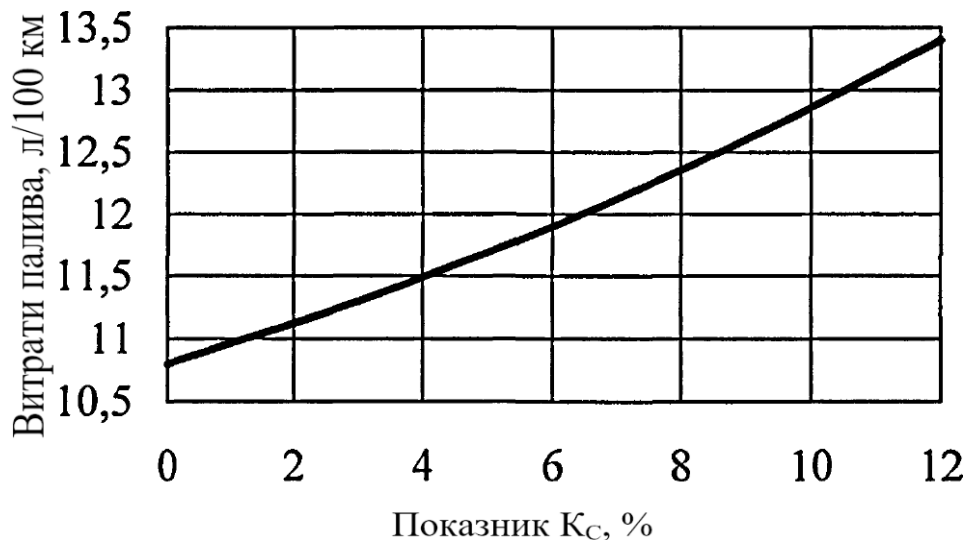


Рис. 2.7. Аналіз впливу забрудненості електромагнітних форсунок на споживання палива при русі зі швидкістю 120 км/год.

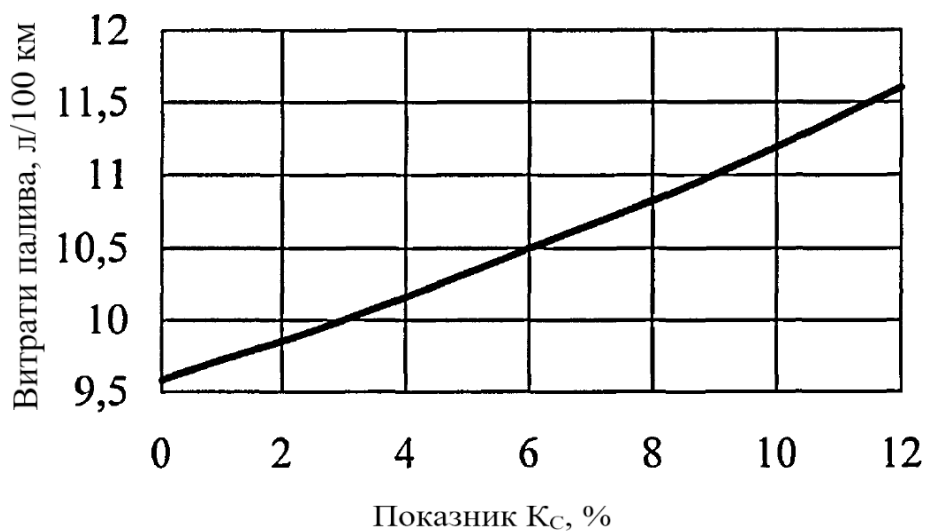


Рис. 2.8. Аналіз впливу ступеня забрудненості електромагнітних форсунок на паливну ефективність під час магістрального руху.

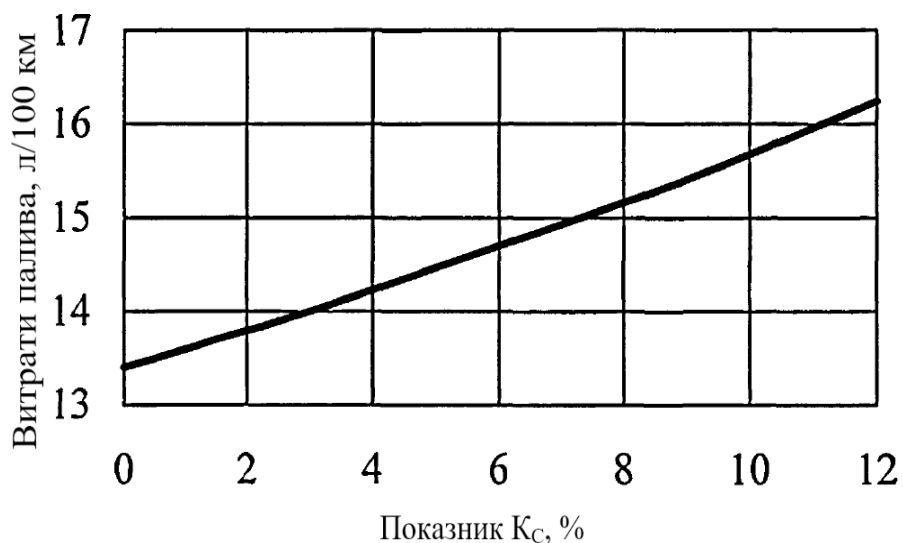


Рис. 2.9. Аналіз впливу забрудненості електромагнітних форсунок на споживання палива під час міських поїздок

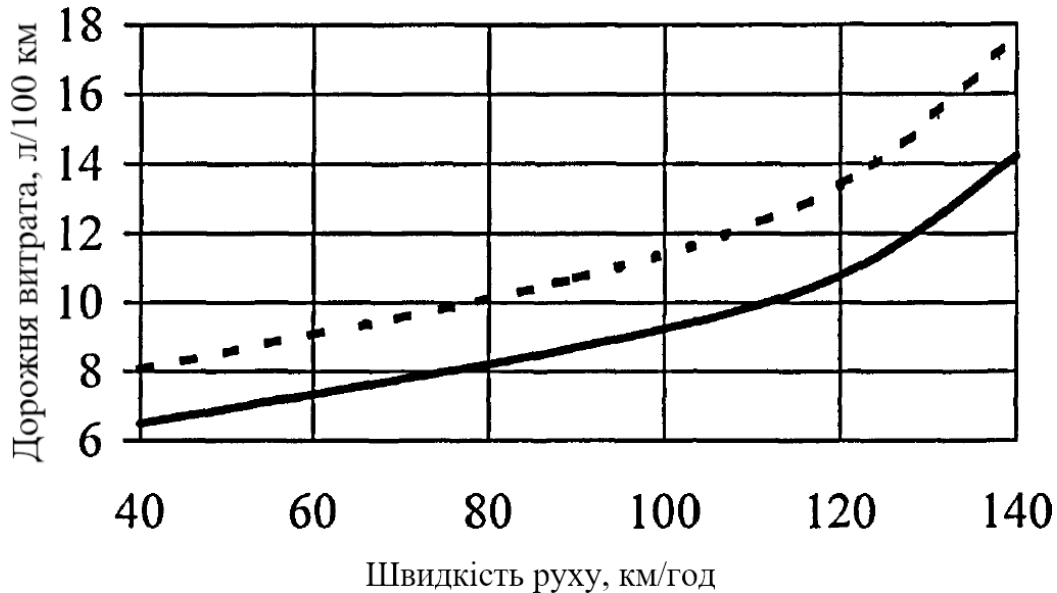


Рис. 2.10. Аналітична оцінка споживання палива автомобілем ГАЗ-3110: порівняння чистих та забруднених електромагнітних форсунок (з забрудненням на рівні 12%) на графіках з суцільною та пунктирною лініями відповідно.

2.5 Визначення критерієм діагностики та його припустимого діапазону

Визначення діагностичних показників для аналізу технічного стану автомобільних засобів базується на рекомендаціях державних стандартів та інших регулятивних документів.

У реферованих нормативних документах відсутні критерії для оцінки компонентів системи впорскування палива. Визначення ключових параметрів системи впорскування слугує базовою інформацією для вибору відповідних діагностичних показників.

Щоб з'ясувати взаємозв'язки між структурними та діагностичними показниками, формуються схеми структурно-послідовних відносин.

Методика виявлення та вирішення проблем у системі діагностики базується на послідовному аналізі компонентів: від загальних агрегатів до конкретних діагностичних параметрів (див. рисунок 2.11). Ось як цей процес розкладається:

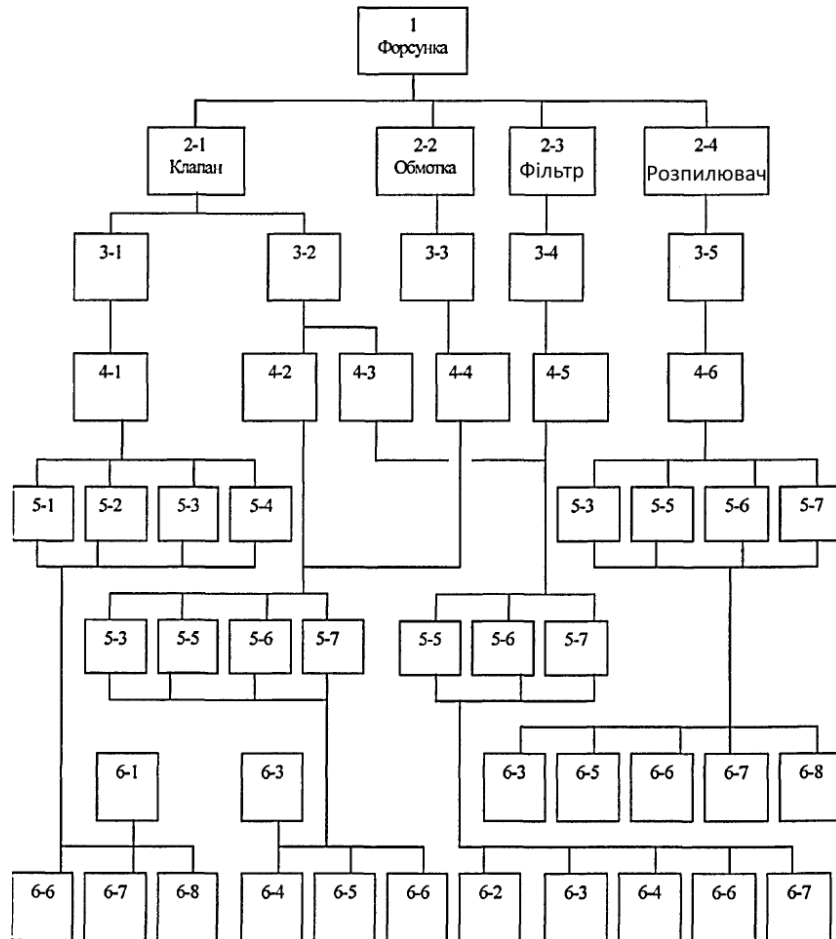


Рис. 2.11. Діаграма взаємодії елементів електромагнітної форсунки на основі структурно-послідовних відносин:

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 – зазбруднення 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 закрит у форсунку; 6 - 2 – збільшення вмісту оксидів азоту (NOx); 6 - 3 – час розгону двигуна у режимі вільного прискорення (тп, txx); 6 - 4 – статична пропускна здатність ЕМФ (Qст); 6 - 5 – контрольна витрата палива (Qs); 6 - 6 – витрата повітря в певному режимі (GB); 6 - 7 – збільшення вмісту окису вуглецю (CO); 6 - 8 – збільшення вмісту вуглеводнів (CH)

1. Верхній рівень: Аналізуємо основні компоненти діагностованої системи. У контексті нашого прикладу це система електромагнітних форсунок.
2. Складові частини: Розглядаємо основні елементи і вузли, що часто мають відхилення у своїх структурних параметрах під час експлуатації.
3. Структурні параметри: Визначаємо ключові параметри, які можуть свідчити про проблеми в системі, базуючись на взаємодії елементів та їх надійності.
4. Можливі проблеми: Спроба ідентифікувати потенційні несправності на основі відхилень у структурних параметрах.
5. Зовнішні симптоми: Вивчаємо зовнішні прояви несправностей, які можна спостерігати без детального аналізу.
6. Діагностичні параметри: Остаточний вибір параметрів, які найкраще відображають стан системи і можуть використовуватися для її діагностики.

Зокрема, частими проблемами в системі електромагнітних форсунок може бути забруднення її різних компонентів, що впливає на якість розпилювання палива. Щоб виявити такі проблеми, можна звертатися до ряду діагностичних параметрів, таких як вміст оксидів азоту, час розгону двигуна, статична пропускна здатність електромагнітних форсунок та інші.

Інформація щодо відповідності обраних параметрів стандартам діагностичних критеріїв представлена у таблиці 2.2.

З таблиці 2.2 видно, що найкраще відповідає критеріям параметр G_B . Щодо вмісту NO_x у відпрацьованих газах, процедура його аналізу є складною через обмежену доступність відповідних газоаналізаторів. Існує багато зовнішніх чинників, що впливають на час розгону двигуна, таких як якість палива і стан системи запалювання. Аналіз статичної пропускної здібності електромагнітних форсунок вимагає відключення його від авто, що є трудомістким. Основний аналіз газів, таких як CO і CH, є простим, але потребує спеціалізованого обладнання. Хоча визначення контрольної витрати палива є інформативним, воно також потребує спеціальних засобів. Показник витрати повітря двигуном може бути корисним, але на нього впливають різні зовнішні фактори. Проте цей параметр має перевагу, оскільки не потребує демонтажу електромагнітних форсунок, що зменшує час діагностики.

Таблиця 2.2. Аналіз характеристик діагностичних параметрів.

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

На основі аналізу рекомендовано застосовувати витрату повітря двигуном на режимі холостого ходу при 4000 об/хв як ключовий діагностичний показник для оцінки забрудненості ЕМФ. Згідно формули (2.8), нормативне значення цього параметра, не враховуючи потенційні відхилення внаслідок невідомих помилок, становить 74 кг/год.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання потоку палива крізь отвори розпилювача

Аналіз потоку палива через отвір інжектора з декількома дірками може бути корелюваний із швидкістю потоку, отриманою з використанням референсного отвору, такого як невеликий отвір (див. рис. 3.1). Обсяг палива q_{mi} , що проходить крізь розпилювальний отвір, аналогічно до контрольного отвору або форсунки, розраховується за допомогою відповідного рівняння.

$$q_{mi} = \mu_r \varepsilon A_r \sqrt{2\Delta p \rho} \quad (3.1)$$

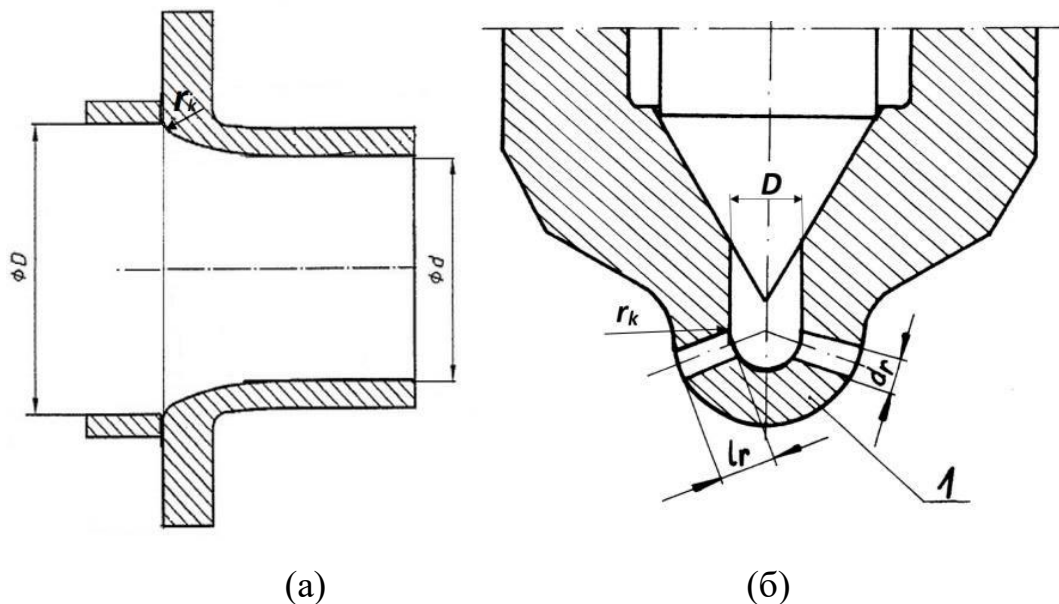


Рис.3.1. Переріз вимірювального патрубку (а) та переріз форсунки інжектора (б): d - діаметр отвору горловини, D - діаметр трубопроводу перед мірне сопло, r_k - радіус заокруглення краю сопла з боку входу, d_r - діаметр отвору сопла, l_r - довжина отвору сопла, 1 - сферична поверхня сопла інжектора.

Обчислення площі розпилювального отвору виконується використовуючи наступну математичну модель:

$$A_r = \frac{\pi d_{rt}^2}{4} \quad (3.2)$$

У процесі виробництва можливі відхилення в параметрах, таких як циліндричність та круглість (див. рис. 3.2). Існують процеси видалення матеріалу або накопичення речовин на поверхні. Також слід враховувати те, що

діаметр отвору d_{rt} може змінюватися в залежності від температури, отже, при температурі t він буде:

$$d_{rt}^2 = k_t d_r^2 \quad (3.3)$$

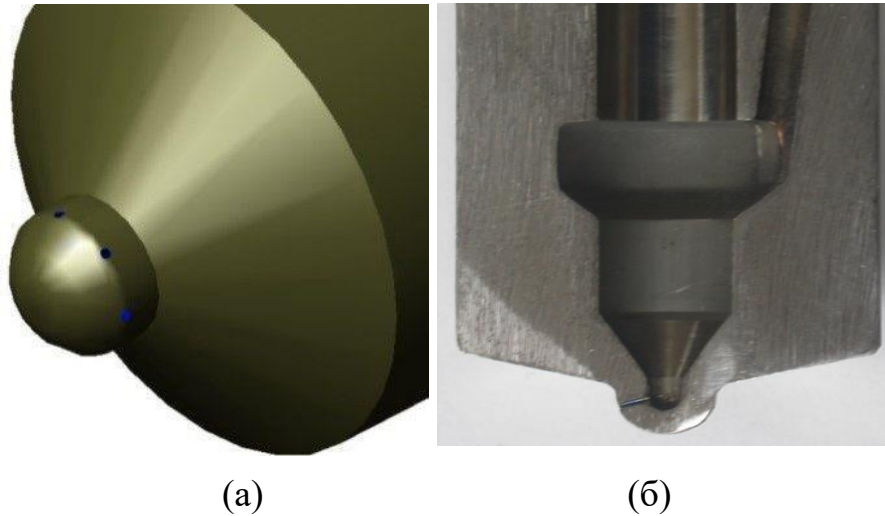


Рис. 3.2. Суцільна модель сопла інжектора (а) і зображення перерізу отвору сопла із закругленням (б).

Під час вимірювань із потоком рідини при підвищеній температурі, розміри розбрикувального отвору можуть коливатися. Щоб урахувати цю зміну через теплове розширення, вводиться поправочний коефіцієнт k_t для врахування цих теплових ефектів:

$$k_t = 1 + 2\alpha_t(t_1 - 20^\circ) \quad (3.4)$$

При зростанні тиску на 10 МПа спостерігається підвищення температури палива на 1 К за значенням x . Відповідний математичний вираз може бути представлений такою формулою:

$$t_{px} = t_d + (p_{px} - p_o)/10 \quad (3.5)$$

Експериментально можна встановити коефіцієнт для визначення числа потоку μ_r для аналогічних потоків. Універсальний розрахунковий метод для цього наведений:

$$\mu_r = k_1 k_2 k_3 \mu_o \quad (3.6)$$

Фактор коригування в'язкості k_1 формується на основі числа Рейнольдса та співвідношення між діаметрами потоку через розпилювальний отвір та вхідний канал D_t . Вираз для його розрахунку виглядає наступним чином:

$$k_1 = f\left(\frac{d_{rt}^2}{D_t^2}, Re\right) \quad (3.7)$$

Фактор коригування в'язкості можна знайти на відповідній діаграмі, заснованій на числі Рейнольдса та співвідношенні l_{rt}/d_{rt} . Альтернативно, це співвідношення може служити підказкою для його визначення.

Щодо коефіцієнта корекції k_2 для отворів сопел, він формується на основі діаметра потоку через сопло та вхідного каналу, фактора шорсткості поверхні Δ у порівнянні з діаметром каналу D_t та числа Рейнольдса. Рівняння для його розрахунку виведено

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{1.5 + \frac{l_{rt}}{d_{rt} \left(1.14 + 21g \frac{d_{rt}}{\Delta}\right)^2}}} \quad (3.8)$$

Текстура поверхні соплового отвору інжектора була оцінена відповідно до промислових стандартів, використовуючи прилад для вимірювання шорсткості на ділянках каналу розпилювача.

Додатковий коефіцієнт корекції k_3 , який враховує зміщення на вході, формується на основі відносних розмірів діаметра отвору сопла до вхідного каналу, діаметру каналу D_t перед розпилювальним отвором та радіусу r_k краю на вході до розпилювача. Цей корекційний фактор k_3 обчислювався, виходячи з відношення радіуса заокруглення до діаметра розпилювального отвору r_k/d_{rt} і характеристики отвору m .

$$m = \frac{d_{rt}^2}{D_t^2} \quad (3.9)$$

Даний вираз було наближено до поліноміальної функції другого ступеня у вигляді:

$$k_3 = -6 \times 10^{-6} \left(\frac{r_k}{d_{rt}}\right)^2 + 0.01 \frac{r_k}{d_{rt}} + 10.8 \quad (3.10)$$

Числовий показник потоку μ_0 корелює з реальним значенням, встановленим в гладкому трубопроводі при максимальному значенні числа Рейнольдса ($R_{e_{max}}$) і відношенню діаметрів розпилювального отвору до впускного каналу.

Для обчислення числа Рейнольдса можна використовувати діаметр, що передувє отвору сопла при заданій температурі t , або за діаметром d_{rt} (з врахуванням радіуса r_{rt}):

$$Re_d = \frac{c_g 4r_{ht}}{v_{p,t}} = \frac{c_g 4r_{ht} \rho_{p,t}}{\eta_{p,t}} \quad (3.11)$$

Для обчислення кінематичної в'язкості існує відповідна формула:

$$v_{p,t} = \frac{\eta_{p,t}}{\rho_{p,t}} \quad (3.12)$$

Фактор розширення ε відображає зміну об'єму стисливої рідини через варіації тиску під час її проходження крізь розпилювальний отвір. Паливо як стислива субстанція слідує принципам еластичності згідно із законом Гука.

Залежність між густиною палива та його температурою може бути визначена через наступну формулу, джерелом якої є:

$$\rho_{p,t} = \rho_{15} - \Delta\rho(t - 15) \quad (3.13)$$

Властивості в'язкості палива критично впливають на ефективність роботи двигунів внутрішнього згорання, особливо з урахуванням використання різних типів рідких палив.

Величина втрат тиску під час проходження палива від ТНВД до форсунки була визначена для різних моделей двигунів. Загальний вплив на втрату тиску в розпилювальному отворі визначається такими параметрами як конструкція форсунки, діаметр отвору, об'єм витрат та перепад тиску. Для оцінки цього впливу можна скористатися співвідношенням з джерела:

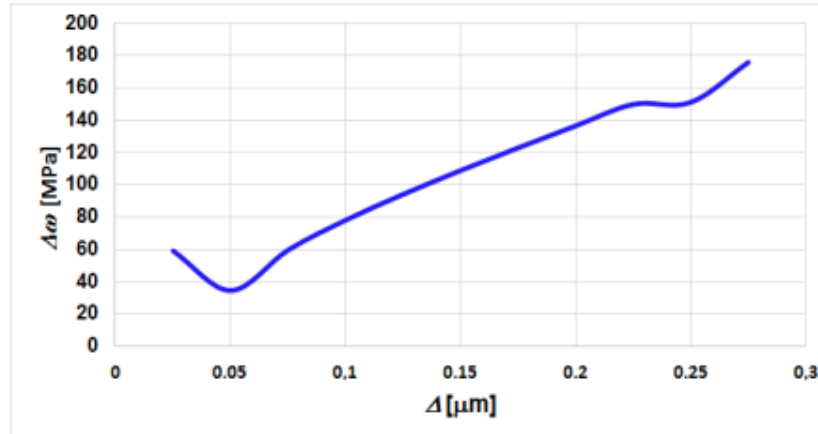
$$\Delta\omega = \frac{\sqrt{1 - \beta^4} - k_2}{\sqrt{1 - \beta} + k_2\beta^2} \Delta p \quad (3.14)$$

Профіль розпилювального отвору характеризується коефіцієнтом звуження β , який можна розрахувати наступним чином:

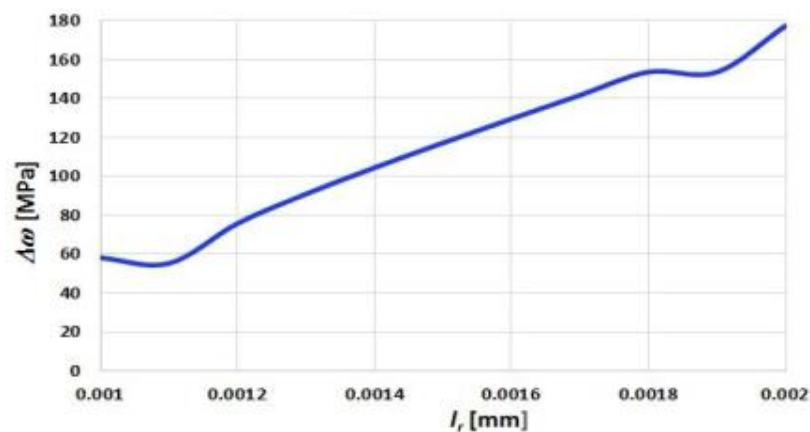
$$\beta = \frac{d_{rt}}{D_t} \quad (3.15)$$

На рисунку 3а ілюстровано, як шорсткість поверхні впливає на зниження тиску під час проходження через розпилювач. Оптимальне значення шорсткості

становить приблизно 0,05 мкм. Тоді як на рисунку 3б демонструється взаємозв'язок між довжиною розпилювального отвору та втратами тиску. Із зростанням шорсткості та довжини отвору, втрати тиску інтенсифікуються у складний спосіб в залежності від цих параметрів.



(а)



(б)

Рис. 3.3. Приклад впливу шорсткості поверхні (а) і довжини розпилюючого отвору (б) на втрати тиску $\Delta\omega$.

Відносний спад тиску обчислюється на основі наступної формули:

$$\Delta\bar{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\Delta p} \quad (3.16)$$

При визначенні масового потоку палива q_m , який проходить крізь і-й розпилювальний отвір, можна скористатися наступною формулою:

$$q_m = \mu_o k_1 k_2 k_3 \varepsilon i \frac{\pi d_{rt}^2}{4} \sqrt{2(p_i - p_c) \rho_{p,t}} \quad (3.17)$$

Під час процесу виробництва встановлюються значення цих параметрів. Формула для визначення потоку маси палива базується на наступній залежності:

$$q_m = \mu_r \varepsilon i \frac{\pi d_{rt}^2}{4} \sqrt{2(p_i - p_c) \rho_{p,t}} \quad (3.18)$$

Проведені експериментальні дослідження потоку палива та його характеристик для нових та вже використовуваних форсунок на спеціалізованому стенді з використанням калібровочного масла протягом тривалого часу [9,10]. Ці тести дозволили точно встановити параметри потоку, такі як коефіцієнт потоку μ_r та середню область розпилювальних отворів. Тискові характеристики в камері згоряння вимірювалися за допомогою датчиків і подалі оброблялися цифровими методами.

Унаслідок втрати тиску кількість впорскуваного палива зменшується:

$$q_m = \mu_r \varepsilon i \frac{\pi d_{rt}^2}{4} \sqrt{2(p_i - p_c) \Delta \bar{\omega} \rho_{p,t}} \quad (3.19)$$

Отже, об'єм палива, який потрібно оптимізувати з урахуванням можливих втрат в потоці, визначається рядом геометричних факторів. Він також залежить від типу палива та особливостей конструкції двигуна внутрішнього згоряння, що впливає на характеристики робочого середовища:

$$q_m = f(i, d_{rt}, D_t, \Delta, r_k, \rho_{p,t}, \eta_{p,t}, t, \Delta p, \Delta \bar{\omega}) \quad (3.20)$$

Отже, дане рівняння використовується для налаштування різних параметрів, таких як шорсткість поверхні Δ , радіус розпилювальних отворів r_k на вході, а також фактори температури t та тиску Δp . Коли значення $\Delta \bar{\omega}$ досягає 1, це вказує на відсутність втрат через тертя, тоді як при $\Delta \bar{\omega}$ рівному 0, втрати на тертя настільки значущі, що потік маси палива стає нульовим. Для аналізу було взято значення $\Delta \bar{\omega}$ у межах від 0,3 до 1,0 з інтервалом у 0,1. Різні математичні функції можуть описати цю залежність.

З погляду аналізу втрат через тертя особливу увагу потребує значення $\Delta \bar{\omega}$, оскільки величина втрат безповоротно пов'язана з технічними характеристиками, встановленими на етапі виробництва, а також зі змінами, які відбуваються протягом експлуатації обладнання:

$$\Delta = f(i, d_{rt}, D_t, l_r \Delta, \rho_{p,t}, \eta_{p,t}, t, \Delta p) \quad (3.21)$$

Отже, існує потреба в моделюванні для досягнення оптимальних результатів. Вивчені взаємозв'язки вказують на значущий вплив різних дизайнерських особливостей на втрати тиску під час протікання рідини через соплові отвори. Графік на рисунку 4а ілюструє зміни тиску в залежності від числа потоків, що проходять через сопло. З діаграми 4а стає зрозуміло, що коефіцієнт витрати розпилювального отвору μ_r має значущий вплив на динаміку тиску в соплі. Це підкреслює важливість розробки моделі для досягнення оптимальних умов роботи.

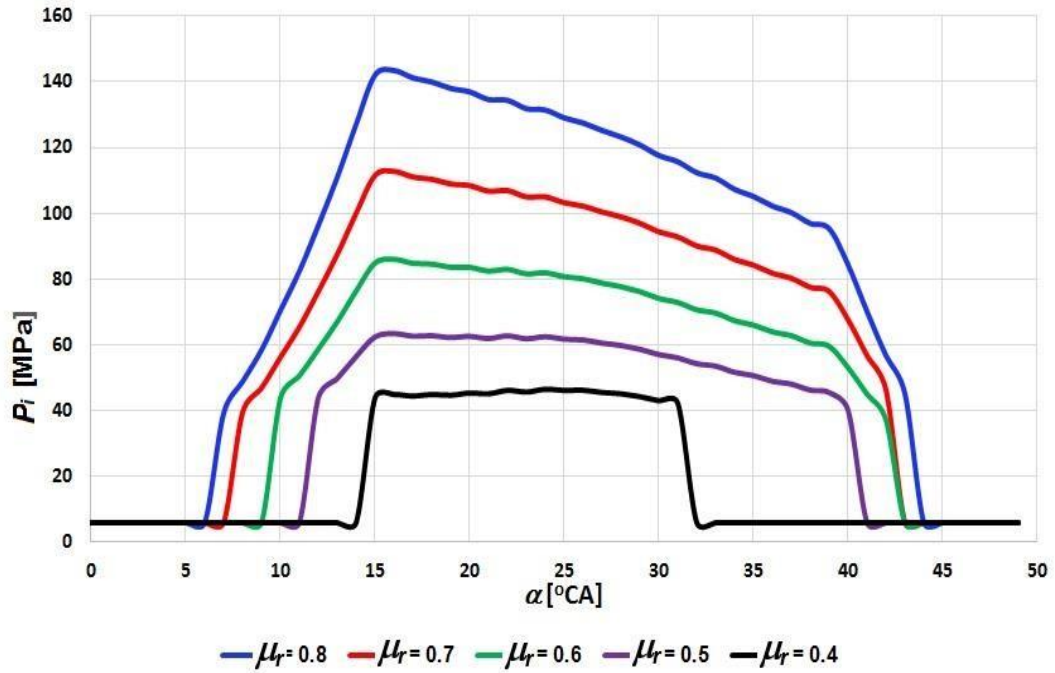
З іншої сторони, на рисунку 4б видно, як перепад тиску впливає на кількість палива, яке проходить через розпилювальний отвір. Чим вище значення втрат тиску через тертя в структурі отворів, тим менше палива проходить через них. Графік на малюнку 4б демонструє кореляцію між втратами тиску та об'ємом рідини паливної маси.

Всередині інжектора загальний тиск, позначений як p_i , формується з двох компонентів: статичного тиску p_s , який визначається залишковим тиском p_r , та динамічного тиску p_d , який, в свою чергу, залежить від швидкості потоку палива.

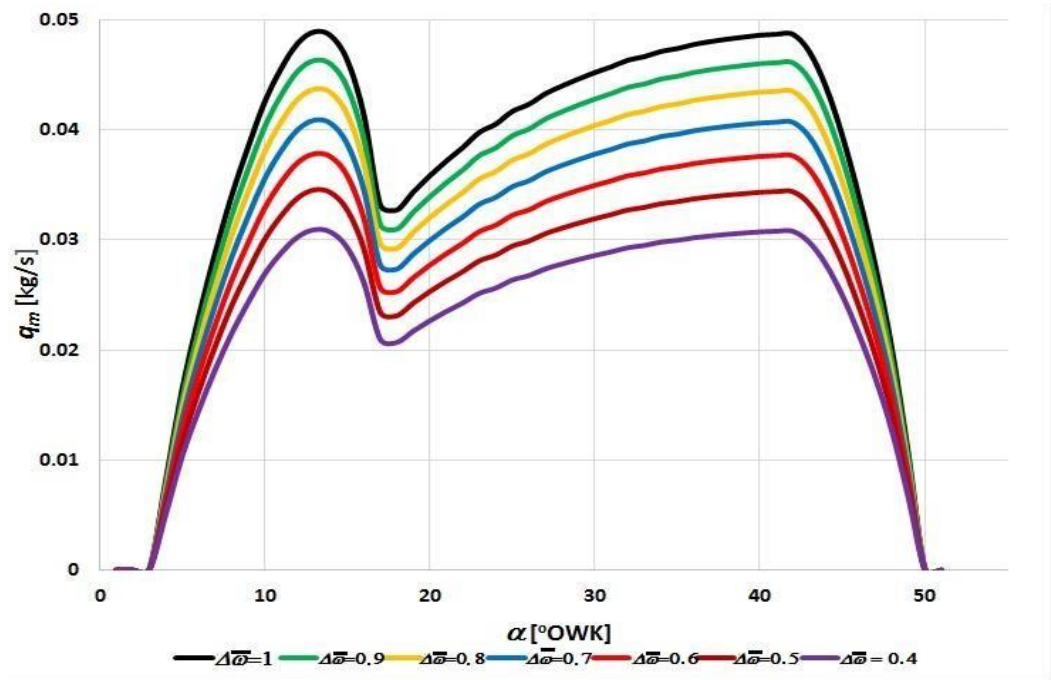
$$p_i = p_s + p_d = p_r + c_r^2 \frac{\rho_{p,t}}{2} \mu_r \varepsilon_s + p_c \varepsilon_s \quad (3.22)$$

На рисунку 3.5 представлені порівняльні дані між результатами моделювання та фактичними вимірюваннями в двигуні. Коефіцієнт кореляції цих даних дорівнює 0,847, свідчучи про високу ступінь співпадіння. Хоча ці результати підтверджують точність моделювання, вони також вказують на потребу у вдосконаленні методик вимірювань, зокрема за допомогою датчика Kistler.

Ці результати відповідають даним, що зазначені в наукових джерелах. Часто відносні втрати тиску сягають понад 50%, що призводить до значного зменшення об'єму поданого палива. Додатково, було проведено дослідження тертя між корпусом форсунки та її голкою, як для нових, так і для використовуваних форсунок. З'ясовано, що сили тертя можуть суттєво відрізнитися, досягаючи великих значень у тоннах у деяких ситуаціях.



(a)



(б)

Рис. 3.4. Вплив величини коефіцієнта витрати μ_r на хід тиску в сопловому просторі інжектора p_i (а) та вплив відносних втрат тиску $\Delta\omega$ через розпилювальні отвори на масову витрату палива q_m (б).

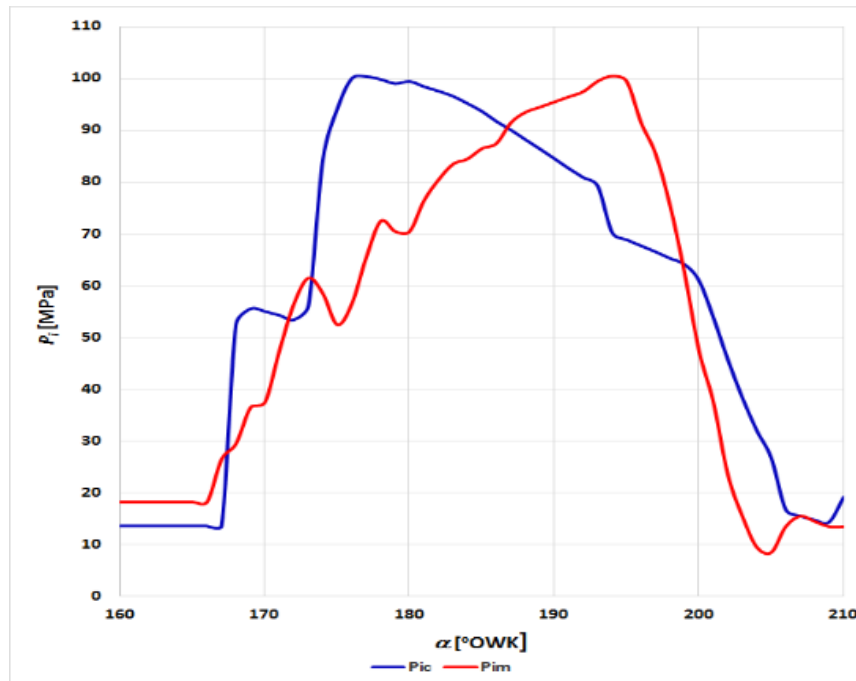


Рис.3.5. Порівняння зміни тиску розрахункового p_{ic} у просторі сопла інжектора та виміряного перед p_{im} клапана інжектора.

3.2 Підбір найбільш відповідної геометрії форсунок для інжектора

Відображає найкращий показник для функції f , працюючи в межах області S_p . Це означає, що ми шукаємо таке рішення хорт, яке або максимізує, або мінімізує значення цільової функції, дотримуючись при цьому визначених обмежень задачі.

Оптимізація є важливою в інженерних дослідженнях, де потрібно проектувати найефективніші системи чи компоненти. Наприклад, у сфері енергетики може бути необхідним знайти оптимальний дизайн турбіни, що максимізує виробництво енергії, але при цьому мінімізує втрати через тертя.

З іншого боку, в економіці оптимізація може бути використана для максимізації прибутку корпорації при обмежених ресурсах, або для визначення оптимального портфеля інвестицій для максимального доходу при прийнятному рівні ризику.

Основний виклик в оптимізації полягає в правильному визначенні цільової функції та обмежень, а також у виборі підходящого методу для їх вирішення.

$$\forall x \in S_p f(x_{opt}) \leq f(x), \quad (3.23)$$

При спробі зменшення витрат або ризику в певних ситуаціях, ключовим є правильний підхід до оптимізації. Використовуючи різноманітні технічні та математичні методи, можна досягти зниження витрат або покращення результативності в конкретних умовах.

$$\forall x \in S_p f(x_{opt}) \geq f(x), \quad (3.24)$$

У разі максимізації цільової функції.

Гرادієнтні методи оптимізації базуються на використанні інформації про локальний нахил (або "схил") цільової функції. Це забезпечує можливість вказувати напрямок, у якому цільова функція може досягати своєї локальної мінімальної або максимальної точки. При правильному виборі кроку можливе наближення до точки оптимуму з меншою кількістю ітерацій.

Додатково до стратегії градієнтних методів, важливо враховувати обмеження, які можуть бути накладені на змінні задачі. Оскільки градієнтна оптимізація використовує математичний аналіз для визначення оптимальних рішень, вона може бути використана для різноманітних задач від простих до складних систем з багатьма змінними.

На практиці використання градієнтних методів може включати адаптацію або комбінацію різних технік для досягнення бажаного результату. Також існує можливість використання додаткових алгоритмів для покращення збіжності та ефективності пошуку оптимального рішення.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Експериментальний аналіз впливу забруднених електромагнітних форсунок на об'єм повітря, який споживається двигуном

Після ТО автомобіля, електромагнітні форсунки, які мали ознаки забруднення, були зняті для діагностики. За допомогою спеціалізованого приладу оцінили пропускну спроможність цих форсунок. Після цього електромагнітних форсунок встановлювалися назад у моторну установку, і з використанням приладу ДСТ-2М визначалися витрати повітря двигуном при холостому ході і частоті 4000 об/хв.

Після аналізу роботи електромагнітних форсунок, їх або очищували, або замінювали на нові. Наступний крок полягав у налаштуванні параметра RCOK за допомогою тестера ДСТ-2М, щоб скоротити час роботи електромагнітних форсунок. Якщо виникало зниження частоти обертання валу, система автоматично регулювала дросельну заслінку для її компенсації. Тоді проводилася перевірка витрати повітря. Ці процеси налаштування та перевірки повторювалися до моменту, коли двигун ставав нестабільним у своїй роботі.

На рис. 4.1 демонструється як забрудненість електромагнітних форсунок, взятих із авто на ТО, впливає на витрати повітря двигуном (ілюстровано суцільною лінією). Для порівняння, штрихована лінія відображає витрати повітря для незабруднених форсунок, де зниження пропускну здатності моделювалося корекцією часу упорскування. За основний критерій забрудненості приймалася відсоткова відмінність між витратами повітря та тривалістю упорскування пального.

На основі експериментальних даних було встановлено, що отримані залежності можуть бути апроксимовані лінійними функціями з високим рівнем точності.

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

$$G_B = 1,43K_C + 61,4 \quad (4.2)$$

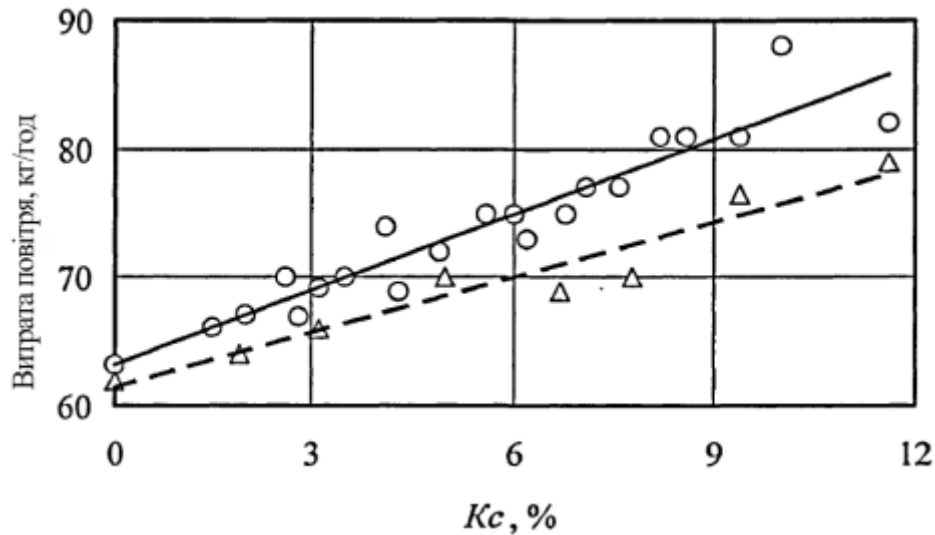


Рис. 4.1. Двигун споживає повітря в різних обсягах залежно від типу електромагнітних форсунок. Для реальних форсунок (зображено суцільною лінією) ця залежність відрізняється від чистих форсунок, де прохідний переріз імітується за допомогою скорочення часу упорскування палива (показано штриховою лінією).

4.2 Дослідження впливу забруднення електромагнітних форсунок на робочі характеристики та ефективність автомобіля

На стендовій установці було проведено аналіз робочих характеристик електромагнітних форсунок з 21 автомобіля, який використовувався в експлуатації. Під час регулярного обслуговування або при виявленні проблем із двигуном ці форсунки демонтувалися. Їхня пропускна здатність аналізувалася за допомогою приладу ДСТ-6. Після тестування, форсунки поверталися на свої місця в двигун, після чого вивчалися основні характеристики автомобіля, результати яких представлені в таблиці 4.2.

Дані вимірювань ілюстровані за допомогою графічних зображень, які відображають зв'язок між характеристиками автомобіля та відсотковим зменшенням пропускної здатності електромагнітних форсунок (позначено як K_c). Ці графіки можна переглянути на малюнках 4.2 до 4.10.

Додатково, перед демонтажем електромагнітних форсунок з транспортного засобу, було проведено тестування для встановлення часу, який двигун потребує, щоб розганятися від 2000 до 5000 об/хв на другій передачі. Ці

випробування відбувались на рівному відрізку асфальтованої дороги поблизу площадки для навчання водіїв.

Таблиця 4.2. Характеристики роботи автомобільної системи.

№	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 (CH)	млн^{-1}	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв^{-1})
4			Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв^{-1})
5	Часова випрата палива (G_T)	л/год	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв^{-1})
6	Питома випрата 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

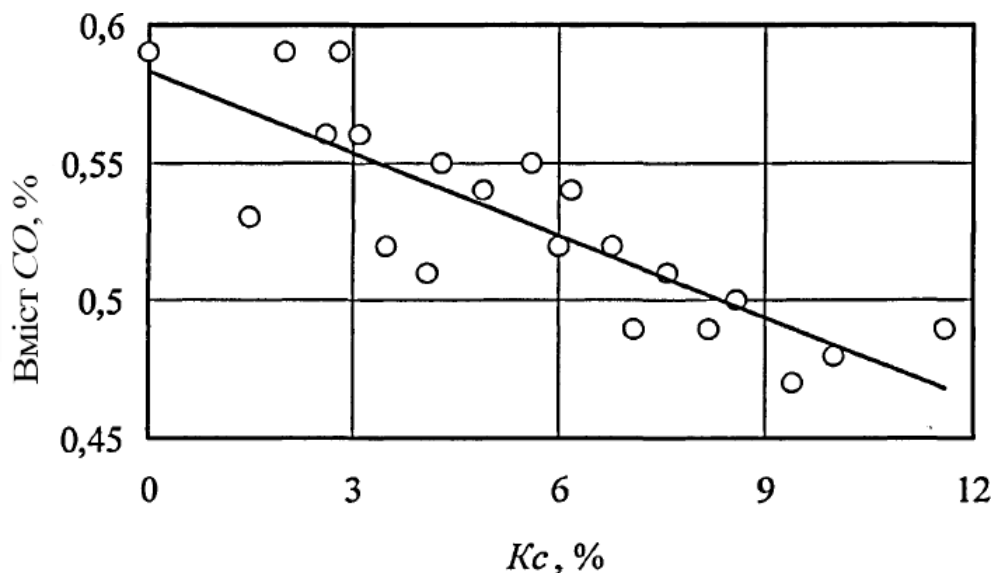


Рис. 4.2. Концентрація окису вуглецю у вихлопних газах при оборотах холостого ходу 850 об/хв у відповідності до відсоткового зменшення пропускної здатності електромагнітних форсунок описується рівнянням:

$$P_{sox} = -0,01Kc + 0,58.$$

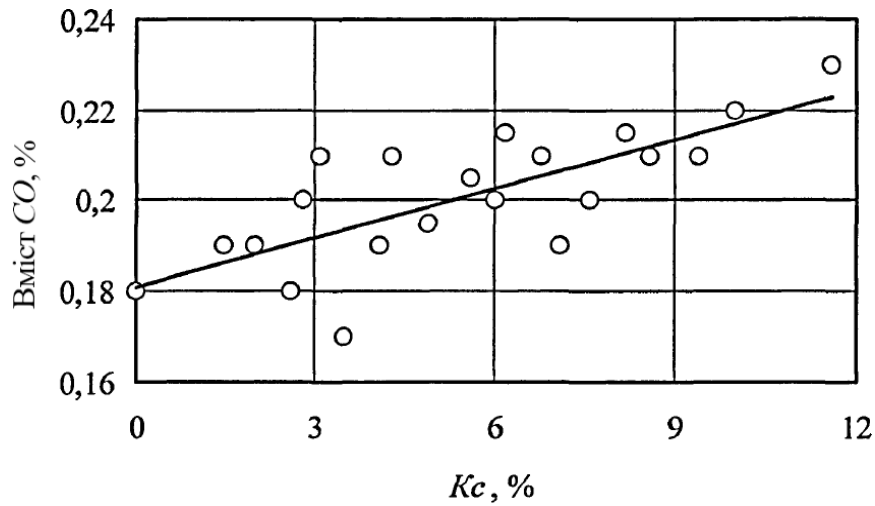
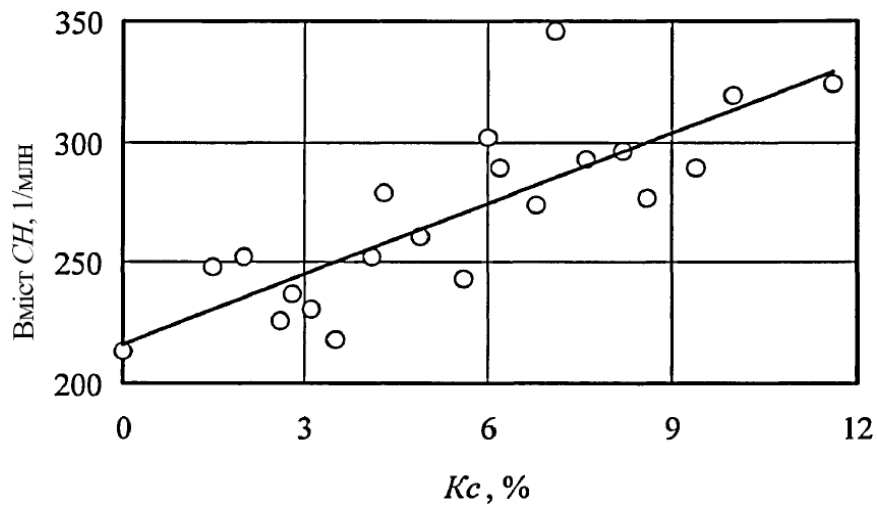
Рис. 4.3. $P_{CO} = 0,0036Kc + 0,18$ 

Рис. 4.4. Концентрація вуглеводнів у вихлопних газах при оборотах холостого ходу 850 об/хв, з урахуванням відсоткового скорочення пропускної здатності електромагнітних форсунок, може бути описана формулою:

$$P_{CH} = 9,73Kc + 216,3.$$

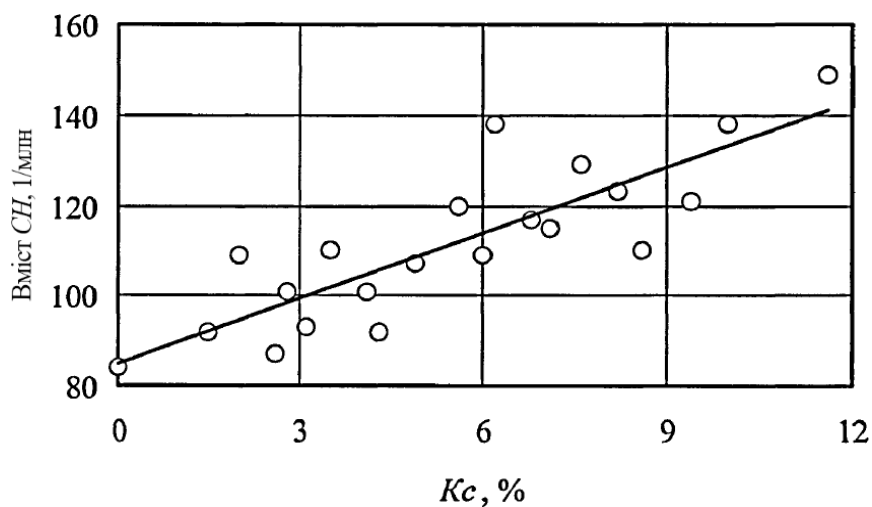


Рис. 4.5. Кількість вуглеводнів у вихлопних газах при оборотах холостого ходу 3200 об/хв, враховуючи відсоткове зниження пропускної здатності електромагнітних форсунок: $P_{CH} = 4,85Kc + 84,9$.

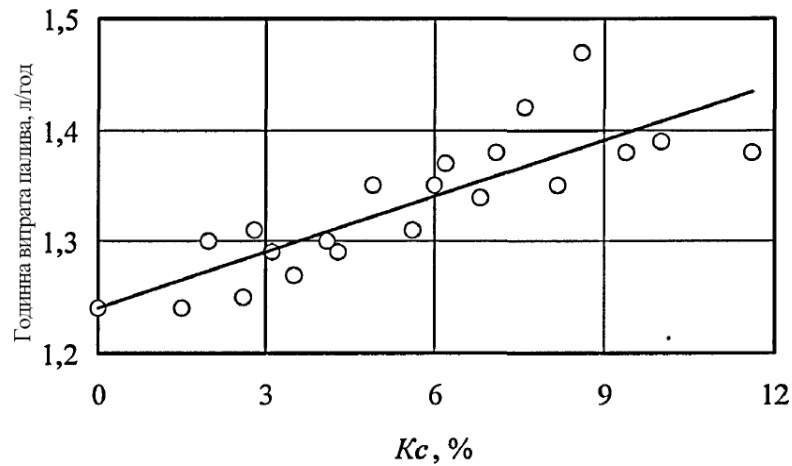


Рис. 4.6. Споживання палива за годину на обертах холостого ходу 850 об/хв, вплив якого визначається відсотковим зменшенням ефективності електромагнітних форсунок: $\Pi_{GT} = 0,017Kc + 1,24$.

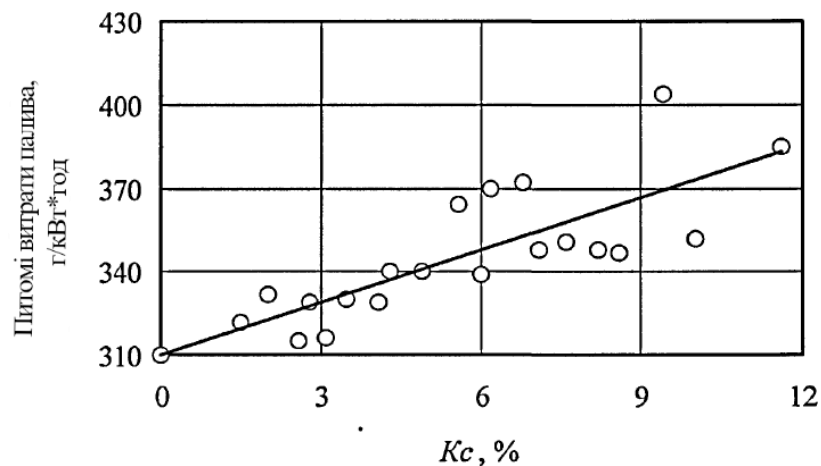


Рис. 4.7. Споживання палива на одиницю обертання при швидкості 3000 об/хв та навантаженні 25%, що корелює із відсотковим скороченням ефективності електромагнітних форсунок: $\Pi_{GE} = 6,32Kc + 310,0$.

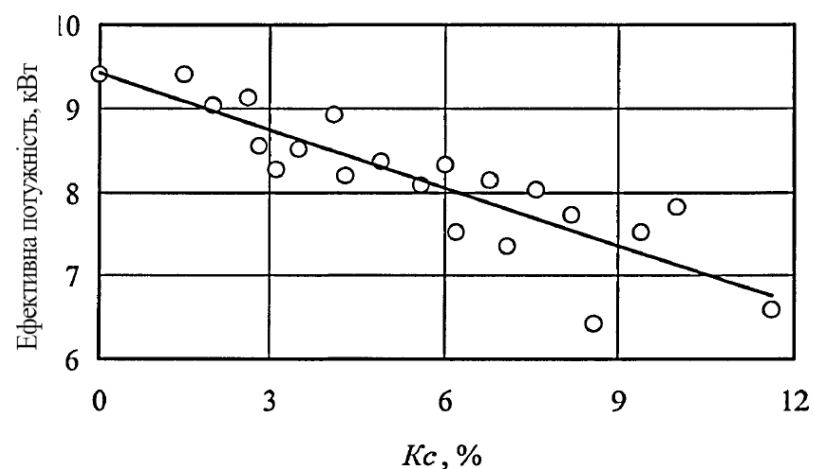


Рис. 4.8. Вивід потужності мотора за умови швидкості 3000 об/хв та навантаження в 25%, що взаємодіє з відсотковим зниженням робочої здатності електромагнітних форсунок: $\Pi_{NE} = - 0,23Kc + 9,43$.

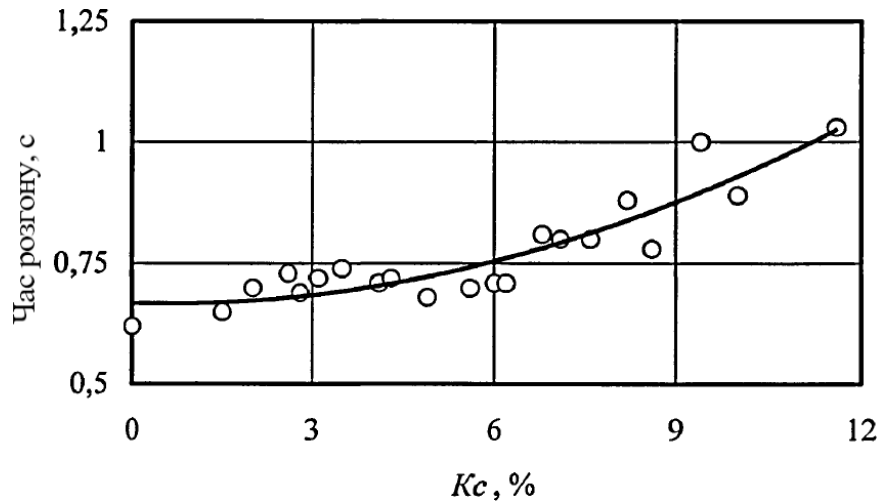


Рис. 4.9. Динаміка прискорення мотора при холостому ході в діапазоні від 2000 до 5000 об/хв, що корелює з відсотковим скороченням ефективності електромагнітних форсунок: $\Pi_{TX} = 0,003Kc + 0,67$.

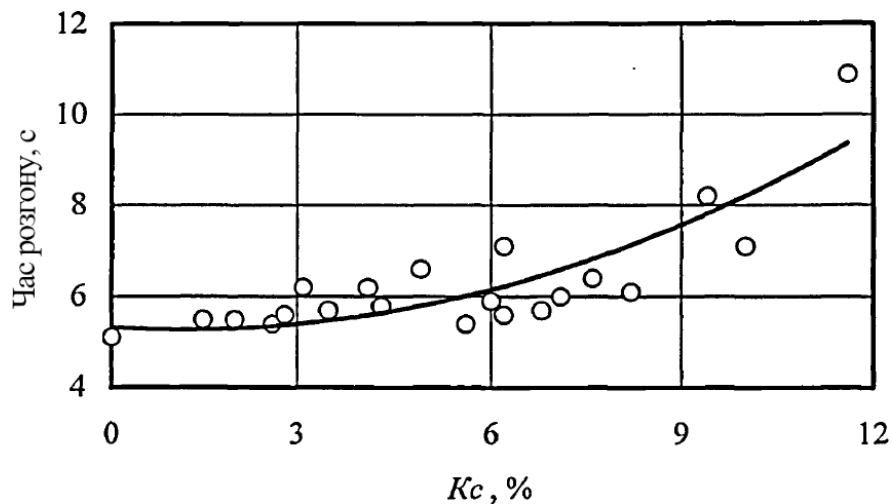


Рис. 4.10. Динаміка прискорення мотора на другій передачі в діапазоні від 2000 до 5000 об/хв, яка пов'язана з відсотковим уменшенням ефективності електромагнітних форсунок: $\Pi_{TH} = 0,038K^2 - 0,089Kc + 5,33$.

На основі експериментальних вимірювань (див. таблиця 4.3) взаємозв'язку між ступенем забрудненості K_c та характеристиками двигуна, проведено додаткові аналітичні розрахунки. Аналіз даних про ефективну потужність мотора при 3000 об/хв і 25% навантаженні, який корелює з робочою ефективністю електромагнітних форсунок, дозволив встановити значення коефіцієнта k_3 , яке дорівнює 2,44.

Таблиця 4.3. Висновки з тестів.

№	Досліджуваний параметр	Режим роботи двигуна	Вид залежності	Рівняння регресії
1	Вміст окису вуглецю у	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв ⁻¹)	Лінійна	$-0,01K_c + 0,58$
2	відпрацьованих газах, %	Підвищені оберти холостого ходу (3200 хв ⁻¹)		$0,0036K_c + 0,18$
3	Вміст вуглеводнів у	Мінімальні оберти холостого ходу (850 хв ⁻¹)		$9,73K_c + 216,3$
4	відпрацьованих газах, млн ⁻¹	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	$0,003K_c^2 - 0,0032K_c + 0,67$
9		Від 2000 до 5000 хв ⁻¹ , II переача		$0,038K_c^2 - 0,089K_c + 5,53$

4.3 Аналіз забруднення електромагнітних форсунок під час використання

Аналіз чистоти електромагнітних форсунок був зроблений на основі зразків, взятих з транспортних засобів після певного кілометражу без очищення. Діаграма (рис. 4.11) демонструє, яким чином пробіг та період експлуатації впливають на стан форсунок, представляючи зростання показника K_c .

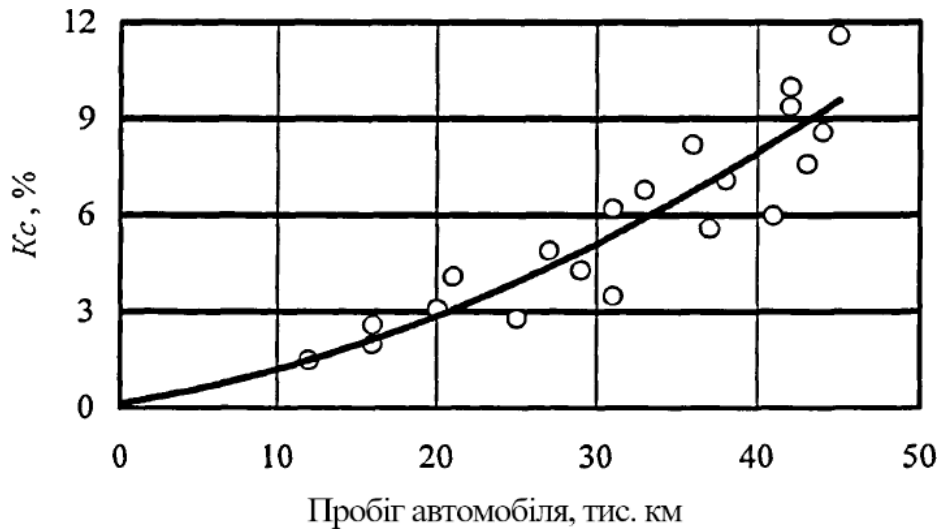


Рис. 4.11. Основними факторами, які впливають на забрудненість електромагнітних форсунок, є кілометраж пройдений автомобілем.

Функціональна залежність K_c від пробігу L описується рівнянням:

$$K_c = 0,003L^2 + 0.078L.$$

4.4 Сенсорний аналіз робочої здатності автомобіля в контексті забрудненості електромагнітних форсунок та їх впливу на динамічні характеристики

Щоб отримати зворотний зв'язок від користувачів автомобіля та зрозуміти їх задоволеність експлуатаційними характеристиками, було проведено анкетування водіїв під час сервісного обслуговування. Основне питання дослідження звучало так: Чи задовольні ви динамікою розгону вашого автомобіля? Відповіді було візуалізовано на графіку (рис. 4.12): де значення 0 символізує задоволених водіїв, а 1 - незадоволених.

Після анкетування водіїв, основна увага була зосереджена на визначенні, як час розгону двигуна між 2000 та 5000 хв-1 на другій передачі впливає на їх сприйняття динаміки автомобіля. Встановлено, що є певний діапазон часу розгону, при якому додаткові секунди стають критичними для задоволеності водія. Щоб з'ясувати цю величину, було обраховано середнє значення часу розгону за допомогою даних, отриманих від водіїв з різними оцінками динаміки.

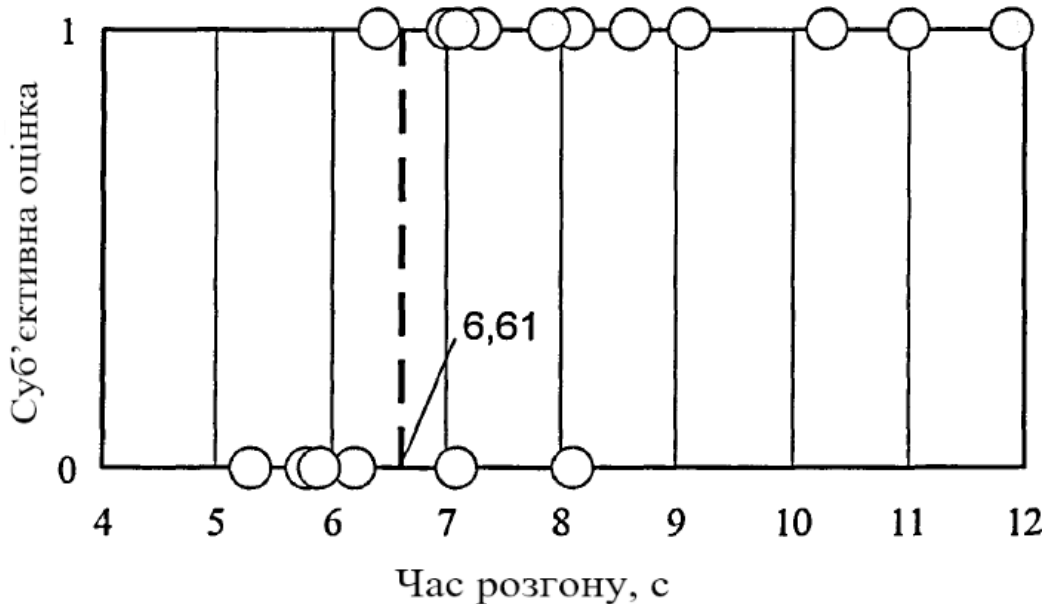


Рис. 4.12. Відгуки водіїв про динаміку розгону автомобіля на другій передачі були зібрані за допомогою органолептичної методики. Під час опитування їм ставилося запитання стосовно їхньої задоволеності швидкістю розгону машини. Відповіді були представлені у вигляді двох варіантів: 0, якщо динаміка розгону задовольняє водія, та 1, якщо водій вважає динаміку незадовільною.

В результаті аналізу було виявлено, що органолептичний відгук водіїв став менш позитивним, коли час розгону автомобіля збільшувався до 6,61 секунди.

$$\begin{cases} 0 & t_{II} < 6.61 ; \\ 1 & 6.61 < t_{II} \end{cases} \quad (4.3)$$

4.5 Вивчення стратегії забезпечення ефективної роботи електромагнітних форсунок в умовах тривалої експлуатації

При розробці методики визначення оптимального діагностичного критерію $G_{\text{доп}}$ для електромагнітних форсунок, важливо врахувати потенційні відхилення в отриманих даних. Це включає можливість виникнення неточностей при вимірюванні параметрів регресійного аналізу між G_B і K_c .

$$G_B = 1,95K_c + 63,2 \quad (4.4)$$

При вивченні забрудненості електромагнітних форсунок і їх впливу на ефективність роботи двигуна, основний акцент робиться на аналіз динаміки витрати повітря. Це полягає в вивченні, як змінюється середня витрата повітря

відповідно до різних ступенів забрудненості форсунок. Використовуючи діаграму (рисунок 4.13), можна визначити мінімальну витрату повітря для певного середнього показника забрудненості форсунок.

$$G_B^{CP\ MIN} = G_B^{CP} - t_{1-\alpha} S_B \quad (4.5)$$

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

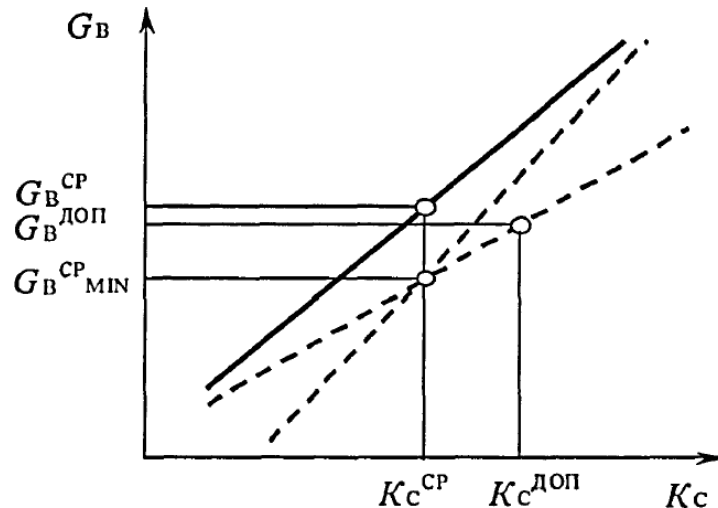


Рис. 4.13. Встановлено інтервал довіри для лінії регресії, що відображає зв'язок між витратами повітря та ступенем забрудненості електромагнітних форсунок. Нижні межі цього інтервалу показують мінімальні можливі витрати повітря для відповідного рівня забрудненості форсунок.

Враховуючи діапазон допустимих помилок, через зазначену точку можна провести дві прямі, що обмежують область можливих мінімальних значень G_B . Ці прямі представляють собою нижній та верхній коридори для витрати повітря, допускаючи певне відхилення від середнього значення.

$$G_B = \begin{cases} (1,95 - t_{1-\alpha} S_A) K_C + 63,2 - t_{1-\alpha} S_B; & K_C > K_C^{CP}; \\ (1,95 + t_{1-\alpha} S_A) K_C + 63,2 - t_{1-\alpha} S_B; & K_C^{CP} > K_C; \end{cases} \quad (4.6)$$

Встановлене середнє і допустиме значення забрудненості електромагнітних форсунок є майже однаковими. Для вирахування коректованого показника витрати повітря G_B використовується формула (4.6). За даними показниками, ймовірність того, що форсунки є справними, складає 95%.

$$G_B^{ДОП} = 1,003 K_C^{ДОП} + 62,9 = 68,45 \quad (4.7)$$

На основі експериментальних даних про забрудненість K_c , можна визначити оптимальний пробіг автомобіля L у помірних кліматичних умовах перед тим, як здійснити промивання електромагнітних форсунок.

$$K_c = 0,003L^2 + 0,078L \quad (4.8)$$

Після розв'язання рівняння (4.8) з урахуванням пробігу L , рекомендоване значення для КДОП складає 31,8 тис. км. Отже, для автомобілів марки ГАЗ-3110 із двигунами ЗМЗ-4062.10 в умовах помірного клімату рекомендується промивання електромагнітних форсунок кожні 30 тис. км. Це може бути зроблено під час планового обслуговування типу А (кожні 5 тис. км) або типу Б (кожні 10 тис. км).

В різних географічних зонах рекомендується проводити діагностику ступеня забрудненості електромагнітних форсунок кожних 5 тис. км, під час обслуговування типу А. Основна мета - визначити, коли діагностичний параметр G_B досягне критичного рівня. Хоча взаємозв'язок між витратою повітря та частотою обертання колінчастого валу при 4000 об/хв в холостому режимі є квадратичним, протягом короткого інтервалу пробігу (близько 10 тис. км між послідовними обслуговуваннями) цю залежність можна вважати лінійною, як показано на рисунку 4.14. Таким чином, до моменту наступного планового обслуговування параметр G_B досягне певного прогнозованого рівня.

$$G_B = G + (G - G_{\Pi})L_B/L_{\Pi} \quad (4.9)$$

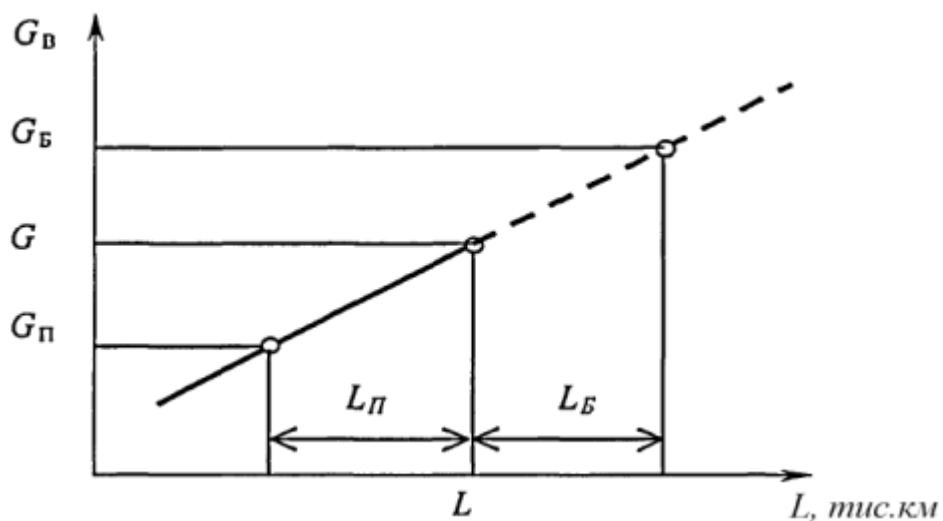


Рис. 4.14. В контексті прогнозування діагностичного параметра

В разі коли показник G_B перевищує 68.5 кг/год, рекомендується проведення очищення електромагнітних форсунок.

Для коректної діагностики стану електромагнітних форсунок слід застосовувати спеціалізоване обладнання, зокрема:

діагностичний прилад ДСТ-2М чи подібний до нього;

сенсор для вимірювання масового потоку повітря від компанії "Bosch" або еквівалент;

система відведення відпрацьованих газів, якщо процедура відбувається у закритому просторі.

Діагностичний процес слід виконувати відповідно до рекомендацій, наведених у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. Процедурний план перевірки стану 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 протівідкатні упори	Протівідкатні 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	Тестер ДСТ-2М, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку
8	Увімкнути запалення		
9	Проконтролювати тестером відсутність помилок в КМПСУД, при необхідності очистити наявні помилки	Тестер ДСТ-2М	При наявності помилок в КМПСУД необхідний пошук та усунення несправностей
10	Запустити двигун		

11	Встановити частоту обертання двигуна дроселем 4000 об/хв	Тестер ДСТ-2М	Контроль по FREQ
Продовження таблиці 4.1			
№	Зміст робіт, операцій	Обладнання та інструменти	Технічні вимоги та вказівки
12	Зняти показники масової витрати повітря JAIR	Тестер ДСТ-2М	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	Тестер ДСТ-2М, з'єднувальний кабель	Роз'єм діагностичний в моторному відсіку

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки до території виробничих і допоміжних приміщень

Вимоги виробничої санітарії обов'язково враховують при проектуванні виробничих приміщень, процесів і технологічного обладнання. При цьому зазначається, що в процесі виробництва мають бути відсутні або зведені до мінімуму (нижче допустимих значень):

виділення в повітря приміщень, атмосферу і стічні води шкідливих або з неприємним запахом речовин, а також виділення теплоти і вологості в робочих приміщеннях;

шум, вібрація, ультразвук, електромагнітні хвилі радіочастот, статична електрика та іонізуюче випромінювання.

При розробленні технологічної частини проекту слід передбачити:

заміну шкідливих речовин нешкідливими або менш шкідливими, сухих способів переробки пилоподібних матеріалів — мокрими;

заміну в технологічних операціях процесів, пов'язаних з виникненням шуму, вібрації та інших шкідливих факторів, процесами або операціями, за яких відсутня або значно знижена інтенсивність цих факторів;

заміну твердого і рідкого палива - газоподібним нагрівання за допомогою полум'я - електричним нагріванням;

герметизацію і максимальне ущільнення стиків і з'єднань, у технологічному обладнанні і трубопроводах;

теплову ізоляцію поверхонь обладнання, повітро- і трубопроводів, що нагріваються;

комплексну механізацію, автоматизацію і сигналізацію про перебіг окремих процесів і операцій, пов'язаних з можливістю шкідливих виділень;

безперервність процесів виробництва;

сховище для механічного транспорту, а також застосування гідро- і пневмотранспорту для транспортування пило- подібних матеріалів;

очищення технологічних викидів від шкідливих речовин;

переважне застосування обладнання з технічним паспортом;

автоматичне блокування технологічного обладнання і санітарно-технічних пристроїв, застосування обладнання з вмонтованими місцевими відсмоктувальними пристроями і світильниками;

шумоглушіння і амортизацію вібрації;

раціональну організацію робочих місць і захист їх від впливу електромагнітних хвиль радіочастот та іонізуючого випромінювання;

застосування процесів з найменшою кількістю стічних вод.

5.2 Територія і місця зберігання автомобілів

Територія підприємства повинна бути огороженою і впорядкованою, освітлюватися в нічний час, постійно утримуватися в чистоті і порядку. В огороженні території підприємства, де передбачено 10 і більше постів профілактичного обслуговування та ремонту або зберігання 50 і більше автомобілів, необхідно передбачати не менше двох воріт для в'їзду (виїзду). Ворота основного в'їзду на територію підприємства слід розташовувати на відстані, не меншій від найбільшої довжини автомобілів, що експлуатуються на підприємстві, включаючи автопоїзди, від основного проїзду вулиці, дороги. Ширину в'їзних воріт на територію підприємства необхідно вибирати за найбільшою шириною автомобілів, що використовуються, плюс 1,5 м, але не менше 4,5 м.

Стулчасті ворота виробничих приміщень повинні відкриватися назовні, а для в'їзду на територію підприємства і виїзду з неї усередину. Ворота повинні бути обладнані пристроями, що виключають їх самовільне закриття або відкриття. Виїзд (в'їзд) автомобілів із цокольних або підвальних поверхів будівлі через перший поверх не допускається (дозволяється тільки через зовнішні ворота). Підйомні ворота повинні бути обладнані уловлювачами (фіксаторами), що забезпечують утримання воріт у піднятому положенні у випадку обриву тросів або несправності механізму підйому і спуску.

За наявності у виробничих приміщеннях профілактичного обслуговування і ремонту транспортних засобів конвеєрів, управління зовнішніми воротами, через які передбачається виїзд і в'їзд автомобілів, має

бути заблоковане з роботою конвеєрів і управлінням тепловими завісами. Повітряні завіси застосовують для запобігання надходженню холодного повітря з вулиці через ворота в приміщення. Такі установки можуть подавати холодне або підігріте за допомогою калориферів повітря. Швидкість повітря у таких установках досягає 10-15 м/с, а потік повітря подається під певним кутом до площини воріт або іншого проходу.

В'їзди у виробничі приміщення не повинні мати порогів і виступів, а в'їзний уклон повинен бути не більше 5°.

Територія підприємства повинна бути обладнана водовідводами і водостоками. Люки водостоків та інших підземних споруд повинні бути в закритому положенні.

При виконанні ремонтних, земляних та інших робіт на території підприємства відкриті люки, траншеї і ями повинні бути огорожені. В місцях переходу через траншеї встановлюються перехідні містки шириною не менше 1,0 м з перилами висотою 0,9 м.

На території підприємства повинні бути проїзди для руху автомобілів і пішохідні доріжки, що мають тверде покриття. Влітку їх необхідно очищати від бруду, а взимку - від снігу і льоду. Ширина проїздів на території підприємства повинна бути не менше 6 м при двосторонньому русі і не менше 3 м - при односторонньому. Ширина пішохідної доріжки повинна бути не менше 1 м. Для проходження працюючих на територію підприємства повинна бути влаштована прохідна. Проходження працюючих через ворота забороняється. В місцях пересічення під'їзних шляхів канавами, траншеями, залізничними коліями тощо повинні встановлюватися настили або мости для переїздів.

Для стоянки власного транспорту слід передбачати місце на окремих майданчиках поза межами території підприємства. Рух особистого транспорту по території підприємства забороняється.

Автомобілі та агрегати, що підлягають списанню або ремонту, при зберіганні їх поза приміщеннями повинні розміщуватись на окремих рівних площадках з твердим покриттям. Для попередження падіння агрегатів, самовільного руху автомобілів і падіння вивішених їх частин необхідно встановлювати спеціальні підставки, упори.

Зберігання деталей, вузлів, агрегатів і різного металу у виробничих приміщеннях і на території має бути організовано в окремих місцях на стелажах.

Виробничі відходи, сміття, непридатні деталі, вузли і агрегати повинні своєчасно прибиратися і накопичуватися на спеціально відведених майданчиках.

Небезпечні зони і ділянки на території і у виробничих приміщеннях, перебування та виконання робіт на яких пов'язане з небезпекою для працюючих, повинні позначатися сигнальними кольорами і знаками безпеки, дорожніми знаками, Правилами дорожнього руху України та чинними галузевими нормативними документами.

На території і у виробничих приміщеннях підприємств забороняється:

палити поза межами спеціально відведених для цього місць;

користуватися відкритим полум'ям у непередбачених для цього місцях без прийняття відповідних протипожежних заходів;

завалювати запасні ворота як зсередини, так і ззовні, підхід та під'їзд до них завжди повинен бути вільним;

безладно розміщувати і зберігати (привалювати, упирати) матеріали, агрегати, запчастини тощо до елементів будинків, споруд, устаткування і огороження.

Контрольно-технічний пункт (КТП) повинен мати:

приміщення для контролера (механіка) технічного стану транспортних засобів;

приміщення (навіс) і оглядові канави або естакади для огляду транспортних засобів.

Ухил при заїзді та з'їзді з контрольно-технічного пункту не повинен перевищувати 5%.

При в'їзді на контрольно-технічний пункт повинні бути вивішені:

дорожні знаки: «Проїзд без зупинки заборонено», «Обмеження максимальної швидкості» - 10 км/год;

знак безпеки «Вхід (прохід) через ворота КТП заборонено».

Площадка для перевірки гальм повинна бути рівною, з твердим покриттям, без вибоїн і ухилів. Розташування і розміри майданчика повинні виключати наїзд автотранспорту на людей, будівлі тощо.

Паливозаправні пункти та пости випуску і зливу газу, що розташовані на території підприємства, повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів і забезпечувати безпечну заправку автомобілів. Для розміщення роздавальних колонок необхідно передбачати острівці, що мають підвищення над прилеглою проїзною частиною на 0,15-0,20 м. За наявності на паливозаправному пункті декількох роздавальних колонок вони повинні розміщуватися так, щоб забезпечувалися безпечний проїзд і заправка автомобілів одночасно на всіх колонках. Будівництво та розташування наземних резервуарів для зберігання палива на території підприємства забороняється. Планування території паливозаправного пункту і розташування водоприймальних пристроїв повинні виключати попадання стічної води і нафтопродуктів за межі його території. Майданчики для пересувних паливозаправних пунктів повинні розташовуватися не ближче 12 м від виробничих будівель і споруд.

На території підприємства, яке експлуатує автомобілі, що працюють на газовому паливі, потрібно передбачати окремий майданчик під навісом із негорючих матеріалів для поста зливу зрідженого нафтового газу або випуску стиснутого природного газу в акумулюючі ємності з подальшою дегазацією балонів, установлених на автомобілі, негорючим (інертним) газом.

При сумісній експлуатації на підприємстві автомобілів, що працюють на зрідженому нафтовому газі і стиснутому природному газі, пости випуску і зливу газу можуть розміщуватися на одній площадці за умов роз'єднання їх глухою негорючою перегородкою, яка перевищує висоту транспортних засобів не менше ніж на 0,5 м. Відстань від майданчика (поста) зливу зрідженого нафтового газу або випуску стиснутого природного газу до виробничих, адміністративних і побутових будівель повинна бути не менше 20 м.

Приміщення для зберігання автомобілів не повинні безпосередньо з'єднуватися з іншими виробничими і допоміжними приміщеннями, де постійно знаходяться люди. За необхідності таке сполучення має здійснюватися

через тамбур-шлюз. Приміщення для зберігання автомобілів повинні мати безпосередній виїзд через ворота, які відкриваються назовні. Підлога в приміщеннях для зберігання автомобілів повинна мати ухил не менше 1% у бік трапів і лотків.

Автомобілі залежно від габаритних розмірів поділяються на чотири категорії.

Приміщення і відкриті майданчики для зберігання транспортних засобів уздовж стін і огороження території, де установлюються автомобілі, повинні мати колесовідбійні пристрої.

Висота колесовідбійних пристроїв має становити для автомобілів:

I категорії - 0,12 м;

II і III категорії — 0,3 м;

IV категорії - 0,4 м.

Відстань від стіни до краю колесовідбійного пристрою повинна бути не менше:

а) при установленні автомобілів паралельно до стіни:

I категорії - 0,4 м;

II категорії - 0,5 м; III і IV категорії - 0,7 м;

б) при установленні автомобілів перпендикулярно до стіни: для всіх категорій - на 0,5 м більше від заднього або переднього звисання автомобілів залежно від схеми їх розстановки.

Майданчики для зберігання транспортних засобів повинні мати тверде, рівне покриття і уклон в поздовжньому напрямку осі автомобіля не більше 1% і поперечному — не більше 4% .

Майданчики і підлога в приміщеннях для зберігання автомобілів повинні мати розмітку, що виконана незмивною фарбою або іншим способом і визначає місця установлення автомобілів і проїздів. При нанесенні розмітки слід враховувати, що відстань між двома автомобілями, що стоять паралельно, повинна бути достатньою для вільного відчинення дверей кабіни.

Майданчики для зберігання автомобілів, що перевозять отруйні та інфіковані речовини, фекальні рідини і сміття, повинні розташовуватися на відстані не менше 10 м одна від одної і від майданчиків для зберігання інших

автомобілів. Майданчики для зберігання автомобілів, що перевозять паливно-мастильні матеріали, повинні розташовуватися на відстані не менше 12 м одна від одної і від майданчиків для зберігання інших автомобілів.

Для полегшення запуску двигуна в холодний період року (при температурі повітря нижче - 15 °С) майданчики для відкритого зберігання автомобілів повинні бути обладнані засобами для їх підігрівання. Обладнання, яке полегшує запуск двигуна в холодний період року, має забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу і водіїв.

При обладнанні засобами підігрівання майданчиків для зберігання автомобілів, що працюють на стиснутому природному і зрідженому нафтовому газі, конструкція підігрівачів повинна виключати можливість нагрівання газових балонів.

Для зберігання електронавантажувачів повинно бути передбачене спеціальне приміщення. Зберігання їх у виробничих та допоміжних приміщеннях допускається як виняток, на спеціально відведених місцях і за умови, що електронавантажувачі не будуть захарашувати проїзди.

Виробничі і допоміжні приміщення та споруди необхідно використовувати тільки за їх призначенням, яке передбачене проектом. Використання їх не за прямим призначенням дозволяється у виняткових випадках за погодженням з територіальними органами державного нагляду. Розташування виробничих і допоміжних будівель, споруд має відповідати технологічному процесу обслуговування та ремонту транспортних засобів. На всі будівлі і споруди повинна бути документація (паспорти, акти, технічні журнали, проекти тощо).

Підлога в приміщеннях будь-якого призначення повинна бути рівна, з твердим покриттям, непроникна для ґрунтових вод, без виступів і вибоїн. Матеріали, що застосовуються для покриття підлоги, повинні мати гладку і неслизьку поверхню, зручну для очищення, відповідати експлуатаційним вимогам даного приміщення.

Ззовні при вході у виробничі і допоміжні приміщення повинні встановлюватися металеві решітки або інші пристрої для очищення взуття від бруду.

Приміщення для профілактичного обслуговування, діагностування, ремонту і зберігання автомобілів, що працюють на газі, повинні відповідати категоріям, класам і групам, які встановлюються згідно з Переліком категорій приміщень і споруд автотранспортних і авторемонтних підприємств за вибухопожежною та пожежною небезпечністю і класів вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зон за правилами будови електроустановок. При цьому в разі повного випуску газу із однієї секції, яка містить максимальну кількість балонів найбільшої ємності одного автомобіля (аварійна ситуація), концентрація газу в приміщенні не повинна перевищувати $2,267 \text{ г/м}^3$ вільного об'єму приміщення для стиснутого природного газу і $2,713 \text{ г/м}^3$ - для зрідженого нафтового газу.

Якщо розрахункова кількість газу, який надходить, перевищує зазначені величини, то приміщення необхідно додатково обладнати:

системою автоматичного контролю повітряного середовища, яка оснащена світловою і звуковою сигналізацією;

системою аварійної вентиляції і аварійного освітлення у вибухозахисному виконанні.

Приміщення для профілактичного обслуговування та ремонту транспортних засобів повинні забезпечувати безпечне виконання усіх технологічних операцій. Повітря робочої зони, шум, вібрація, освітлення тощо на робочих місцях виробничих приміщень повинні відповідати вимогам чинних нормативних актів. При розміщенні в спільному виробничому приміщенні ділянок (робочих місць), на яких під час технологічного процесу виділяються шкідливі речовини (газ, пил, аерозолі тощо), тепло, створюється шум, такі ділянки повинні розташовуватися в окремих приміщеннях, ізольованих від інших стінами до стелі.

Висота виробничих приміщень постів профілактичного обслуговування та ремонту автомобілів повинна бути такою, щоб відстань від верху автомобіля, що знаходиться на підйомнику, або від верху піднятого кузова автомобіля-самоскида, який стоїть на підлозі, до низу конструкцій покриття або перекриття, або до низу частин вантажопідіймального обладнання, що

виступають, була не менше 0,2 м. Найменша висота цих приміщень повинна бути не менше 3,0 м.

У приміщеннях фарбувальних, фарбоприготувальних і акумуляторних дільниць для виконання протикорозійних робіт і ремонту паливної апаратури, а також для ацетиленових генераторів підлога повинна бути виконана з матеріалів, які не дають іскри при ударі по них.

Для регулювання приладів газової системи живлення безпосередньо на автомобілі виділяється окреме від інших приміщення.

Дільниці, пости, майданчики для мийки автомобілів повинні мати уклон не менше 2% в бік приймальних колодязів і лотків, розташування яких виключає попадання стічної води (від миття автомобілів) на територію (у приміщення) підприємства. Пости миття автомобілів відокремлюються від інших приміщень (постів) глухими стінками з пароізоляцією і водотривким покриттям.

Міжповерхові отвори у виробничих приміщеннях повинні бути огорожені. Висота перил повинна бути не менше 0,9 м при одному проміжному горизонтальному елементі, низ перил повинен мати бортову обшивку висотою від підлоги не менше 0,1 м.

Входи в приміщення для виконання акумуляторних робіт і ремонту паливної апаратури необхідно відокремлювати від інших суміжних приміщень, коридорів і сходових кліток тамбур-шлюзами. Двері цих приміщень повинні відчинятися назовні. Для виконання робіт з кислотними і лужними акумуляторами необхідно передбачати окремі приміщення, в кожному з яких мають бути три поєднані між собою відділення, ізольовані від інших виробництв: перше - для ремонту, друге - для заряджання, третє - для зберігання кислоти (лугу) і приготування електроліту.

Для виконання фарбувальних робіт слід передбачати два приміщення: перше - для приготування фарби, друге - для постів фарбування і сушіння. Якщо фарбування здійснюється поза фарбувальними камерами або в камерах з відкритим отвором, то прорізи воріт у фарбувальне приміщення (із суміжного) повинні бути обладнані тамбур-шлюзом довжиною, що дорівнює половині ширини воріт, збільшеній на 0,2 м.

Приміщення для установки ацетиленового генератора повинно бути одноповерховим, ізольованим від інших, мати знімний дах і безпосередній вихід через двері, які відкриваються назовні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Діагностика форсунок є важливим аспектом обслуговування автомобілів, зокрема для тих, які використовують форсунки DEKA-1D 406.1132711-02. Забруднення форсунок може призвести до зниження ефективності роботи двигуна, погіршення показників споживання пального та викидів.

Експерименти показали, що забрудненість форсунок може призвести до збільшення часу запалювання пального, нерівномірного розподілу пального у циліндрах та зниження ефективності горіння. Це, в свою чергу, веде до погіршення динаміки розгону автомобіля, збільшення споживання пального та викидів шкідливих речовин.

З метою вдосконалення процесу діагностики було розроблено новий підхід, який передбачає використання сучасних діагностичних приладів, таких як тестери та датчики масової витрати повітря. Додатково було впроваджено систему автоматичного аналізу даних, яка дозволяє швидко і точно визначити ступінь забрудненості форсунок.

Для подальшого забезпечення надійної роботи автомобіля рекомендується проводити регулярну діагностику форсунок, зокрема в регіонах із низькою якістю пального. Якщо виявлено забрудненість форсунок, рекомендується їх промивання або заміна.

Вдосконалення технологічного процесу діагностики форсунок DEKA-1D 406.1132711-02 є актуальним та необхідним завданням, яке дозволяє забезпечити надійність та довговічність роботи автомобілів, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити екологічну безпеку.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Гевко І.Б. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

3. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

5. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

6. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни«Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.

8. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.

9. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

10. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
11. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
12. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
13. https://dok.ua/ua/stati-i-obzory/dvigatel_i_sistema_vuhlopa/79/toplivnaya-forsunka-vidy-konstrukciya-princip-raboty.
14. <https://vseosvita.ua/lesson/skladannia-palyvnoi-aparatury-65952.html>.
15. <https://www.arvenauto.com/ua/chistka-forsunok-injectora-ua-3970.html>.
16. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
17. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).
18. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).
19. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В.

Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ;
за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

20. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник
/ Пістун І. П., Хом’як Й. В., Хом’як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми :
Університетська книга, 2015. - 374 с.

21. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека.
частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП
Паляниця В. А., – 156 с.