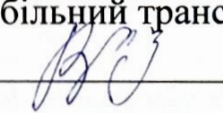


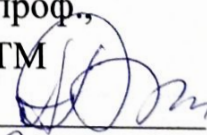
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Вдосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності
форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного
обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця
«Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області»

Виконав: студент 2 курсу,
групи 2АТ-23м, спеціальності
274 – Автомобільний транспорт
Скидан В.М. 

Керівник: д.т.н., проф.,
професор каф. АТМ
Кашканов А.А. 
« 06 » 12 2024 р.

Рецензент: д.т.н., проф.,
зав. кафедри ТАМ
Козлов Л.Г. 
« 16 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доц. Цимбал С.В.
« 16 » 12 2024 р. 

Вінниця ВНТУ – 2024 року

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 18 » 09 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Скидану Віталію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області.

керівник роботи Кашканов Андрій Альбертович, д.т.н., професор,

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

затверджені наказом ВНТУ від «17» вересня 2024 року № 310.

2. Строк подання здобувачем роботи: 06.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі, які обслуговує СТО; об'єкт дослідження – процес відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів автомобілів категорії М1; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст текстової частини:

1 Аналіз передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів.

2 Методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів.

3 Методика та практика забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів.

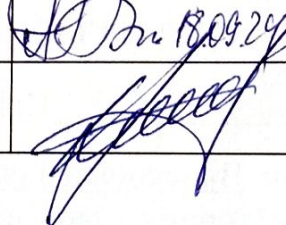
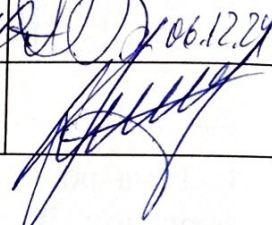
4 Визначення ефективності запропонованих рішень.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

- 4 Загальна характеристика діяльності СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області
- 5 Класифікація систем впорскування палива.
- 6 Конструктивні особливості та робочі процеси форсунок інжекторних двигунів.
- 7 Види впорскування палива у впускний трубопровід та форми струменя розпилю.
- 8 Алгоритм відновлення працездатності форсунок.
- 9 Стенд для діагностики та промивання форсунок.
- 10 Спосіб відновлення працездатності форсунок шляхом керування напругою.
- 11 Формування обсягів робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності.
- 12 Економічна ефективність розробки поста з відновлення працездатності форсунок.
- 13 Загальні висновки в МКР.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Кашканов А.А., професор кафедри АТМ	 18.09.24	 06.12.24
Визначення ефективності запропонованих рішень	Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ		

7. Дата видачі завдання « 18 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

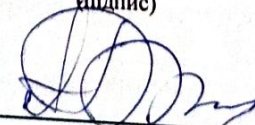
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	18.09-22.09.2024	вик
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	23.09-20.10.2024	вик
3	Обґрунтування методів досліджень	23.09-20.10.2024	вик
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-03.11.2024	вик
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	04.11-17.11.2024	вик
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	18.11-01.12.2024	вик
7	Нормоконтроль МКР	02.12-06.12.2024	вик
8	Попередній захист МКР	09.12-11.12.2024	вик
9	Рецензування МКР	12.12-16.12.2024	вик
10	Захист МКР	17.12-20.12.2024	вик

Здобувач


(підпис)

Скидан В.М.

Керівник роботи


(підпис)

Кашканов А.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.016

Скидан В.М. Вдосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – автомобільний транспорт, освітня програма – автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2024. 96 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 22 назв; рис.: 50; табл.: 6.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено заходи з Вдосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області. Зокрема на основі аналізу передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів та дослідження методико-технологічних аспектів відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів було сформовано заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування та визначено ефективність запропонованих рішень.

Графічна частина складається з 13 плакатів із результатами досліджень.

Ключові слова: автотранспортний засіб, інжекторний двигун, працездатність форсунок, станція технічного обслуговування автомобілів.

ABSTRACT

UDC 629.016

Skidan V.M. Improving the efficiency of work to restore the performance of injection engine injectors at the car service station of individual entrepreneur Mykola Volodymyrovych Ryabiy, Illintsi, Vinnytsia region. Master's qualification thesis on specialty 274 - road transport, educational program - road transport. Vinnytsia: VNTU, 2024. 96 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 22 titles; Fig.: 50; tab.: 6.

In the master's qualification work, measures were developed to improve the efficiency of work on restoring the performance of injection engine injectors in the conditions of the car service station of the individual entrepreneur “Mykola Volodymyrovych Ryabiy” in the city of Illintsi, Vinnytsia region. In particular, based on the analysis of the prerequisites for developing measures to improve the efficiency of work on restoring the performance of injection engine injectors and the study of methodological and technological aspects of restoring the performance of injection engine injectors, measures were formed to methodically and practically ensure the efficiency of work on restoring the performance of injection engine injectors in the conditions of a service station and the effectiveness of the proposed solutions was determined.

The graphic part consists of 13 posters with research results.

Keywords: vehicle, injection engine, injector performance, car service station.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ РОЗРОБКИ ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ ПО ВІДНОВЛЕННЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ	7
1.1 Загальна характеристика діяльності станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області	7
1.2 Особливості систем керування інжекторних двигунів	11
1.3 Конструктивні особливості та робочі процеси форсунок інжекторних двигунів	16
1.4 Методи відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів	20
1.5 Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ	24
2.1 Первинне діагностування стану паливної системи без її демонтажу	24
2.2 Технологія технічного обслуговування форсунок	26
2.3 Діагностування працездатності форсунок після обслуговування паливної системи	34
2.4 Алгоритм відновлення працездатності форсунок	36
2.5 Аналіз використовуваного обладнання для відновлення працездатності форсунок	39
2.6 Дослідження впливу забруднень електромагнітних форсунок на параметри бензинових двигунів	46
2.7 Висновки до розділу 2	56

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ТА ПРАКТИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ	57
3.1 Формування обсягів робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності	57
3.2 Стенд для технічного обслуговування та діагностування форсунок	62
3.3 Спосіб відновлення працездатності форсунки шляхом керування напругою	65
3.4 Економічна ефективність розробки поста з відновлення працездатності форсунок	72
3.5 Висновки до розділу 3	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78
ДОДАТОК А (обов'язковий). Ілюстративна частина	81
ДОДАТОК Б (обов'язковий). Протокол перевірки на плагіат	94
ДОДАТОК В. Програма та результати розрахунку ймовірності стану систем автомобіля Volkswagen Polo	96

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність використання автомобільного транспорту на перевезеннях різного призначення залежить від кількох ключових факторів: технічний стан автомобіля, тип транспортного засобу, маршрутизація та планування маршрутів, професійні навички водіїв, вантажопідйомність та завантаження автомобіля, умови руху. Ці фактори разом забезпечують економічну та ефективну експлуатацію автомобільного транспорту на перевезеннях різного призначення.

Належне обслуговування та технічний стан транспортних засобів забезпечують їхню надійність і знижують витрати палива. Витрата палива є важливим показником ефективності експлуатації, оскільки вона безпосередньо впливає на економічні витрати, екологічний вплив і загальну продуктивність автомобіля. Загалом, ефективне використання палива сприяє більш екологічній та економічній експлуатації автомобілів, а також покращує загальний стан транспортного засобу (ТЗ). Для зменшення витрати палива ТЗ оптимізують роботу системи керування двигунами (СКД), які складаються як мінімум з двох підсистем: системи керування складом паливної суміші та системи керування моментом запалювання. Форсунка в системі керування складом паливної суміші відіграє ключову роль. Вона забезпечує розподіл палива в потрібних пропорціях, що є важливим для ефективної роботи двигуна. Форсунка забезпечує правильне змішування палива з повітрям, створюючи оптимальну паливну суміш для згоряння. Звідси можна зробити висновок про актуальність обраної тематики.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України (КМУ) «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» № 430-р. від 30.05.2018 р та Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» № 2623-III від 05.02.2023 р.; Дане дослідження є

частиною наукової тематики кафедри автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – розробка заходів з удосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- виконати аналіз передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- дослідити методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- сформулювати заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області;
- визначити ефективність запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів автомобілів категорії М1.

Предмет дослідження – питання забезпечення стабільності параметрів ефективності робочих процесів форсунок інжекторних двигунів в умовах експлуатації.

Методи досліджень. Методологічна основа дослідження – системний підхід до аналізу технічних проблем. Методи досліджень застосовані в роботі: регресійний аналіз, математичне моделювання, реєстрація та обробка вимірюваних параметрів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Отримали подальший розвиток методико-технологічні підходи відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів.

Практична значимість отриманих результатів.

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи:

- дозволяють покращити ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- підвищують якість виконання робіт щодо виявлення несправностей системи керування складом паливної суміші.
- дозволяють покращити систему організації технічного обслуговування та поточного ремонту на підприємстві.

Достовірність теоретичних положень магістерської роботи засвідчує коректність використання математичних методів, строгість постановки задач наукового дослідження. Крім того, в роботі виконане порівняння отриманих результатів з відомими, отримана збіжність результатів моделювання і експериментальних даних.

Апробація результатів роботи. Деякі положення роботи доповідались та обговорювались на всеукраїнській науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, яка проходить з 21 жовтня 2024 року по 23 березня 2025 року у ВНТУ.

Публікації. Деякі положення та результати досліджень за участі автора опубліковані в матеріалах конференції [1].

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ РОЗРОБКИ ЗАХОДІВ З ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ ПО ВІДНОВЛЕННЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Загальна характеристика діяльності станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області

Станція технічного обслуговування (СТО) фізичної особи-підприємця (ФОП) «Рябій Микола Володимирович» знаходиться за адресою: 22700, Вінницька область, Іллінецький район, місто Іллінці, вулиця Садова, 25. До підприємства (рис. 1.1) облаштований дуже добрий під'їзд, який з'єднує територію підприємства з мережею доріг загального користування.



	Діагностика/ Огляд		Діагностика		Датчики та системи попередження		Гальмівна система
	Оливи та фільтри		Двигун		Підвіска		Вихлопна система
	Обслуговування кондиціонерів		Електрика		Відновлення, реставрація, ремонт автомобільних деталей		

Рисунок 1.1 – Послуги СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович»

СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» надає послуги з технічного обслуговування (ТО) та ремонту ТЗ, підбору та замовлення автозапчастин.

Виробнича структура управління СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» відображає розподіл праці між учасниками виробництва і призначена для рішення задач, що існують на підприємстві. Вона надає можливість підвищити продуктивність праці, покращити виробництво і якість робіт. Схема організаційної структури управління виробництвом наведена на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема організаційної структури управління підприємством

Основним показником, по якому проводиться оцінка діяльності підприємства, є об'єм реалізації послуг по ТО і ремонту автомобілів. Він визначається як вартість послуг, що виконуються по замовленню і підлягають оплаті. Аналіз основних показників виробничо-господарської діяльності філії СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» наведено в таблиці 1.1.

Вартість всіх послуг, що включені в загальний об'єм послуг і продукції, планується без вартості використаних при ремонті запасних частин і основних матеріалів, за які замовник розраховується окремо. В роздрібний товарообіг включається вартість проданих запасних частин, приладів та матеріалів.

Таблиця 1.1 – Аналіз основних показників виробничо-господарської діяльності СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович»

Показники	2022р	2023р	2024р
1. Послуги, грн.	2059000	2565000	3750000
2. Продаж запчастин, грн	2460000	3975000	4926000
3. Трудомісткість робіт, люд.-год.	30112	31450	33732

На протязі останніх років має місце покращення показників виробництва СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович», зважаючи на проведення ряду організаційно-технічних заходів, направлених на підвищення ефективності роботи підприємства.

Клієнтами автосервісного підприємства є власники приватних автомобілів. Розрахунок зі станцією ведеться як готівкою, так і по безготівковому розрахунку. Підприємство укладає угоди на планове технічне обслуговування та ремонт легкових автомобілів з колективними господарствами та автотранспортними підприємствами.

СТО має 6 постів обслуговування: 4 пости технічного обслуговування і поточного ремонту, 1 пост діагностування, 1 відновлення, реставрації та фарбування. Крім того на СТО влаштовано 1 пост миття автомобілів перед ТО та ПР. СТО має 4 підйомники, сучасні діагностичні стенди, мийку високого тиску, пристрої для балансування коліс, для ремонту шин, зварювальний апарат та зварювальні напівавтомати. На СТО встановлена сучасна система вентиляції, обладнана кімната для відпочинку власників автомобілів, які проходять ТО або ремонтуються. За день СТО обслуговує 8 – 12 автомобілів.

На території СТО є стоянка автомобілів для працівників і відвідувачів. Є продаж додаткового обладнання такого як звукові системи, центральні замки, сигналізації, запасні частини та матеріали.

Рівень праці на СТО організований на високому рівні. СТО працює за 6 денним робочим тижнем. Персонал на СТО кваліфікований багато працівників мають спеціалізацію для роботи з різноманітним інструментом, не тільки з тим, що працюють зазвичай, тому після модернізації не потрібно буде додатково проводити перекваліфікацію працюючого персоналу.

У відповідності до матеріалів річної фінансової звітності у 2024 році СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» мало показники подані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Наявні активи і пасиви підприємства

Показник	Величина
Будинки, споруди та передавальні пристрої	3600 тис. грн.
Машини і обладнання	2700 тис. грн.
Інструмент, прилади, інвентар	1200 тис. грн.
Запаси (матеріали, паливо, запасні частини та інш.)	300 тис. грн.

Організаційно-технічний рівень виробничо-технічної бази (ВТБ) підприємства характеризують такі показники:

1) Вартість ВТБ, в основних фондах ($B_{ВТБ}$)

$$B_{ВТБ} = \frac{\Phi_{ВТБ}}{\Phi_{о.в.}} \cdot 100; \quad \% \quad (1.1)$$

де $\Phi_{ВТБ}$ – вартість ВТБ, тис.грн.;

$$B_{ВТБ} = \frac{7500}{7800} \times 100 = 96 \, \%.$$

2) Фондомісткість

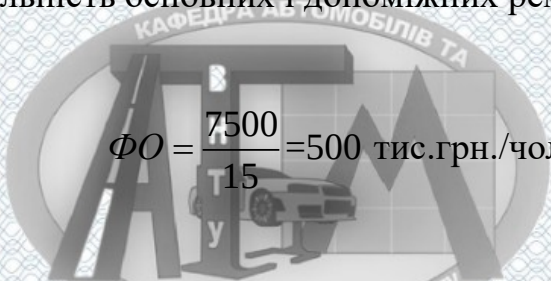
$$\eta = \Phi_{o.v} / P_{люд}, \text{ грн/ люд}\cdot\text{год}; \quad (1.2)$$

$$\eta = 7800000 / 32650 = 238,9 \text{ грн/ люд}\cdot\text{год}.$$

3) Фондоозброєність ремонтних робітників

$$\Phi O = \frac{\Phi_{ВТБ}}{P_{pp}}, \text{ тис.грн./чол}; \quad (1.3)$$

де P_{pp} – чисельність основних і допоміжних ремонтних робітників;



$$\Phi O = \frac{7500}{15} = 500 \text{ тис.грн./чол}$$

Проаналізувавши стан ВТБ СТО можна зазначити, що ВТБ придатна для виконання якісного ремонту і ТО ТЗ, але потребує вдосконалення технологічних операцій з відновлення працездатності інжекторних систем двигунів автомобілів, що дозволить збільшити продуктивність підприємства.

Вдосконалення технологічних операцій з відновлення працездатності інжекторних систем двигунів автомобілів може включати кілька напрямків, таких як: оптимізація процесів очищення, використання нових матеріалів, автоматизація процесів та використання сучасних інноваційних технологій.

1.2 Особливості систем керування інжекторних двигунів

На даний час СКД автомобілів інжекторних двигунів містять мінімум дві підсистеми: підсистему керування складом паливної суміші (рис. 1.3) та підсистему керування моментом запалювання.

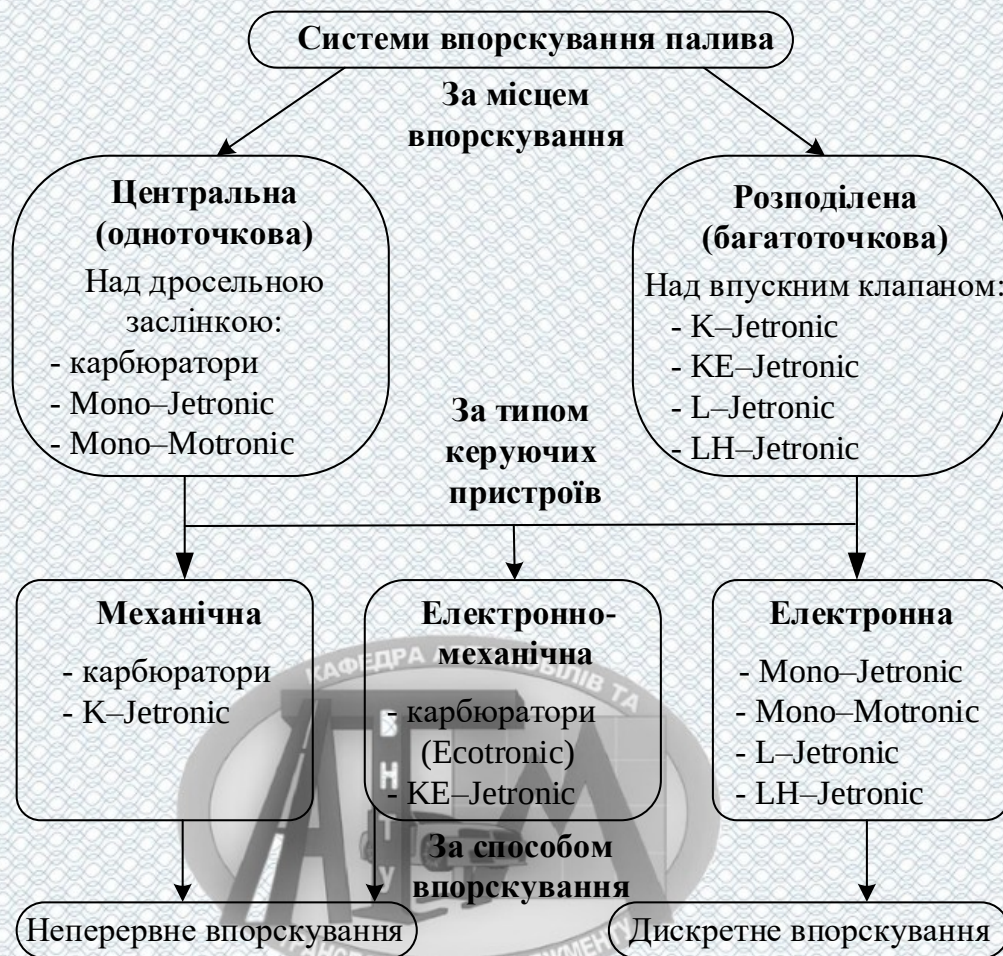


Рисунок 1.3 – Класифікація систем впорскування палива

Ці системи є взаємопов'язаними, оскільки зміна складу паливної суміші за обраним критерієм викликає зміну моменту запалювання з метою забезпечення необхідної ефективності двигуна.

Сучасна концепція СКД заснована на використанні єдиного блоку керування запалюванням і впорскуванням палива, іншими системами двигуна, трансмісії, ходової частини, бортової діагностики тощо.

Кожна з систем, керованих контролером, також забезпечується системою захисту від непередбачуваних наслідків у разі відмови контролера.

Керування запалюванням засноване на основі значень кута випередження запалювання у відповідності з інформацією, яка надходить від таких датчиків:

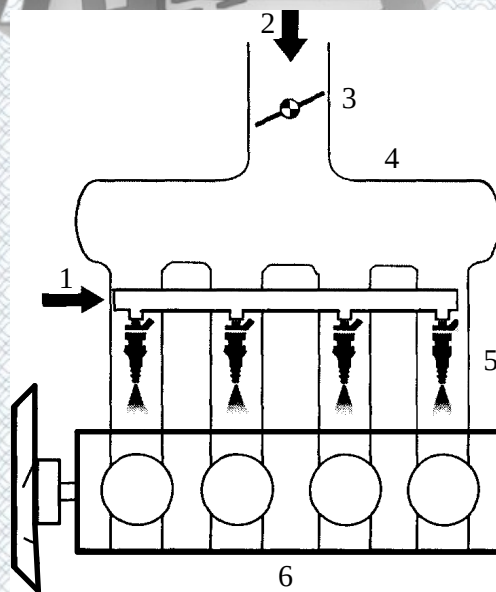
- положення дросельної заслінки;

- тиску і температури повітря у впускному колекторі;
- швидкості і положення маховика двигуна;
- температури охолоджувальної рідини;
- напруги в бортовій мережі.

Для керування запалюванням використовуються характеристичні карти, занесені в постійну пам'ять бортового комп'ютера. На основі цих карт подаються відповідні сигнали на первинну обмотку котушки запалювання для встановлення моменту випередження запалювання.

Системи впорскування інжекторних двигунів відрізняються місцем утворення паливо-повітряної суміші.

Робоча суміш в системах впорскування із зовнішнім сумішоутворенням утворюється у впускному колекторі. Типові представники – системи Multi Point Injection (рис. 1.4) та Single Point Injection (рис. 1.5).



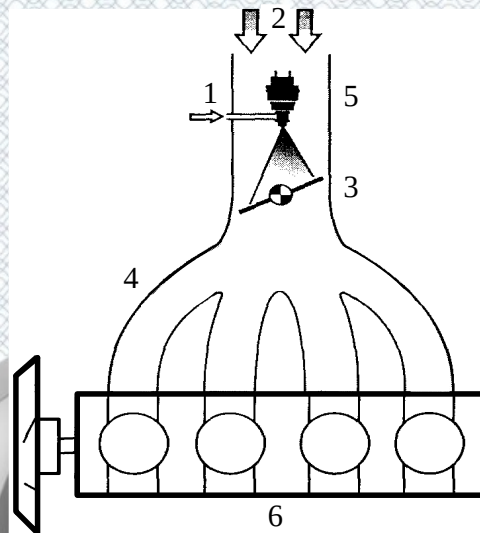
1 - паливна магістраль; 2 – повітряна магістраль; 3 - дросельна заслінка; 4 - впускний колектор; 5 - форсунка; 6 - блок циліндрів

Рисунок 1.4 – Система Multi Point Injection

Еволюція системи впорскування Multi Point Injection відбувалась в такій послідовності: механічна система К-Jetronic; електронно-механічна система KE-

Jetronic; електронні системи L-Jetronic, LH-Jetronic, M-Motronic, ME-Motronic.

В системі Single Point Injection (у Bosch є дві конструкції такого впорскування – Mono-Jetronic і Mono-Motronic) використовується одна форсунка з електромагнітним керуванням.



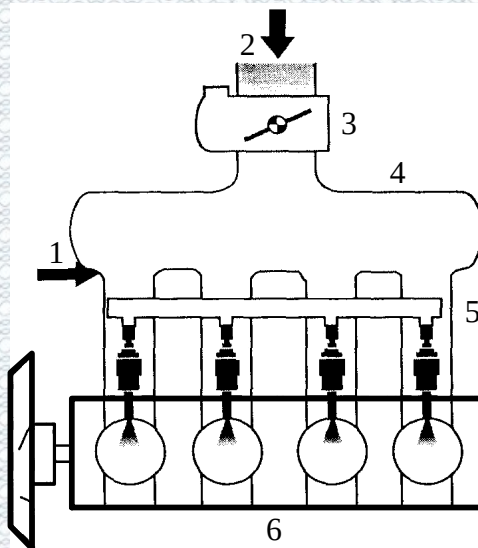
- 1 – подача палива; 2 – подача повітря; 3 – дросельна заслінка; 4 – впускний колектор;
5 – форсунка; 6 – блок циліндрів

Рисунок 1.5 – Система Single Point Injection

Системи із внутрішнім сумішоутворюванням є системами з безпосередньою подачею палива в камеру згоряння кожного циліндра (рис. 1.6).

В системі Bosch Motronic інтегровано функції систем запалювання та впорскування палива. Блок керування Bosch Motronic (рис. 1.7) обчислює початок і тривалість відкриття форсунки. Для цього використовуються сигнали датчиків про поточний стан та режим роботи двигуна. Система містить підсистему нейтралізації вихлопних газів за даними датчика кисню. Стабілізація обертів холостого ходу здійснюється за кутом випередження запалювання.

Bosch Motronic здатна адаптуватися до змін температури, вологості, тиску, експлуатаційного зносу деталей двигуна.



1 – подача палива; 2 – подача повітря; 3 – дросельна заслінка; 4 – впускний колектор;
5 – форсунка; 6 – блок циліндрів

Рисунок 1.6 – Система із внутрішнім сумішоутворюванням

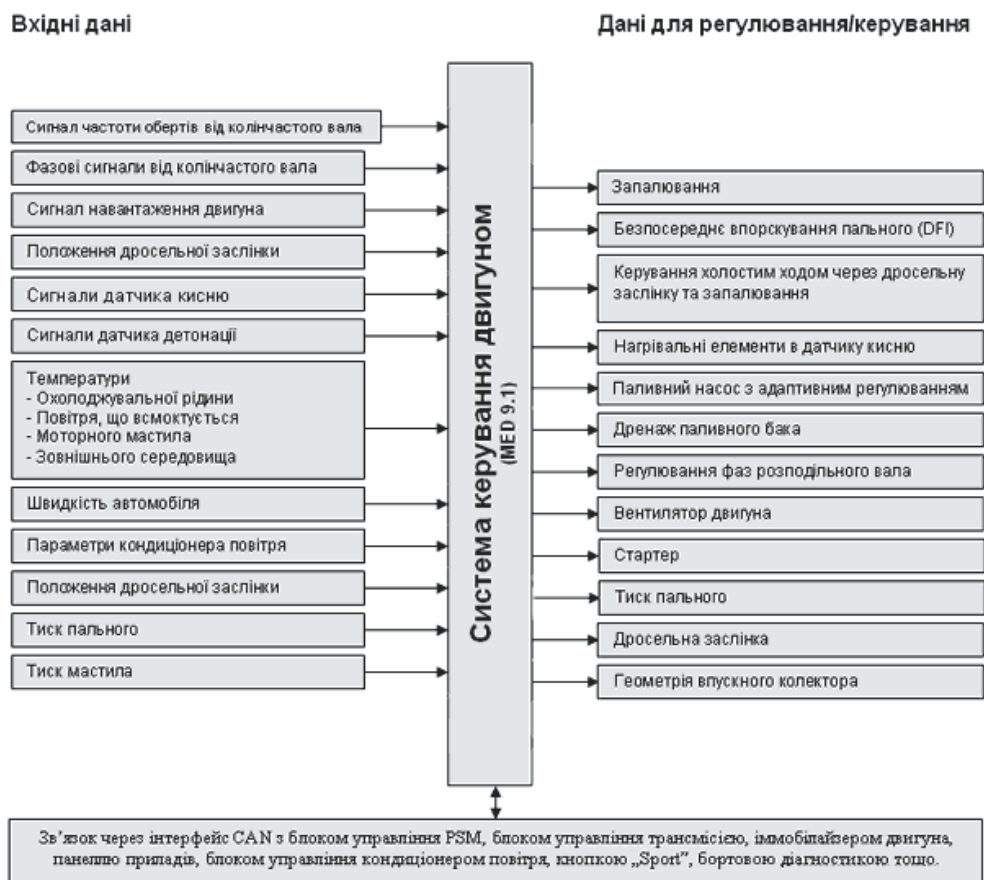


Рисунок 1.7 – Схема системи керування Bosch Motronic (MED 9.1)

Форсунка є одним з найважливіших елементів, відповідальних за правильну роботу двигуна. Безпосереднє керування впорскуванням виконує електроніка, а гідравлічна (механічна) частина забезпечує подачу палива. На механічну частину припадає переважна більшість відмов, характерною причиною яких є закоксування паливних форсунок.

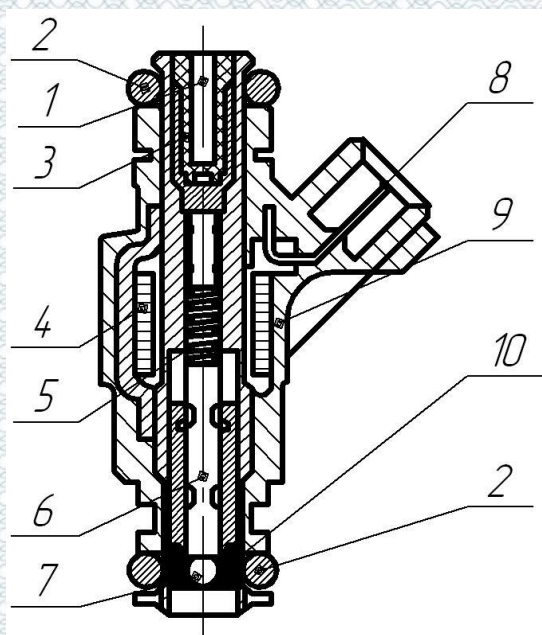
1.3 Конструктивні особливості та робочі процеси форсунок інжекторних двигунів

Електромагнітні форсунки (рис. 1.8) складаються з: корпуса 9, в якому розміщені електричний 8 і гідравлічний 1 сполучні роз'єми; обмотки електромагніта 4; рухливих голчастих клапанів 6 з якорем соленоїда й запірним сферичним елементом; сідла 10 клапана з розпилюючою пластиною або отвором 7 для впорскування палива; пружини 5.

Частини форсунки, які контактують із паливом, виготовлені з нержавіючої сталі. Фільтрувальна сітка 3 у прийомному каналі форсунки служить її захистом від забруднень, що знаходяться в паливі.

Подача палива відбувається по осі форсунки зверху вниз через паливопровід, що закріплений у сполучному роз'ємі 1. Ущільнювальне кільце 2 дозволяє герметично з'єднати паливну рейку з форсункою. До форсунки підводиться електроживлення.

Для розпилення палива використовується один чи декілька отворів у розпилювальній пластині. Її використання виключає утворення опадів палива. Розташування та число розпилювальних отворів визначають форму струменя палива, що розпилюється. Достатня герметичність клапана і сідла забезпечується за рахунок конструкції елементів (принцип ущільнення сферичний елемент/конус). Кількість впорскуваного палива за одиницю часу залежить від тиску в системі подачі палива, величини протитиску у впускному трубопроводі та геометрії зони виходу палива.



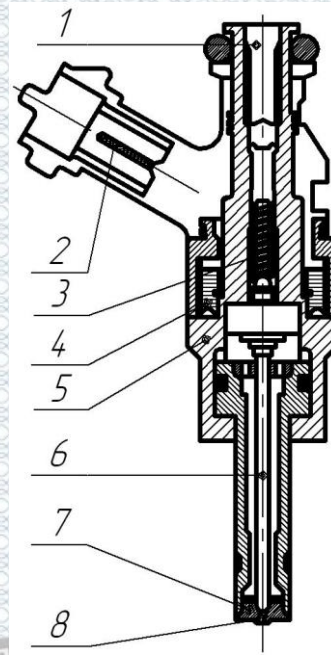
- 1 - гідравлічний сполучний роз'єм; 2 - ущільнювальне кільце; 3 - фільтрувальна сітка;
 4 - обмотка; 5 - пружина; 6 - голка клапана з якорем і запірним сферичним елементом;
 7 - розпилювальна пластина з отворами для впорскування палива; 8 - електричний
 з'єднувальний роз'єм; 9 - корпус форсунки; 10 - сідло клапана

Рисунок 1.8 – Конструкція електромагнітної форсунки

Форсунка високого тиску при безпосереднім впорскуванні являє собою перехідний пристрій між паливною рейкою й камерою згоряння. Її завдання – забезпечення контрольованого (залежно від режиму роботи двигуна) змішування палива з повітрям та розпилення цієї робочої суміші в певній зоні камери згоряння. Конструкція форсунки подана на рис. 1.9. При подачі електричного струму на обмотку соленоїда розпилювача створюється магнітне поле. Під дією цього поля відкривається інжекторний отвір. паливо впорскується в камеру згоряння за рахунок різниці тиску між камерою згоряння та паливною рейкою.

Переривається подача палива шляхом відключення електричного струму на обмотці соленоїда розпилювача.

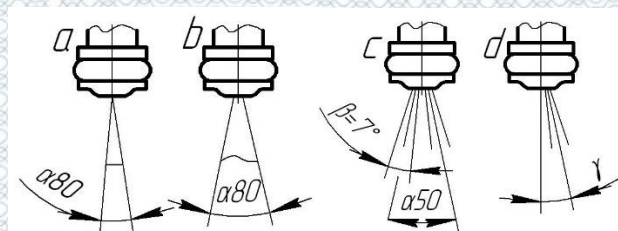
Впорскувана кількість палива є функцією тривалості відкриття форсунки, тиску в паливній рейці та протитиску в камері згоряння. Струмень розпилу палива форсункою (рис. 1.10) впливає на підготовку робочої суміші.



- 1 - впускний канал із сітчастим фільтром тонкого очищення; 2 - електричний роз'єм;
 3 - пружина; 4 - соленоїд; 5 - корпус форсунки; 6 - голка розпилювача з якорем соленоїда;
 7 - сідло; 8 - інжекторний отвір форсунки

Рисунок 1.9 – Конструкція форсунки високого тиску

Шнуровий струмінь підходить для вузьких трубопроводів і проміжків між точкою впорскування та впускним клапаном, має низький рівень атомізації палива і тому застосовується рідко.



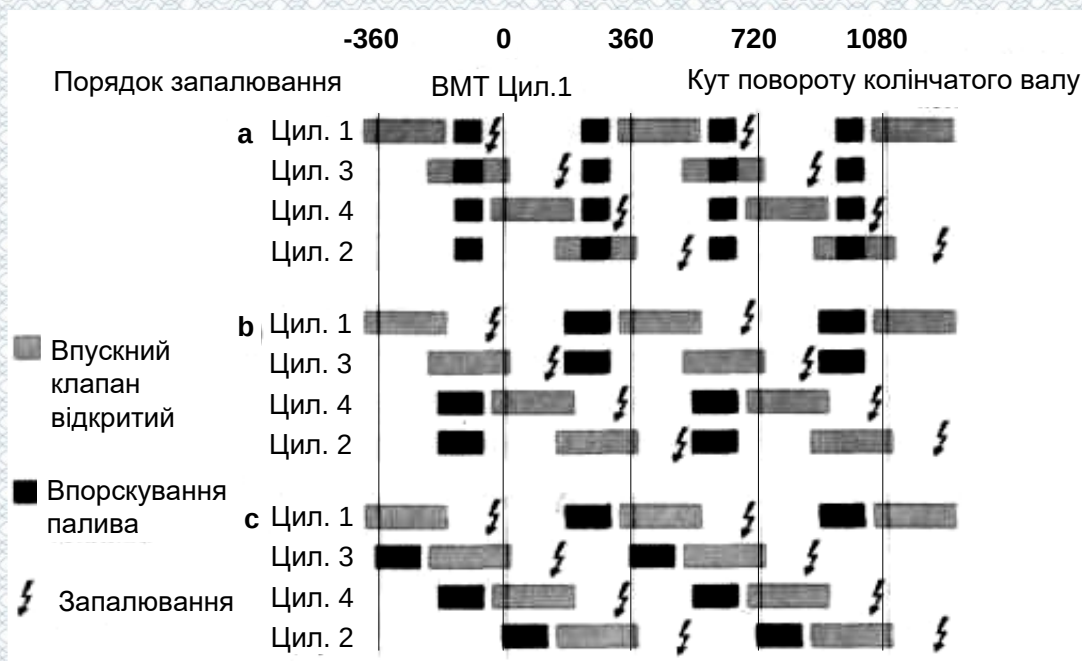
- a* - шнуровий струмінь; *b* - конічний струмінь; *c* - подвійний струмінь; *d* - відхилення осі розпилу від поздовжньої осі форсунки, кут α ; $\alpha 80$ – 80 % палива перебуває всередині кута α ;
 $\alpha 50$ - 50% палива перебуває всередині кута α ; β - 70% палива в окремому струмені перебуває всередині кута β ; γ - відхилення напрямку струменя від поздовжньої осі форсунки

Рисунок 1.10 – Форми струменя розпилу палива форсунками

Конічний струмінь використовується переважно в двигунах з одним впускним клапаном на циліндр. Тим не менш параметри конічного струменя придатні для двигунів з двома впускними клапанами на циліндр.

Подвійний струмінь необхідний у двигунах із двома і більше впускними клапанами на одному циліндрі. Формується він за рахунок отворів в пластині форсунки, вприскується на роздільну перегородку між впускними клапанами або перед ними. В умовах ускладненого монтажу форсунок допускається відхилення між віссю розпилю та повздовжньою віссю форсунки.

Види вприскування палива подані на рис. 1.11.



a - синхронне вприскування; b - групове вприскування; c - послідовне вприскування і індивідуальне вприскування в кожен циліндр

Рисунок 1.11 – Види вприскування палива у впускний трубопровід

Синхронне упорскування палива передбачає одночасну подачу палива усіма форсунками. Для ефективності процесу утворення робочої суміші необхідна для згоряння кількість палива ділиться на дві частини, які вприсковуються при кожному оберті колінчатого валу. Вибір моменту вприскування палива неможливий.

Групове впорскування палива передбачає об'єднання форсунок у дві групи. За один оберт колінчатого валу впорскується повна кількість палива форсунками лише однієї групи. Даний спосіб дозволяє забезпечити вибір моменту впорскування палива. Час, наявний для випару палива, у різних циліндрах двигуна також різний.

Послідовне впорскування палива передбачає введення форсунок в дію відповідно до порядку запалювання. Початок впорскування піддається програмуванню та корегуванню відповідно до режиму роботи двигуна.

Індивідуальне впорскування палива пропонує самий більший ступінь волі, оскільки можна впливати на момент впорскування в кожному циліндрі. Це дає можливість компенсувати нерівномірність процесів при наповненні циліндрів зарядом робочої суміші.

1.4 Методи відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів

Незалежно від конструкції форсунок і видів розпилу сідла форсунок та кінці запірних елементів (рис. 1.12) страждають від твердих смолистих відкладень, які є причиною виходу форсунок з ладу.

Процес утворення відкладення починається після зупинки двигуна. Із плівки палива на елементах розпилювачів випаровуються легкі фракції і залишаються важкі, з яких і утворюються смолисті відкладення. Після їх достатнього накопичення запірний конус не може щільно сісти на сідло. Так порушується герметичність форсунки. Після зупинки двигуна залишковий тиск палива в рампі зберігається ще певний час. Він помалу проштовхує бензин через негерметичний клапан, прискорюючи процес закоксування.

Забруднення форсунок може викликати зниження їх продуктивності, герметичності, якості розпилення палива, нерівномірність роботи у комплекті.



Рисунок 1.12 – Схема розпилювальної частини форсунки зі штифтовим запірним елементом

Про забрудненість форсунок можуть свідчити такі ознаки як утруднений пуск, нестійка робота двигуна на холостому ході, втрата потужності, підвищена витрата палива, провали при розгоні, поява детонації через збідніння суміші та зростання температури в камері згоряння тощо.

Можливою причиною незадовільної роботи форсунок може бути забруднення вхідного фільтру.

З метою мінімізації цих проявів виробники вдосконалюють конструкцію форсунок, точність їх виготовлення, застосовують нові матеріали. Нафтові компанії додають у бензини спеціальні миючі присадки. Але проблема залишається поки що не вирішеною.

Очищення форсунок можна здійснити за допомогою спеціальних добавок до палива (Fuel Injector Cleaner). При регулярному застосуванні присадки підтримується робочий стан форсунки довше ніж зазвичай, але така обробка скоріше є профілактичною і для автосервісу не підходить.

Найпростішим і поширенішим методом очищення форсунок є метод очищення на працюючому двигуні. При цьому використовується спеціальна установка для подачі палива до форсунки центрального впорскування або на вхід

паливної рампи (розподілена система) за відключеної штатної системи паливоподачі. Робота двигуна здійснюється на суміші спеціального складу, яка є одночасно як паливом, так і очисником. При проведенні процедури двигун не навантажується, тому очисній суміші не потрібно забезпечувати властивості щодо гарантування потужносних характеристик, детонаційної стійкості тощо. Акцент робиться на миючих властивостях складу для покращення ефективності очищення порівняно з попереднім методом. Тривалість самого чищення як правило складає 20-30 хв (без урахування підготовчих та заключних робіт).

Якщо якість роботи двигуна за допомогою методу очищення на працюючому двигуні не допомагає у повному обсязі, використовують спосіб чищення та перевірки знятих із двигуна інжекторів на стенді. Така процедура є дорожчою, ніж попередні, але більш ефективною за рахунок використання ультразвуку під час очистки та подальшого вирівнювання подачі палива на усі циліндри (допустима нерівномірність подачі палива складає 4-6%).

Якщо перераховані вище способи очистки не допомагають, залишається один шлях – заміна.

На даний час розроблено багато різних очисних агрегатів, хімічних речовин для очищення. Існуючі конструкції пристроїв близькі за своїми можливостями, істотною є різниця у складі очисних сумішей, у методах очистки за ефективністю.

1.5 Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження

На основі проведеного аналізу передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області, в подальшому в магістерській кваліфікаційній роботі слід розв'язати такі задачі:

- дослідити методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- сформулювати заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області;
- визначити ефективність запропонованих рішень.



РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ

2.1 Первинне діагностування стану паливної системи без її демонтажу

Чистота форсунки прямо впливає на стан двигуна автомобіля. Для проведення процедури очистки форсунок необхідно зрозуміти потребу в ній та обрати метод чищення. Тому початковим етапом є проведення діагностування та оцінки стану паливної системи безпосередньо на автомобілі.

В процесі діагностування в першу чергу слід визначити розрідження у впускному колекторі, час впорскування, склад відпрацьованих газів. Це дасть змогу порівняти якість проведених робіт.

Технологічний процес діагностування залежить від оснащеності вимірювальними приладами. Типовими необхідними приладами є універсальний сканер, мотортестер. Також можна отримати результати виміру за допомогою осцилографа. Первинна діагностика починається з перевірки тиску палива в паливній магістралі. Необхідно приєднати манометр (рис. 2.1), запустити двигун та виміряти тиск на холостому ході двигуна; на холостому ході з відімкненим вакуумним шлангом керування регулятора тиску палива (рис. 2.2); при короткочасному пережиманні шланга зворотного зливу палива.

Після виконання цих вимірювань потрібно зупинити двигун і перевірити тривалість збереження тиску в паливній магістралі. Для перевірки продуктивності насоса слід від'єднати шланг зворотного зливу палива в бензобак. Вимір кількості вихідного палива за одну хвилину робимо зі штуцера зворотного зливу палива. Перевірку електричних параметрів робимо сканером. У меню датчиків і виконавчих механізмів слід обрати: швидкість обертання колінчатого валу двигуна, тиск у впускному колекторі, час відкриття інжекторів, положення клапана регулювання холостого ходу, датчик кисню.



Рисунок 2.1 – Вимірювання тиску манометром

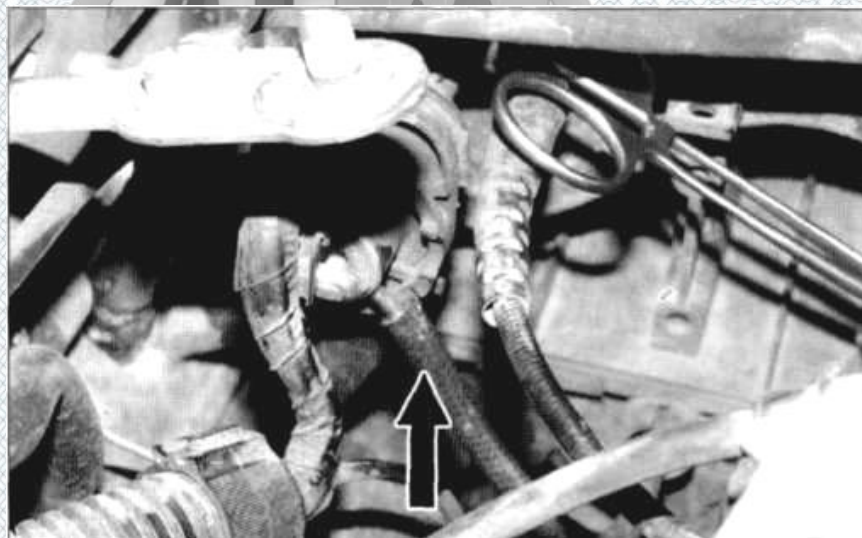


Рисунок 2.2 – Робота двигуна на холостому ходу з відімкненим вакуумним шлангом керування регулятором тиску палива

Обов'язково прогріваємо двигун до повного відкриття термостата, а потім проводимо контрольні вимірювання у режимі холостого ходу та при 2500 об/хв колінчатого вала двигуна.

Якщо використовувати для первинної діагностики осцилограф

доведеться аналізувати інші дані – час відкритого стану інжектора (регулятор "Час/розподіл" установити - 1 мс, а регулятор "V/розподіл" – 5В). Виміри слід зробити на двох режимах роботи двигуна (як при роботі зі сканером). Потім слід виміряти сигнал датчика кисню (регулятор "Час/розподіл" установити – 50 мс, а регулятор " V/розподіл" - 0.2 В).

Також при проведенні діагностики потрібно перевірити склад відпрацьованих газів.

2.2 Технологія технічного обслуговування форсунок

Порядок проведення технологічних операцій по технічному обслуговуванню форсунок проілюструємо на прикладі автомобіля Volkswagen Polo. Проведемо попередню діагностику, обслуговування форсунок, формалізацію отриманого результату.

Результати попередньої діагностики сканером такі:

1. Електронний блок керування (ЕБК) зафіксував одну помилку (00533) - некоректна робота регулятора холостого ходу.
2. Тривалість відкритого стану інжектора на холостому ходу 5,3 мс.
3. Тривалість відкритого стану інжектора на 2500 об/хв колінчатого валу без навантаження складає 3,5 мс.

Спостереження сигналу за допомогою мотортестера показало, що після розгону двигуна до 4000 об/хв та різкого закриття заслінки не завжди відключається подача палива (режим економайзера примусового холостого ходу (ЕПХХ)), а коли відключається, то двигун може навіть «заглохнути».

Робота датчика кисню на холостому ходу характеризується випадковими провалами – ознака нестачі палива (рис. 2.3). Починаючи з 2000 об/хв ці провали практично зникають. Амплітуда сигналу у всіх випадках перевищує 600 мВ, що є достатнім. Спостерігається не стійка робота двигуна на холостому ходу, часто при спаданні обертів він глухне.



Рисунок 2.3 – Робота датчика кисню на холостому ході

На основі довідкових даних по автомобілю Volkswagen Polo встановлюємо, що час відкриття інжектора при роботі двигуна в режимі холостого ходу не може перевищувати 4,8 мс; фіксуємо нечітку роботу ЕПХХ; на основі сигналів датчика кисню відмічаємо пропуски подачі палива в режимі холостого ходу.

Аналіз результатів попереднього діагностування вказує на потребу зняття форсунок, чищення їх на стенді та обов'язкову заміну фільтра інжектора.

Перед початком роботи із промивання, перевіряємо роботу паливного насоса. Якщо виявиться, що насос має несправності, то після чищення форсунок двигун може не запуститися.

Тиск палива з підключеним шлангом керування вакуумом (рис. 2.4) складає 2.7 Bar, з відключеним – 3.4 Bar (рис. 2.5).

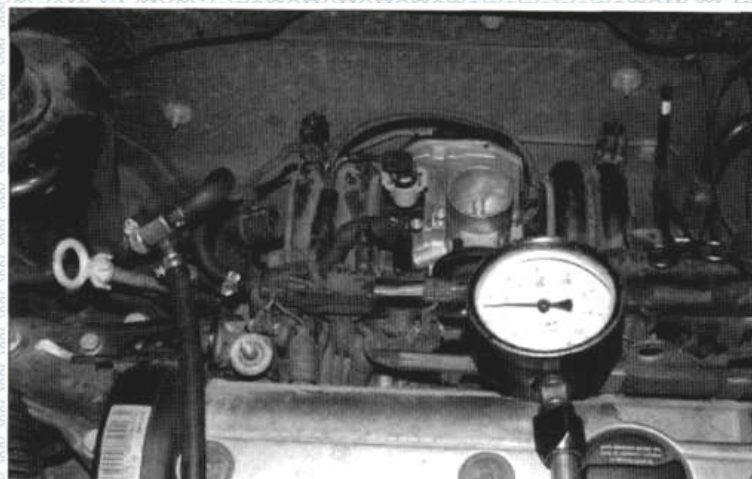


Рисунок 2.4 – Виміри з підключеним вакуумом

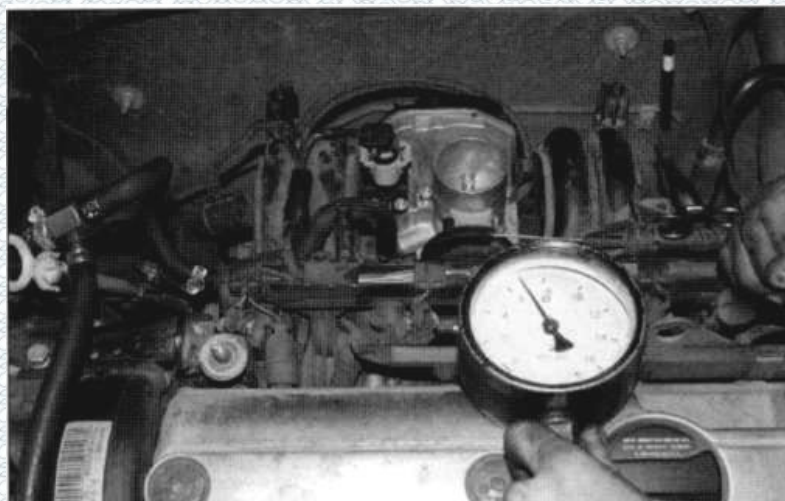


Рисунок 2.5 – Виміри з відключеним вакуумом

Короткочасне пережимання шланга зворотного зливу палива в бак підвищує тиск до 6.5 Bar. При такому тиску спрацьовує обмежувальний клапан паливного насоса. Тривалість утримання тиску палива без змін (після вимикання двигуна) складає близько 10 хвилин. Результати свідчать, що насос подачі палива й регулятор тиску знаходяться в справному стані, тому можна проводити чищення.

Насамперед треба зняти рампу разом з форсунками (рис. 2.6). Акуратно, без пошкодження гумових ущільнень, витягаємо форсунки з паливної рампи. Виймаємо ущільнювальні кільця й оглядаємо на предмет ушкоджень (при потребі вони підлягають заміні). Ущільнення форсунки в паливній магістралі слід замінити на нове. Відмиваємо форсунки зовні від «великого» бруду перед тестуванням та очищенням в ультразвуковій ванні (це продовжить термін служби промивної рідини).

Спочатку перевіряємо герметичності форсунок. Для цього встановлюємо тиск трішки вищий за робочий та запускаємо контрольне тестування. По закінченню тесту (зазвичай це 1 хвилина), обладнання само завершує свою роботу. Порядок та вимоги до тесту не є уніфікованими і залежать від програми, закладеної виробником. До прикладу, Toyota вважає припустимою появу однієї краплі палива протягом однієї хвилини.



Рисунок 2.6 – Зняття рампи разом з форсунками

Далі виконуємо тест на продуктивність та якість розпилу за допомогою спеціального пристрою, який дозволяє провести одночасну перевірку роботи всіх форсунок з імітацією будь-якого режиму їх роботи на двигуні. Особливої наочності процес набуває у режимі холостого ходу двигуна (зміна напрямку струменів практично при кожному спрацьовуванні).

Для перевірки якості розпилу палива форсунками передбачений відповідний режим. Конструкція форсунок визначає форму факела розпилу. Важливо щоб факели усіх форсунок були однаковими й паливо розпорошувалося на часточки без утворення великих крапель. Різниця продуктивності форсунок повинна бути мінімальною, оскільки зворотний зв'язок за сигналами лямбда-зонду відбувається за усередненими показниками складу вихлопних газів двигуна в цілому.

У нашому випадку перша перевірка наливу кожної форсунки показала такий результат: 1й циліндр 38 см^3 , 2й циліндр 42 см^3 , 3й циліндр 35 см^3 , 4й циліндр 39 см^3 . Всі ці значення отримані при тиску випробовуваної рідини 3 Bar, частота 1500 об/хв, час відкритого стану форсунки 10 мс. Тривалість перевірки 200 с. Знімаємо форсунки з випробувального стенду й використовуючи пристосування подане на рис.2.7, витягаємо входні фільтрувальні елементи

форсунок (рис. 2.8). З огляду на малу вартість фільтрів, рекомендовано їх заміну при кожному чищенні.

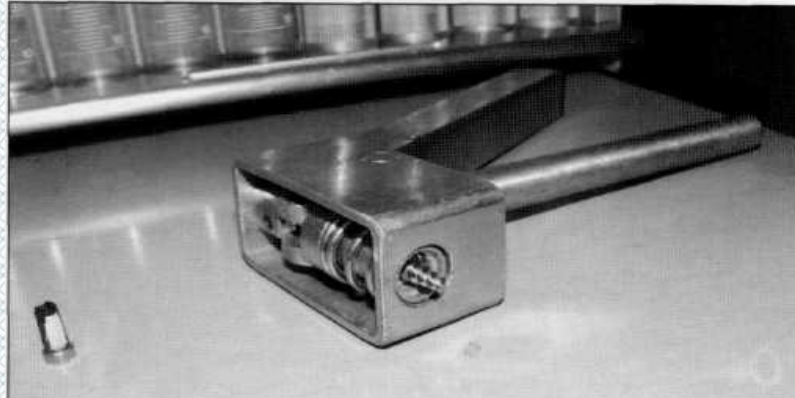


Рисунок 2.7 – Пристосування для зняття вхідних фільтрів форсунок



Рисунок 2.8 – Вхідні фільтри форсунок

Різноманітність конструктивних рішень форсунок спонукає до застосування різних перехідників для приєднання до паливної рампи стенду. Базова комплектація багатьох стендів для чищення форсунок передбачає наявність таких пристосувань.

Для очищення форсунок встановлюємо їх на спеціальний аплікатор. Очисну рідину наливаємо у ванну у кількості, яка дозволяє занурити дозуючу частину форсунок. Підключаємо електричні рознімання форсунок для їх відкриття під час очищення (рис. 2.9), і запускаємо процес.

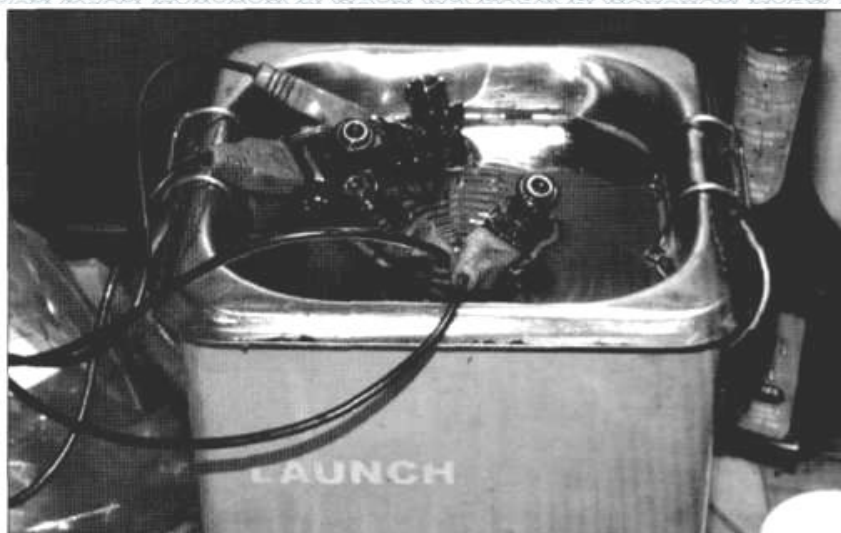


Рисунок 2.9 – Ультразвукова ванна

Після процедури ультразвукової чистки значно покращився зовнішній вигляд форсунок, практично однаковою стала форма факелів розпилу. Далі продовжуємо чищення на стенді, заправленому рідиною для чищення форсунок. За допомогою перехідників змонтуємо форсунки на рампі так, щоб напрямок потоки промивної рідини було спрямовано у зворотному напрямку. Це дозволить швидко позбутися від усіх відкладень на внутрішній порожнині форсунки. Далі перевіряємо продуктивність форсунок у звичайному напрямку потоки рідини й порівнюємо з результатами початкової перевірки. Варто очікувати вирівнювання продуктивності форсунок, а не її різкого збільшення.

Важливим моментом є обслуговування й налаштування регулятора холостого ходу та вузла дросельної заслінки (рис. 2.10).

В процесі експлуатації двигунів транспортних засобів поступово накопичуються забруднення в зоні контактів заслінки з корпусом. Ці забруднення можуть стати причиною поганого закриття заслінки до потрібного положення, що призводить в такому випадку до великих похибок у показаннях датчика положення заслінки, які надходять до ЕБК (рис. 2.11).



Рисунок 2.10 – Вузол дросельної заслінки й регулятора холостого ходу

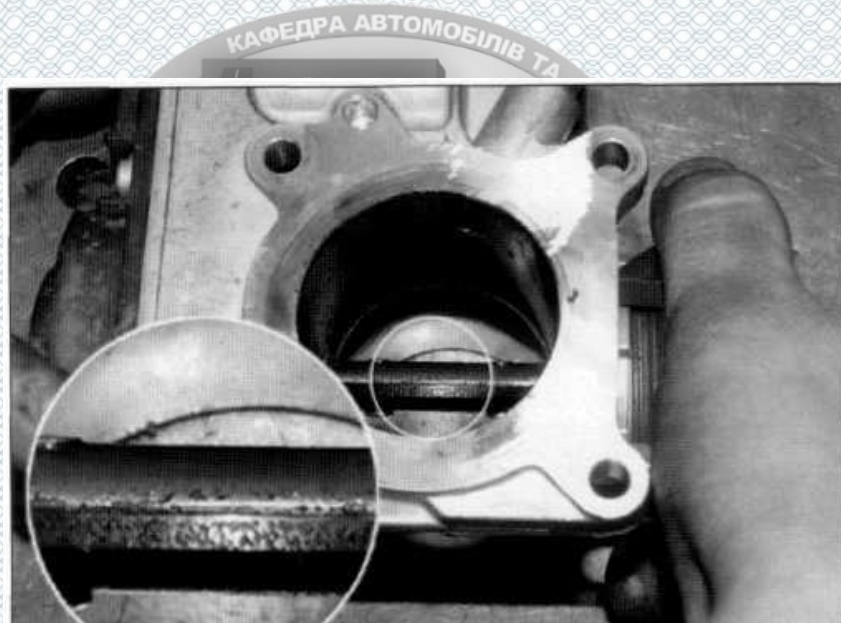


Рисунок 2.11 – Забруднення в зоні контакту заслінки з корпусом

Похибки у показаннях датчика положення заслінки спричиняють некоректне керування режимом холостого ходу й режимом ЕПХХ. Потрібно регулярно підтримувати чистоту поверхні прилягання заслінки й саму заслінку. Якщо регулятор керування холостим ходом виділений конструктивно в окремий вузол (рис. 2.12), треба цей пристрій обслужити до чистоти нової деталі.



Рисунок 2.12 – Регулятор керування холостим ходом

Після обслуговування слід правильно встановити заслінку, а потім, відрегулювати датчик положення заслінки.

Остання перевірка продуктивності форсунок дала очікуваний результат (рис. 2.13), тому її слід змонтувати на автомобілі й перевірити результати роботи.

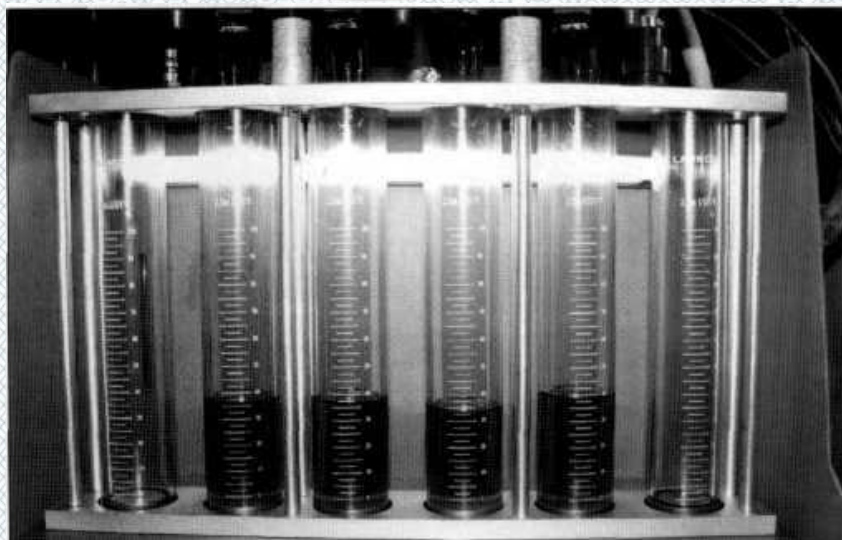


Рисунок 2.13 – Перевірка продуктивності інжекторів

Після складання проводять перевірку на відсутність підтікання палива шляхом кількох включень запалювання без запуску двигуна для того, щоб насос прокачав паливо й створив робочий тиск в паливній системі.

Останній етап – запуск двигун і перевірка відсутності підтікання палива. Виконується шляхом прогрівання двигуна до температури повного відкриття термостата і наступного остаточного діагностування.

2.3 Діагностування працездатності форсунок після обслуговування паливної системи

Після обслуговування паливної системи треба враховувати деякі питання діагностики, яка проводиться за допомогою сканера, мотортестера або осцилографа.

Для початку, очистимо пам'ять ЕБК від помилок накопичених під час некоректної роботи паливної системи. Для цього у режимі холостого ходу необхідно імітувати навантаження на двигун так, щоб регулятор відреагував на цю дію, і спостерігати за його роботою. Приведемо кілька варіантів.

1. Від'єднати розетку датчика температури двигуна (датчик для системи подачі палива) при виключеному запалюванні, а потім увімкнути в розетку резистор змінного опору. Встановити опір на резисторі, який відповідає температурі не прогрітого двигуна (близько 3000 Ом). Після запуску двигуна, встановити оберти вище рівня холостого ходу. Переміщення регулятора потенціометра убік зменшення опору повинно призвести до повернення обертів у нормальний стан. Після перевірки слід виключити запалювання й відновити з'єднання датчика температури.

2. Якщо автомобіль обладнаний системою кондиціонування повітря, можна включити її. Це призведе до збільшення обертів двигуна.

3. При включеному стоянковому гальмі запустити двигун, натиснути важіль вимикання зчеплення, увімкнути четверту передачу й навантажувати двигун шляхом повільного відпускання важеля зчеплення. При падінні обертів регулятор повинен відновити їх до встановленого значення. Коли прийде момент, що регулятор буде неспроможний вирівняти оберти, варто різко натиснути

важель зчеплення. Оберти двигуна зростуть значно вище ніж холості, а потім плавно встановляться на заданому значенні.

Після таких дій прилад для читання помилок пам'яті ЕБК покаже справність ситем.

Перевірку часу відкритого стану форсунки можна здійснити за допомогою приладу для читання інформації з ЕБК двигуна. Під час вимірів було зафіксовано: час відкриття форсунки в режимі холостого ходу складає 4,2 мс, при 2500 об/хв – 2,8 мс. Перевірка роботи режиму ЕПХХ осцилографом чи спеціальним сканером більш інформативна, оскільки забезпечується графічне подання інформації.

Роботу датчика вмісту кисню у вихлопних газах можна спостерігати на екрані осцилографа або сканера. Сигнал датчика є рівномірно змінним (рис. 2.14).

Отже результати перевірки роботи систем показують, що після обслуговування істотно покращилась робота двигуна. Можна впевнено стверджувати, що пробна поїздка покаже, що двигун набагато краще розганяє автомобіль і при спокійній їзді можна розраховувати на більше економічну його експлуатацію.

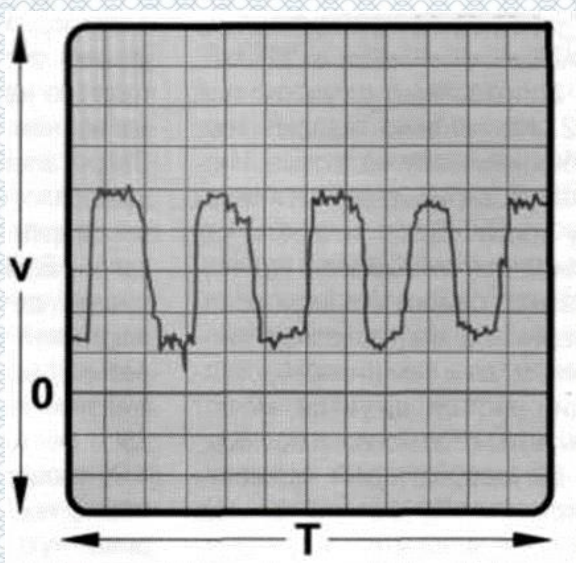


Рисунок 2.14 – Робота датчика вмісту кисню

При демонтажі форсунок з автомобіля з досить великим пробігом та без регулярного обслуговування, досить часто руйнуються окремі деталі самої форсунки: сопло 1 і тепловідбиваючий екран 2 (рис. 2.15). Щоб усунути такі випадки, необхідно мати декілька комплектів ремонтних виробів, призначених для цієї мети.



Рисунок 2.15 – Місця руйнування форсунки

Для перевірки якості розпилу палива форсунками на стенді передбачено режим перевірки модульованим сигналом по частоті відкривання й тривалості заповнення та режим потоку через повністю відкриту форсунку.

2.4 Алгоритм відновлення працездатності форсунок

Провівши діагностику технічного стану форсунок і паливної системи, можна скласти таку схему (рис. 2.16) послідовності виконання робіт по відновленню їх працездатності.

Дана схема послідовності виконання робіт складається з 5 частин: 1 – попередня діагностика сканером; 2 – чищення і промивка; 3 – складання; 4 – заміна магістрального паливного фільтра; 5 – перевірка (діагностика).

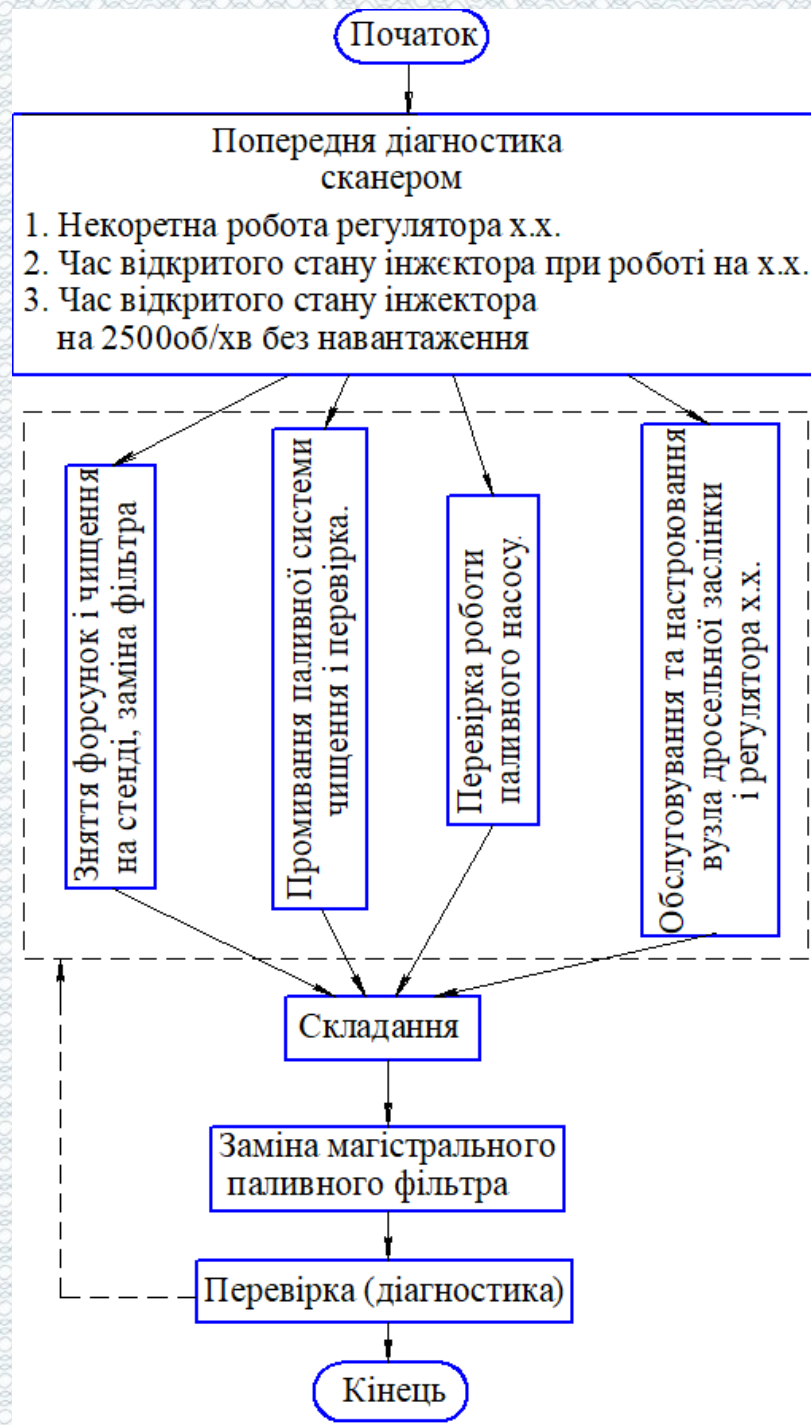


Рисунок 2.16 – Послідовність виконання робіт по відновленню їх працездатності форсунок

Основні етапи робіт по відновленню працездатності форсунок

Розбирання:

- 1 Від'єднуємо електророз'єми від форсунок.
- 2 Звільняємо джгут проводів форсунок від додаткових точок кріплення.

- 3 Послаблюємо хомут і знімаємо корпус повітряного фільтра.
- 4 Від'єднуємо роз'єм датчика температури повітря.
- 5 Відкручуємо гайки кріплення паливної рампи до впускного колектора.
- 6 Витягуємо рампу разом з форсунками.
- 7 Витягуємо форсунки з паливної рампи.
- 8 Витягуємо ущільнювальні кільця з отворів у колекторі й оглядаємо на предмет ушкодження.

Перевірка герметичності форсунок:

- 1 Установлюємо тиск трохи вище робочого.
 - 2 Запускаємо тест перевірки.
 - 3 Припустиме значення не більше однієї краплі палива протягом 1хв.
- Тестування на продуктивність і якість розпилу за допомогою пристрою:

- 1 Встановлюємо форсунки на пристрій.
- 2 Вибираємо режим роботи двигуна.
- 3 Проводимо аналіз

Перевіряємо якість розпилу палива форсунок

- 1 Встановлюємо форсунку на стенд.
- 2 Проводимо розпил, при цьому контролюємо параметри:
 - а) однакова форма факела;
 - б) відсутність великих крапель;
 - в) показання наливу кожної форсунки.

4 Очищення

- 1) Встановлюємо форсунки на спеціальний аплікатор.
 - 2) Наливаємо у ванну рідину для чистки.
 - 3) Підключаємо електричні рознімання.
 - 4) Запускаємо процес.
- 5 Перевіряємо баланс продуктивності.

6 За допомогою перехідників встановлюємо форсунки на рампі установки так, щоб напрямок потоку промивної рідини було спрямовано у зворотньому напрямку.

7 Перевіряємо продуктивність форсунок у звичайному напрямку.

2.5 Аналіз використовуваного обладнання для відновлення працездатності форсунок

Стенд ДД-2200 призначений для перевірки й очищення бензинових форсунок системи електронного впорскування палива.

Основною проблемою всіх систем впорскування палива бензинових двигунів є закоксування форсунок у міру експлуатації, що негативно впливає на роботу двигуна з наступними симптомами:

- нестійкий холостий хід;
- проблеми при прискоренні;
- незадовільні пускові характеристики;
- підвищена витрата палива;
- втрата потужності й т.д.

Усунути цю проблему можна за допомогою стенда ДД-2200. Стенд розділяється на дві частини:

- перша — випробування форсунок
- друга — очищення форсунок

Це дозволяє проводити наступні випробування:

Витрата палива — замірить і порівнює витрату палива через форсунки.

Якість розпилювання — контроль і порівняння якості розпилю форсунок при різних обраних або заздалегідь установлених швидкостях (обертах двигуна).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики стенда ДД-2200

тип	настільний
Діапазон відтвореного тиску, МПа (кгс/див2)	0...0...0,6 (0...6,0)
Межа наведеної погрішності, що допускає основної, виміру тиску, %	± 1,0
Ємність для робочої рідини, л, не менше	5
Живлення: напруга змінного струму, В	220
Споживана потужність, Вт	300
Габаритні розміри, мм, не більше	710 x 530 x 900
Маса (без рідин), кг, не більше	45
Кількість обслуговуючого персоналу	1

Таблиця 2.2 – Комплект ДД-2200

Найменування	Позначення
1. Стенд	ДД-2200
2. Колектор підведення рідини	ДД-2200.01
3. Паліть проводів для форсунок	
4. Короб	ДД-2200.50
5. Пристосування для зняття фільтра	ДД-2200.51
6. Пристосування для зняття ковпачка	ДД-2200.52
7. Опрання для ультразвукового очищення	ДД-2200.53
8. Мірні посудини	100 мол
9. Рукав підведення рідини до форсунок $d_y=6$	
10. Робоча рідина	НЕФРАС-С
11. Миюча рідина	INJECTION SISTEM PURGE
12. Посібник з експлуатації	ДД 2200 РЭ
13. Інструкція для експлуатації енергобензонасоса	ИЭ 4573-1-95
14. Паспорт ванни ультразвуковий	УЗВ-1/100 ТН

Випробування на витоки — контролює форсунки на витоки.

Очищення форсунок — дозволяють очищати форсунки від не розчинних у бензині карбонатних відкладень в ультразвуковій ванні.

Використання ДД-2200 дозволяє:

- одночасно очищати до 8 форсунок;
- випробувати працездатність бензинових форсунок;
- провести ефективне очищення форсунок від не розчинних у бензині відкладень;
- і, що немаловажно, відразу перевірити працездатність форсунок після очищення.

Стенд для перевірки форсунок інжекторних двигунів "Форсаж"

Стенд може працювати в режимі тестування форсунок на витрату при різних режимах роботи двигуна, включаючи режим холостого ходу, малих, середніх і повних обертів, а також дозволяє визначати пропускну здатність форсунок при безперервному проливанні. Під час названих випробувань можливе проведення стробоскопування моментів відкриття й закриття форсунок і контроль форми факела.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики

Число перевіряємих форсунок	6 штук
Типи форсунок, що перевіряють	EURO, JAPAN
Контроль факела	стробоскопічний
Контроль затримки упрскування	інструментальний
Система очищення форсунок	ультразвукова з відмиканням клапанів
Іспитовий тиск	0,3 МПа
Напруга живлення	220 В
Габаритні розміри	950 x 790 x 450 мм
Маса	24 кг
Заправний об'єм рідини для тестування	4 літри
Робочий об'єм ультразвукової ванни	2 літри
Потужність ультразвукового випромінювача	50 Вт

Стенд ультразвукового очищення форсунок WebSonic

Стенд WEBSONIC - це впровадження новітніх технологій у сфері сервісу профілактики й відновлення працездатності форсунок всіх типів, як механічних (тип - К, KE JETRONIC), так і всіх видів електронних (включаючи й з бічною подачею). Стенд призначений для перевірки, ультразвукового очищення й наступного тесту на рівномірність та якість розпилення палива інжекторних форсунок бензинових двигунів.

Крім того, стенд має наступні конкурентноздатні властивості:

- 1) можливість одночасної роботи діагностичного контуру й контуру чищення (6 форсунок проходять перевірку, 6 - ультразвукове чищення);
- 2) автоматичне визначення робочої напруги форсунки;
- 3) безступінчасте регулювання й візуальний контроль тиску рідини;
- 4) режим промивки, режим перевірки герметичності форсунок й 5 режимів імітації роботи двигуна;
- 5) підігрів ультразвукової ванни (збільшує ефективність чищення, дозволяє знизити потужність випромінювача ультразвукової ванни до 50 Вт, крім у такий спосіб у сполученні з режимом "ОР" знижує імовірність виникнення ультразвукового зварювання між рухомими елементами форсунки);
- 6) гарна візуалізація процесу розпилу (за рахунок демонтажу швидкоз'ємних вимірювальних колб);
- 7) низька експлуатаційна витрата тестової рідини (обсяг ультразвукової ванни 1,3 л);
- 8) доступність і дешевина вимірювальних колб;
- 9) яскрава й легкочитаема індикація режимів;
- 10) висока надійність (подвійний контроль якості).

Діагностичний контур стенда WebSonic (рис. 2.17) дозволяє оцінити технічний стан всіх типів форсунок бензинових двигунів, а контур очищення - зняти відкладення із внутрішніх елементів електронних форсунок за допомогою ультразвукової кавітації (рис. 2.18).



Рисунок 2.17 – Загальний вид стану Websonic

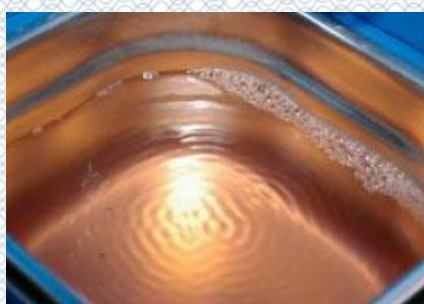


Рисунок 2.18– Промивка форсунок

Головна відмінність стенда WebSonic від альтернативних стендів полягає в наявності особливого режиму чищення - режиму "OP". Даний режим з'явився результатом доскональних досліджень випадків виходу з ладу форсунок із внутрішнім напилюванням (у даний момент застосовуються в автомобілях Mercedes-Benz, Renault й ін.), викликаних ультразвуковим чищенням. Особливий алгоритм керування робочою напругою форсунки, оптимально підібране сполучення потужності випромінювача й температури рідини, що чистить, дозволяють виключити можливість виникнення ультразвукового зварювання між запірною голкою форсунки й розпилювачем.

Методика роботи зі стендом дуже проста й наочна: тест форсунок до очитки, очищення, тест форсунок після очищення. Застосування спеціалізованих програм (режимів) очищення набагато підвищує ймовірність відновлення форсунок з раніше відбракованих.

Установка автоматично адаптується під "низькоомні" й "високоомні" форсунки, має точку підключення стробоскопічної лампи. Установка компактна й може розміщатися як на спеціалізованому візку, так і на робочому верстаті.

Підігрів ультразвукової ванни дає можливість у деяких особливо складних випадках при забрудненні форсунки досягти найбільшого ефекту очищення за більше короткий час.

Таблиця 2.4 – Порівняльна таблиця характеристик популярних стендів

Характеристика/стенд	WEBSONIC	BLUE STAR
1	2	3
Число форсунок, що перевіряють, шт	6	4
Типи форсунок, що перевіряють	EURO, ASIA, USA	EURO, ASIA, USA
Вибір робочої напруги форсунок	Автоматичний	ручне
Контроль факела	Стробоскопічний	стробоскопічний

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
Імітація числа обертів колінчастого вала, про/хв.	від 500 до 25000 із кроком 500 (з індикацією)	від 0 до 5000 (без індикації)
Контроль затримки вприскування	інструментальний	інструментальний
Контроль струму форсунок	вбудований	відсутня
Контроль часу упорскування	вбудований	відсутня
Стандартні програми керування форсунками	вбудовані	відсутня
Спец.програма "Розгін" при перевірці працездатності форсунки	введена	відсутня
Набір програм роботи форсунок у режимі ультразвукового очищення	вбудовані	відсутня
Режими УЗ чищення	6 + ручний вибір	1
Роздільне керування форсунками в режимах чищення й перевірка	вбудоване	відсутнє
Система очищення форсунок	ультразвукова з відмиканням клапанів + режим "відкритої форсунки"	ультразвукова з відмиканням клапанів
Підігрів ультразвукової ванни, С°	60	відсутній
Потужність ультразвукового випромінювача, Вт.	50	50
Діапазон відтвореного тиску, Bar	0..6	0..6
Заправний обсяг тестуємої рідини, л.	5	4,5
Робочий обсяг ультразвукової ванни, л.	1,3	1,3
Напруга живлення, В.	220±15	220±15
Частота живильної мережі, Гц.	50 ± 1	50 ± 1
Споживана потужність, ВА.	не більше 300	не більше 300
Габаритні розміри, мм.	260 x 675 x 600	270 x 540 x 600
Маса, кг.	не більше 30	28

2.6 Дослідження впливу забруднень електромагнітних форсунок на параметри бензинових двигунів

Оцінка робочих параметрів форсунки здійснюється за її робочою (розхідною) характеристикою, яка відображає залежність циклової подачі палива q від тривалості τ керуючого електричного імпульсу: $q=f(\tau)$.

Основною проблемою при експлуатації електромагнітних форсунок у складі системи впорскування бензину, є їх забруднення, викликане цілим рядом причин.

Механізм утворення забруднень на елементах електромагнітних форсунок вивчено не повністю. Самі забруднення мають складний фізико-хімічний склад, властивості, якого визначають будову молекул забруднювальних речовин і фактори їх утворення, а також фізичні та хімічні властивості твердої поверхні. Відомо, що в основі механізму різних забруднень лежить прояв адгезії.

Відповідно до загальної класифікації забруднення частин поршневого двигуна, забруднення електромагнітних форсунок можна розділити на три види: нагари, лаки та осадки [12] (рис. 2.19). Кожне з них утворюється за власним механізмом. За взаємодією з поверхнею різних видів забруднення принципово можна розділити на три основні групи: слабозв'язані, помірно зв'язані та міцно зв'язані.

Утворюються відкладення таким чином. Після зупинення гарячого двигуна з плівки палива, що залишилася на штифтах і внутрішніх поверхнях розпилювачів, що нижче запірного клапана, відпарюються легкі фракції. Тяжкі ж залишаються на деталях, так як змивати їх в цей час нічим – свіжі порції палива не йдуть до розпилювача, а запірні клапани форсунок закриті. До того ж, в цей момент відсутнє охолодження паливом. Корпус форсунки додатково нагрівається, отримуючи тепло від гарячої головки блоку циліндрів через впускний колектор, прискорюючи процес випарювання. Із залишених важких фракцій і утворюються смолисті відкладення. Накопичуючись, вони

перешкоджають запірному конусу щільно сісти на сідло, внаслідок чого порушується герметичність форсунки.



а – лакові відкладення; б - смолисті відкладення; в - нагар

Рисунок 2.19 – Забруднення електромагнітних форсунок

Залишковий тиск палива в рампі після зупинки двигуна зберігається. Воно потихеньку проштовхує бензин через негерметичний клапан, і процес закоксування йде інтенсивніше. Втрата герметичності ускладнює запуск двигуна через відсутність тиску в паливній магістралі та можливість утворення парових пробок. Крім того, із втратою герметичності погіршується відсікання палива. Замість того, щоб різко обірвати факел, відправивши всю порцію у впускний канал, закінчення упорскування відбувається плавно. Останні краплі його не можуть "вистрілити" і стікають по розпилювачу. Прохідний переріз сопла форсунки – кільцева щілина, утворена корпусом розпилювача та запірним клапаном. З появою відкладень просвіт зменшується (рис. 2.20). Відповідно зменшується і кількість палива, що дозується форсункою за кожний робочий такт. Якщо система управління немає зворотного зв'язку, то зміна пропускної спроможності форсунок призведе до збіднення робочої суміші. Наслідки цього проявляються у зниженні потужності, появі детонації тощо.

Якщо на автомобілі встановлена система із зворотним зв'язком по сигналу лямбда-зонда, то вона зможе при невеликій зміні продуктивності компенсувати цю зміну шляхом збільшення часу впорскування. Однак, у такого збільшення є

межа, яка називається межею регулювання. Більш того, якщо навіть середня продуктивність комплекту форсунок знизиться ненабагато, але різниця між окремими форсунками буде значною, це призведе до незадовільної роботи системи. У сучасних системах керування двигуном поки немає досить швидкого зворотного зв'язку, що дозволяє коригувати час упорскування для кожної форсунки індивідуально. До того ж, багато систем застосовують попарний або одночасний тип упорскування, при якому кілька форсунок управляються ECU одним вихідним ключем.

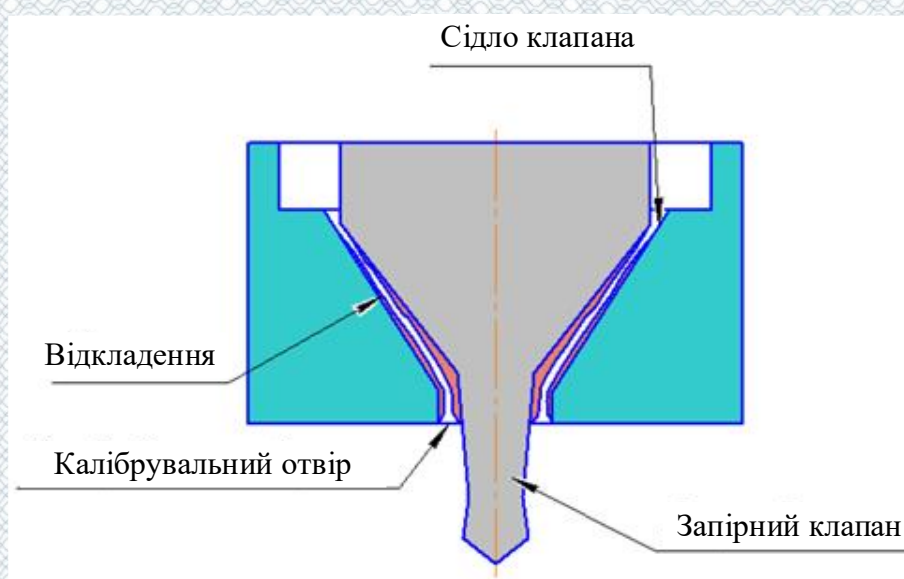


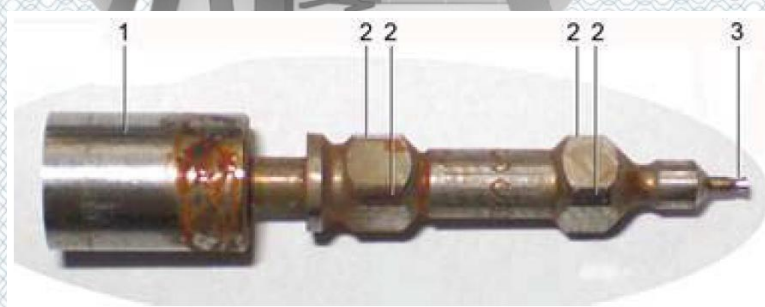
Рисунок 2.20 – Відкладення забруднень у кільцевій щілині електромагнітної форсунки

Порушується і форма факела - отже, частина палива потрапляє не в просвіт впускного каналу, а, наприклад, на стінки колектора впускного. Таким чином, паливо надходить у циліндр не у вигляді однорідної суміші, а у вигляді паливної плівки. Також погіршується однорідність розпилення. З форсунок вилітають великі краплі, що не встигають випаруватися, перемішатися з повітрям і, отже, згоріти в циліндрах [12].

Якщо у паливі присутні дрібнодисперсні тверді частинки, що проникають через фільтр тонкого очищення (іржа, дрібний пісок, деякі порошкоподібні присадки для підвищення октанового числа тощо), то клапан піддається

абразивному впливу. Внаслідок цього – спотворення геометрії отвору, що дозує, порушення форми факела палива, нестабільна продуктивність інжектора.

У інжекторі накопичуються як смоли, так й відкладення корозії (рис. 2.21). Для точного утримання запірнього елемента щодо сідла при поздовжніх переміщеннях, грані голки та спрямовуюча втулка виконані у вигляді прецизійно прилеглої пари. Якщо смоли відкладаються на запірньому елементі, клапані та сідлі і, головним чином, порушують продуктивність форсунки і конус розпилу, то корозія в спряженні пари збільшує тертя і стає основним фактором росту інерційності голки в моменти відкриття і закриття інжектора. Залежно від характеру та ступеня забруднення це може призвести як до зменшення, так і до збільшення дози впорскуваного інжектором палива, а також до погіршення атомізації, часткового або повного переходу в краплинний режим та порушення герметичності.



1 – сердечник; 2 – напрямні грані; 3 – запірний елемент шток

Рисунок 2.21 – Голка, вкрита корозією

Значно рідше трапляється інша причина незадовільної роботи форсунок – забруднення вхідних фільтрів. Вхідні фільтри форсунок відносно невеликих розмірів і покликані лише гарантувати чистоту палива, що надходить у форсунки, відсікаючи особливо дрібні включення, що проникли через магістральний фільтр тонкого очищення палива. Поглинаюча здатність їх невелика, а засмітившись, через них проходить до форсунки недостатня кількість

палива. Щоб цього не допустити, слід уважно стежити за станом фільтра тонкого очищення палива.

Діагностичні ознаки забруднених інжекторів мають однаковий характер практично на всіх моделях сучасних автомобілів:

- нестійкий холостий хід автомобіля: двигун «троїть»;
- утруднений пуск двигуна: двигун запускається з другого-третього разу, важко стабілізуються холості обороти;
- провал при різкому натисканні на педаль акселератора, некомфортне водіння;
- погіршення розгону автомобіля та втрата потужності: автомобіль з АКПП затягує нижчі передачі, мляво набирає швидкість, чути хлопки у випускній системі;
- пропуски займання паливної суміші: посмикування при розгоні, присутні коди помилок за втратою іскроутворення (misfire), що супроводжуються виходом з ладу свічок запалювання, високовольтних проводів, катушок запалювання;
- вихід з ладу кисневих датчиків (O_2 sensors) та каталітичного нейтралізатора: скорочення ресурсу обумовлено підвищеною температурою випускних газів та великою кількістю незгорілих компонентів, що осідають у випускному тракті;
- витрата палива, що постійно збільшується: оскільки забруднення інжекторів - поступовий процес, то водій зазвичай помічає це не відразу.

Наслідки тривалої роботи двигуна із забрудненими форсунками можна розділити за часом впливу на III стадії:

I стадія виникає при пробігах 10-30 тис. км: втрата потужності та некомфортне водіння (млявий розгін, провали при прискоренні, підвищена витрата палива, некоректний режим перемикання передач в АКПП з електронним керуванням, наявність кодів помилок у блоці керування двигуном, пов'язаних з роботою системи запалювання, кисневих датчиків тощо).

II стадія настає від 30 тис. км: на тлі різкої втрати потужності, настає пошкодження вузлів високовольтної частини системи запалення (малий ресурс свічок, "пробій" високовольтних проводів, вихід з ладу катушок запалювання), двигун важко заводиться (а іноді зовсім відмовляє заводитися) в умовах низьких температур. Накопичується нагар і шлакові відкладення на тарілках клапанів газорозподілу, камерах згоряння, поршнях двигуна. У зв'язку з неефективним режимом згоряння повітряно-паливної суміші, накопичуються відкладення сажі та шлаків на кисневих датчиках та в каталізаторі випускної системи двигуна. Кисневий датчик виходить з ладу, не відпрацювавши належний ресурс, каталізатор перегрівається і починає руйнуватися.

III стадія настає завжди, якщо не будуть вжиті заходи усунення наслідків ушкоджень у I та II стадіях: перегрів та пошкодження випускних клапанів, "залягання" поршневих кілець, як наслідок цього, різке зношування циліндрів і в результаті – капітальний ремонт двигуна.

Аналіз джерел інформації [2, 9, 10], виконаних у цій галузі, дозволяє виділити ряд умов, що впливають на забруднення електромагнітних форсунок для впорскування бензину. Їх можна згрупувати у вигляді трьох основних факторів: температура деталей розпилювача, властивості та якість бензину, час контакту частинок палива та масла з поверхнею розпилювача.

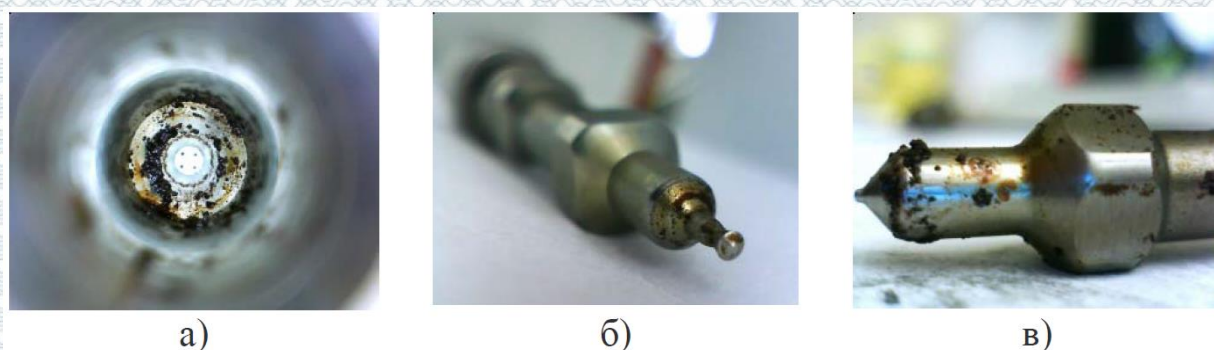
Відомо [2, 3, 6], що здатність системи керування двигуном компенсувати вплив забруднення форсунок значною мірою залежить від величини нерівномірності подачі палива форсунками в одному комплекті. Технічний стан форсунок, що визначається значенням їх робочих показників, істотно впливає на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного бензинового двигуна. Забруднення та знос елементів форсунки можуть призводити до погіршення паливної економічності, зміни токсичних викидів з відпрацьованими газами (ВГ), підвищення схильності двигуна до детонації, утрудненого його пуску та погіршення динаміки автомобіля. Очевидно, що вказані порушення в роботі двигуна потребують очищення або заміни форсунок.

З метою дослідження впливу забруднення форсунок на параметри двигуна було проведено дослідження характеристик двигунів з різними пробігами. Об'єктом дослідження стали три однотипні комплекти електромагнітних форсунок виробництва фірми R. Bosch. Перший комплект форсунок мав напрацювання 100 тис. км пробігу автомобіля, другий – 150 тис. км., третій комплект складали нові форсунки.

Результати дослідження кількісних показників 1-го та 2-го комплекту щодо величин 3-го (нового) показують зміну статичної продуктивності $q_{стат}$ у межах 0,8...1,5 % та 0,5...2,3 % відповідно. Динамічна продуктивність $q_{дин}$ змінилася значно – на 1,8...5,8 % і 3,2...12 %. При цьому зміни величини нерівномірності подачі палива δ , в 1-му та 2-му комплектах форсунок склали 6,0 і 8,5 %. У всіх випадках простежується однозначна тенденція до збільшення відмінностей у кількісних показниках зі зростанням напрацювання форсунок (пробігу автомобіля), причому, чим довше експлуатувалися форсунки, тим більші ці відмінності по відношенню до нових форсунок. При цьому було встановлено, що у форсунок із значним напрацюванням збільшується циклова подача, незважаючи на забруднення її проточної частини.

Таким чином, як кількісні, так і якісні показники електромагнітних форсунок неминуче змінюються в процесі експлуатації, що викликається різноспрямованою дією наслідків забруднення та зносу елементів їхньої проточної частини. Отримані мікрофотографії показують наявність як забруднення елементів проточної частини форсунки, так і зношування голки та сідла (рис. 2.22)

Отримані фотографії (рис. 2.22) різних елементів форсунки свідчать про те, що, незважаючи на відмінності складів вітчизняного та зарубіжного бензинів, а також різні умови експлуатації автомобільної техніки в нашій країні та за кордоном, закономірності утворення забруднень у проточній частині та їхній хімічний склад ідентичні.



а – сідло; б – запірний конус; в – запірна голка

Рисунок 2.22 – Фотографії забруднень елементів форсунки (x50)

Аналіз фотографій замикаючого елемента (голки) нової форсунки та форсунки з напрацюванням показує помітні відмінності у розташуванні на поверхні голки лінії її контакту з сідлом. Так, лінія контакту на голці у форсунки з напрацюванням розташовується далі від її вершини, що свідчить про її глибшу посадку в сідло. Отже, при глибшій посадці голки збільшується і величина підйому голки у форсунки з напрацюванням. Таким чином, на основі експериментальних даних можна вважати, що причинами зміни показників форсунок є як наслідки забруднення проточної частини, так і зношування замикаючого елемента і сідла в процесі експлуатації.

Отримано результати дослідження впливу експлуатаційних змін показників електромагнітних форсунок на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного бензинового двигуна Volkswagen Polo. Порівняльні випробування двигуна Volkswagen Polo з комплектами форсунок, що мають різне напрацювання, проводилися на моторному стенді. Знімалися зовнішня швидкісна характеристика, а також ряд навантажувальних характеристик двигуна в діапазоні частот обертання валу $n = 1500 \dots 3500 \text{ хв}^{-1}$.

Проведені експерименти показали, що експлуатаційні зміни робочих показників електромагнітних форсунок суттєво впливають на енергетичні та екологічні характеристики автомобільного бензинового двигуна. Так, із форсунками, що мають напрацювання 150 тис. км пробігу автомобіля (за

відсутності їх періодичного очищення), ефективна потужність двигуна N_e , знижується на 3...9 %, а ефективний крутний момент M_k падає на величину 4...6 % в діапазоні $n = 5500 \text{ хв}^{-1}$ (рис. 2.23).

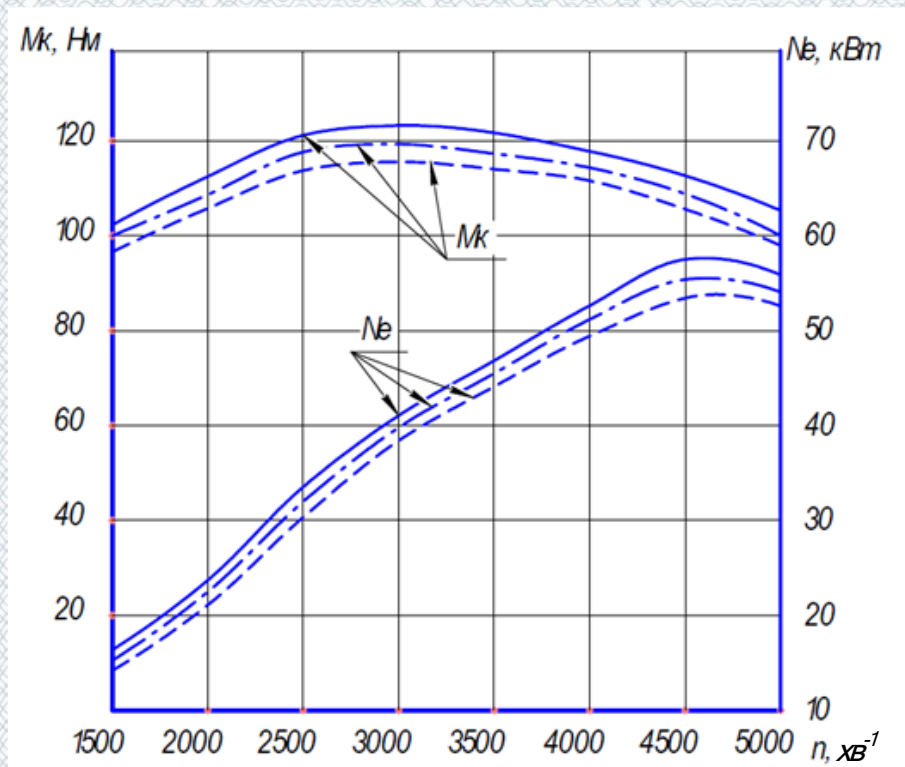
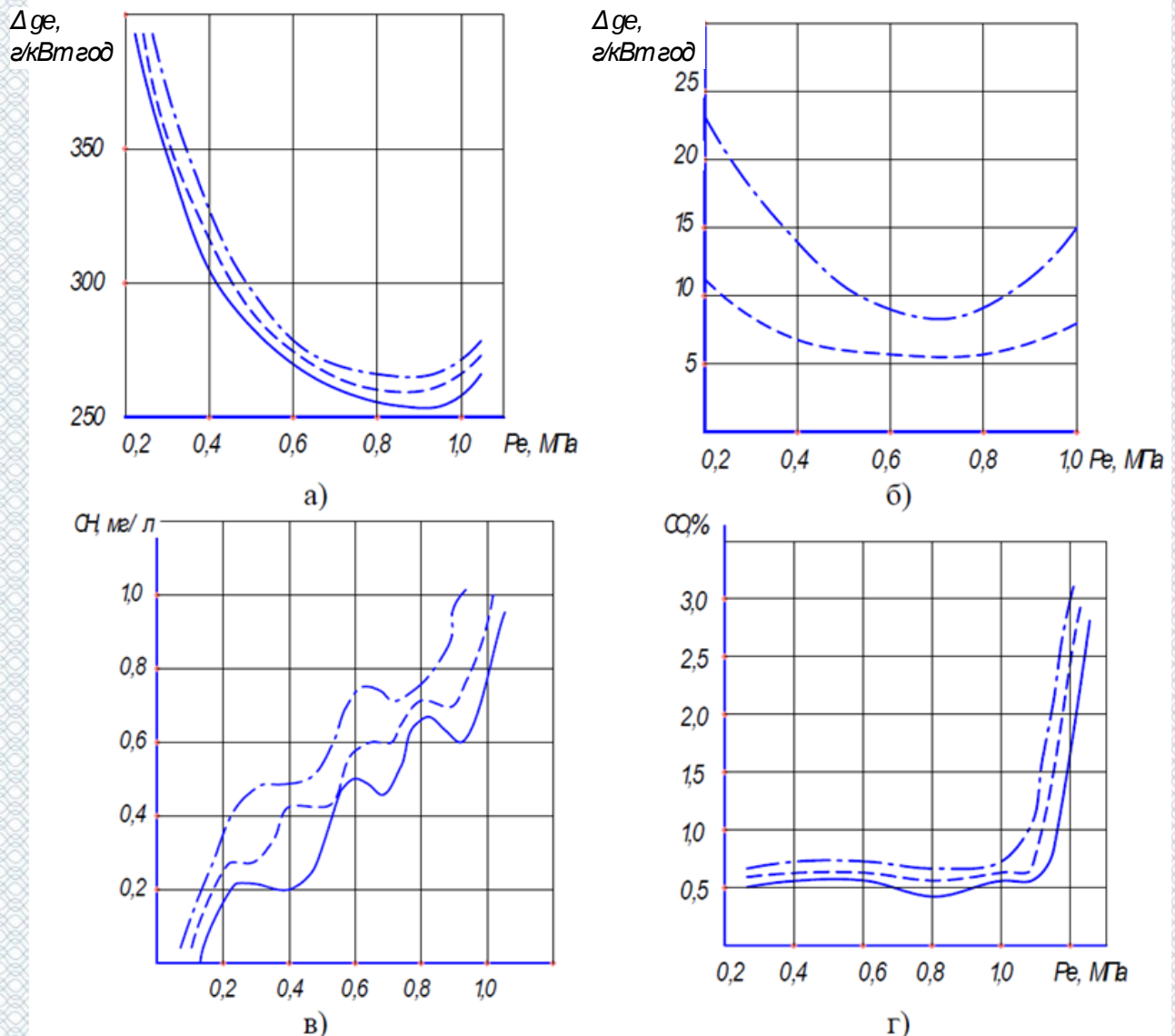


Рисунок 2.23 – Зміна показників зовнішньої швидкісної характеристики двигуна Volkswagen Polo

Питома ефективна витрата палива зростає на 6 % при одночасному збільшенні викиду токсичних компонентів з відпрацьованими газами – оксиду вуглецю на 15...25 %, вуглеводнів CH - на 15...40 % (рис. 2.24). Це може призвести до погіршення динаміки автомобіля та пускових якостей двигуна.

Основними причинами падіння характеристик двигуна при експлуатаційній зміні робочих показників форсунок є погіршення сумішоутворення внаслідок зниження якості диспергування палива та зменшення кута конуса розпилювання палива при зниженні завихреності потоку в проточній частині форсунок, а також нерівномірність циклових подач палива в їх комплекті.



а - питома ефективна витрата палива g_e ; б - відносна різниця за питомою витратою палива Δg_e ; в - викиди вуглеводнів CH_4 ; г - викиди оксиду вуглецю CO

Рисунок 2.24 – Зміна показників двигуна Volkswagen Polo за характеристикою навантаження (частота обертання валу $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$)

В системах управління двигунами зі зворотним зв'язком (по сигналу λ -зонда), контролер не здатний компенсувати зростання нерівномірності циклових подач в комплекті форсунок. Коригувальна поправка для імпульсу керування роботою форсунок визначається для всього двигуна в цілому. Індивідуальні відмінності в дозуванні палива форсунками за окремими циліндрами в сучасних конструкціях врахувати неможливо.

2.7 Висновки до розділу 2

Виконаний аналіз процесів забруднення та наслідків зносу елементів в електромагнітних форсунках виявив їх вплив на роботу автомобільного інжекторного двигуна.

Так після напрацювання 150 тис. км пробігу автомобіля робочі характеристики електромагнітних форсунок можуть суттєво змінюватися як у бік збільшення, так і зменшення їх продуктивності. Найбільш критичною для роботи двигуна є нерівномірність подачі палива в комплекті форсунок. Сучасна мікропроцесорна система управління двигуном не може компенсувати цю нерівномірність.

Зміна експлуатаційних показників форсунок суттєво впливає на енергетичні та екологічні показники двигуна. Спостереження показали, що після напрацювання форсунок понад 150 тис. км пробігу автомобіля та за відсутності їх періодичного очищення, втрата ефективної потужності двигуна складає 3-9 %, втрата ефективного крутного моменту – 4-6 %, питома ефективна витрата палива зростає на 2-6 %, викид токсичних компонентів з відпрацьованими газами збільшується по оксиду вуглецю на 15-25 %, по вуглеводням – на 15-40 %. Загалом зміни у робочих параметрах форсунок спричиняють погіршення динаміки АТЗ та пускових якостей двигуна.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИКА ТА ПРАКТИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ

3.1 Формування обсягів робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності

Надійне функціонування автомобільних систем обумовлено високою безвідмовністю їх вузлів і можливістю відновлення у випадку відмови. Аналіз безвідмовності дозволяє вибрати із числа можливих варіантів системи найбільш надійний (при забезпеченні інших показників в заданих проміжках). Такий аналіз може бути забезпечений при описанні функціонування системи моделями випадкових процесів. Найбільш хорошим і простим математичним апаратом в даному випадку можна вважати однорідні ланцюги Маркова.

Для аналізу випадкових процесів відмови функціонування автомобільних систем скористаємося графом стану автомобіля (рис. 3.1). Автомобіль може знаходитись в справному стані – S_0 , а також в станах, викликаних відмовами його систем:

S_1 – ремонт системи двигуна (кривошипно-шатунний механізм, механізм газорозподілення, підсистеми охолодження, мащення, живлення);

S_2 – ремонт системи рульового керування (рульовий механізм та привід, підсилювачі рулевих приводів);

S_3 – ремонт системи кузова (салон, капот, двері);

S_4 – ремонт системи електрообладнання (електропостачання, запалювання, контрольно-вимірювальні прилади, освітлення, сигналізація);



Рисунок 3.1 – Граф стану автомобіля
з врахуванням відмов функціонування його систем

S_5 – ремонт системи підвіски (амортизатори, стійки, пружини, важелі, шарніри);

S_6 – ремонт трансмісії (зчеплення, коробка передач, роздавальна коробка, карданна передача, головна передача, диференціал, ведучі мости і колісна передача);

S_7 – ремонт коліс (шини, маточини, підшипники);

S_8 – ремонт гальмівних систем (гальмівні механізми, підсилювач гальмівного проводу, гальмівний привід).

Вірогідність знаходження автомобіля в кожному із вище сказаних станів позначимо відповідно $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$. Стан автомобіля встановлюється сукупністю рівнянь фінальних ймовірностей:

$$\begin{cases} P_0 * (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 + \lambda_8) = P_1 * \mu_1 + P_2 * \mu_2 + \\ + P_3 * \mu_3 + P_4 * \mu_4 + P_5 * \mu_5 + P_6 * \mu_6 + P_7 * \mu_7 + P_8 * \mu_8; \\ P_1 * \mu_1 = P_0 * \lambda_1. \\ \dots \\ P_8 * \mu_8 = P_0 * \lambda_8; \end{cases} \quad (3.1)$$

Система має рішення за допомогою умов нормування: сума всіх ймовірностей дорівнює одиниці. В рівняннях інтенсивність λ характеризує вхідний потік – потік відмов (середнє число заявок на ремонт, які поступили у одиницю часу), інтенсивність μ – вихідний потік – потік відновлення (середнє число заявок на ремонт, виконаних у одиницю часу).

При цьому:

$$\begin{cases} P_0 = (1 + \lambda_1/\mu_1 + \lambda_2/\mu_2 + \lambda_3/\mu_3 + \lambda_4/\mu_4 + \\ + \lambda_5/\mu_5 + \lambda_6/\mu_6 + \lambda_7/\mu_7 + \lambda_8/\mu_8)^{-1}; \\ P_1 = P_0 * \lambda_1/\mu_1; \\ \dots \\ P_8 = P_0 * \lambda_8/\mu_8. \end{cases} \quad (3.2)$$

Параметри потоків відмов функціонування механізмів, систем та вузлів конкретної моделі автомобіля фіксують за результатами справжніх умов

експлуатації за окремий проміжок (наприклад, за рік). Відмови, які з'явилися в період обкатки (припрацювання вузлів автомобіля), а також поломки, які сталися в результаті аварії або дорожньо-транспортних пригод, не враховуються. Мається на увазі те, що розглядається лише встановлений режим роботи.

Середній час між двома відмовами $\bar{T}_i$ відповідних систем автомобіля, а також середній час ремонту (заміни, відновлення) $\bar{T}_{vi}$ вузлів (деталей) системи, що вийшли із ладу, підраховується на основі даних технічної служби автопідприємства. Число дефектів співвідноситься із загальним числом автомобілів із загальної вікової групи (до семи років експлуатації).

В основі однієї із складових інтенсивності потоку відмов краще приймати середній пробіг ($\bar{L}_i$) автомобіля до відмови відповідного елемента, який потім слідує перерахувати через середню швидкість (V_{cp}) при експлуатації автомобіля в середній час між відмовами відповідної системи автомобіля з врахуванням відмов його систем $\bar{T}_i = \bar{L}_i / V_{cp}$.

Отримані інтенсивності потоків відмов

$$\lambda_i = 1/\bar{T}_i \quad (3.3)$$

та потоків відновлення

$$\mu_i = 1/\bar{T}_{vi} \quad (3.4)$$

кожної із системи підставляються в рівняння ймовірності та підраховується ймовірність безвідмовної роботи P_0 автомобіля, а також ймовірність відповідних відмов $P_1, \dots, P_8$. Приклад блок – схеми алгоритму такого розрахунку наведено на рисунку 3.2, а програма розрахунку для конкретного прикладу – в додатку.

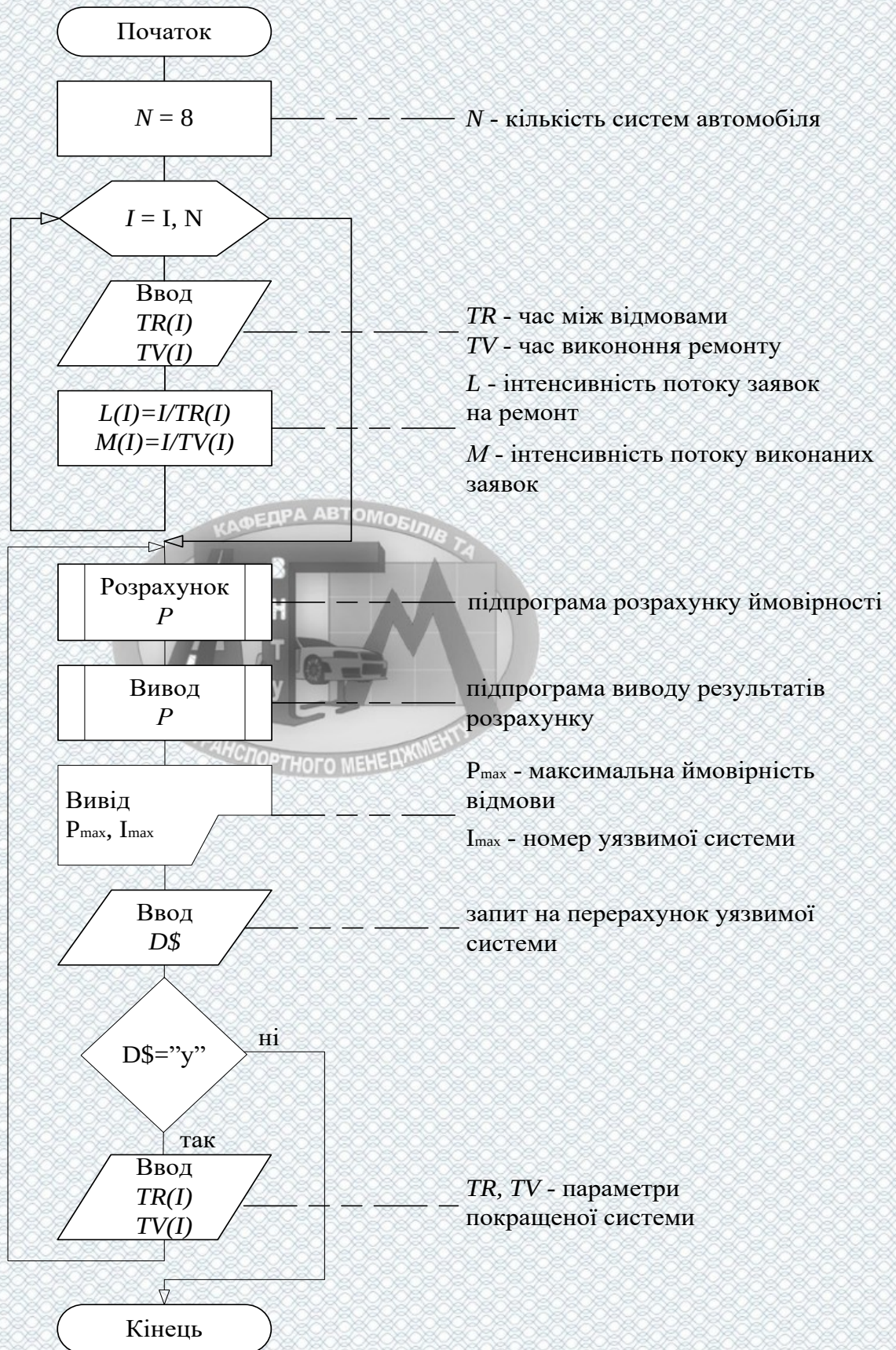


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму розрахунку ймовірності стану

Аналіз та розрахунок дозволяють виявити найменш надійні вузли та системи, які потребують істотної модернізації або вдосконалення технологічного процесу виготовлення та складання автомобільних агрегатів.

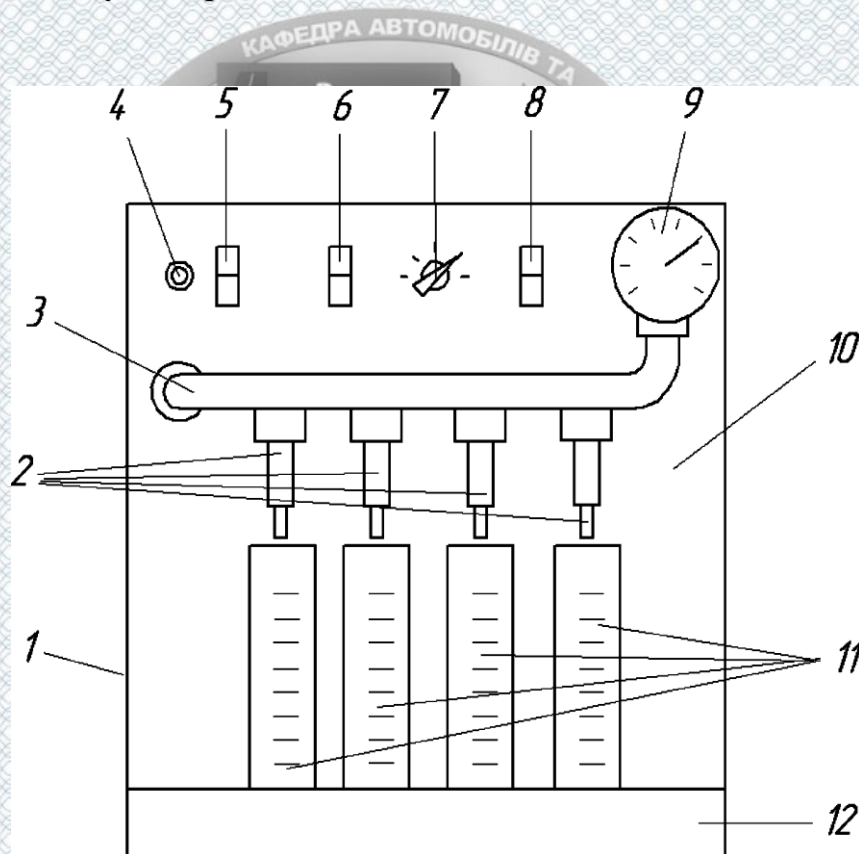
Відповідні деталізовані дані слід отримати і для окремих вузлів, агрегатів та систем автомобілів. Саме ці дані дозволять уточнити статистичні прогнози та вірно структурувати обсяги робіт автосервісного підприємства по підрозділам та відповідним технологічним операціям з врахуванням існуючої кон'юнктури ринку.

3.2 Стенд для технічного обслуговування та діагностування форсунок

Для зниження витрати палива автомобільним транспортом приймаються безліч рішень, зокрема застосовуються інжекторні системи подачі палива в циліндри двигуна. Такі системи дозволяють значно скоротити споживання палива, збільшити ємність і потужність двигуна. Але також мають свої недоліки. Основними проблемами інжекторних систем є висока вартість вузлів, низька ремонтпридатність, високі вимоги до якості та фракційного складу палива, необхідність у спеціалізованому персоналі та обладнанні для діагностики, обслуговування та ремонту, а також висока вартість ремонту. Тому необхідно знайти шляхи зниження витрат на сервісні роботи та технічне обслуговування паливних систем з електронним упорскуванням.

Одним із способів удосконалення такого процесу є застосування стенду для очищення та діагностики роботи електронних форсунок. Існуюче обладнання, яке випускається відомими брендами, мають високу вартість і передбачають роботу на них висококваліфікованих працівників. В умовах автосервісу та великих АТП застосування таких конструкцій економічно та технічно обґрунтоване. Але на малих та середніх підприємствах вони не зможуть економічно виправдати себе [9]. Тому метою подальших досліджень є конструктивний пошук та розробка стенду для діагностики та обслуговування форсунок.

Розробка, що пропонується, складається з рами 1 (рисунок 3.3), на верхній частині якої змонтована горизонтальна труба 3, що імітує паливну рампу двигуна. У трубі є 4 отвори для установки форсунок 2. До одного кінця труби приєднаний манометр 9, а до іншого - паливний шланг, що йде від бензонасоса. Бензонасос та бачок з паливом також змонтовані на рамі стенду. Під кожною форсункою встановлюється прозора мірна ємність 11 для прийому палива, що розприскується. На основі стенду є горизонтальна дерев'яна плита 12 з чотирма поглибленнями, що служить для встановлення в них мірних ємностей. Поглиблення потрібні для швидкої та точної установки мірних ємностей та запобігання їх з'їзду за горизонталлю.

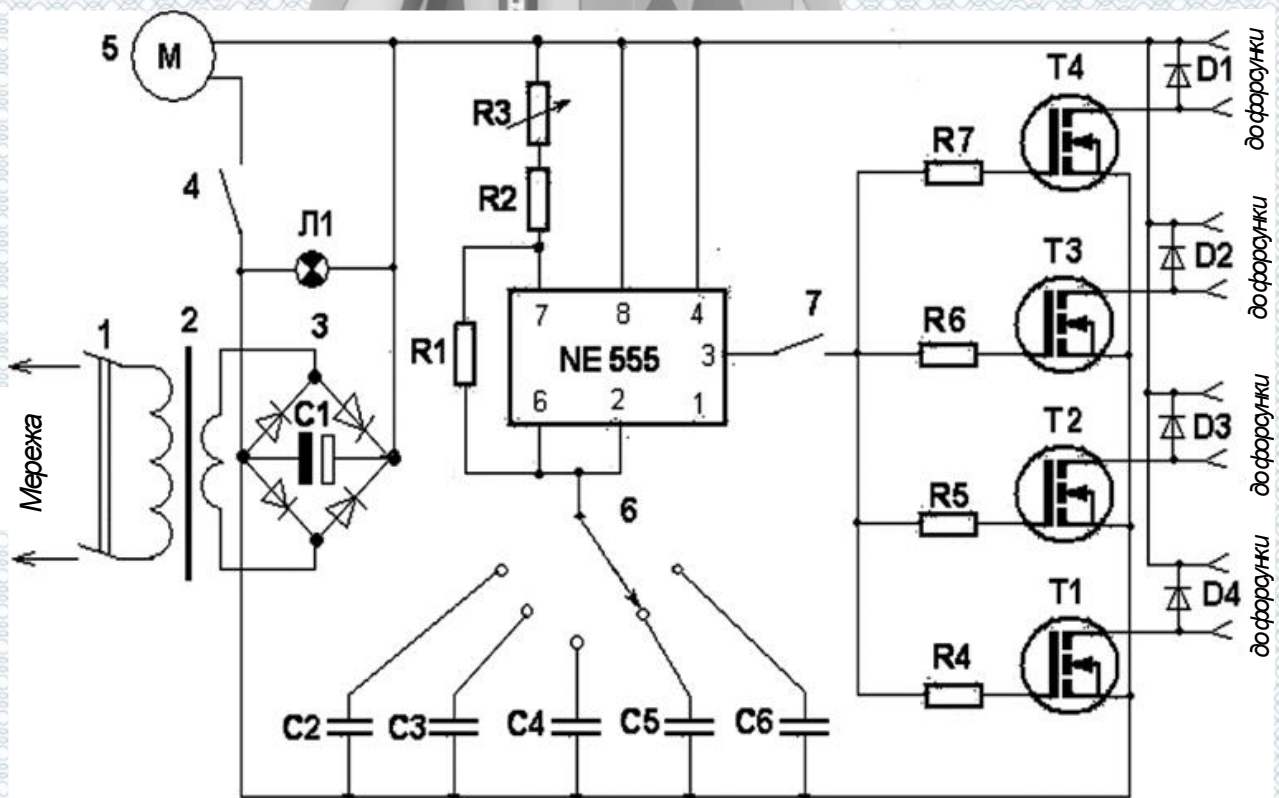


- 1 - рама; 2 - форсунки; 3 - рампа; 4 - контрольна лампа; 5 - мережевий вимикач; 6 - вимикач бензонасоса; 7 - перемикач частоти пульсації; 8 - вимикач форсунок; 9 - манометр; 10 - лицьова панель; 11 - мірні ємності; 12 - плита для встановлення мірних ємностей

Рисунок 3.3 – Стенд для діагностики та промивання форсунок

Електрична частина стенду розміщена зі зворотного боку рами, за лицьовою панеллю 10. Там же знаходиться бензонасос і бачок для палива чи миючої рідини. Вимикачі та сигнальна лампа змонтовані на лицьовій панелі.

Електрична частина стенду складається з понижуючого мережевого трансформатора 2 (рисунок 3.4), випрямляча 3 і генератора П-подібних імпульсів, що служать для подачі струму на форсунки, а також силовій частини, що складається з ключів Т1, Т2, Т3, Т4. Від випрямляча також заживлюється і бензонасос 5. Для включення та відключення бензонасоса є свій вимикач 4. Форсунки вмикаються та вимикаються за допомогою вимикача 7. Мережевий вимикач 1 потрібен для включення та вимикання всієї електричної частини стенду. Контрольна лампа Л1 служить індикації напруги на схемі.



1-мережевий вимикач; 2-трансформатор; 3-випрямляч; 4-вимикач бензонасоса; 5-бензонасос;
6-перемикач частоти імпульсів; 7-вимикач форсунок

Рисунок 3.4 – Принципова електрична схема стенду для діагностики та промивання форсунок

Випрямлячем є діодний міст з електролітичним конденсатором великої ємності, що гасить пульсації випрямленого струму.

Генератором П-подібних імпульсів служить схема, зібрана на базі дешевої і широко поширеної мікросхеми NE 555. Необхідна частота відкриття форсунок налаштовується ступінчасто за рахунок перемикання конденсаторів C2, C3, C4, C5, C6 за допомогою перемикача 6. Змінний резистор R3 служить на . Силowymi елементами є польові транзистори T1, T2, T3, T4, які у цій схемі виконують роль ключів. Щоб уникнути їх перегріву, монтувати транзистори бажано на радіаторах.

Для захисту польових транзисторів від сплеску напруги самоіндукції, що виникає при відключенні форсунок, між висновками, що живлять форсунки проводів, встановлені діоди-супресори D1, D2, D3, D4.

Форсунки підключаються до стенду через стандартні автомобільні клемні роз'єми.

Ця схема забезпечує генерацію ідеальних П-подібних імпульсів, що відповідає оптимальному режиму роботи форсунок.

Крім діагностики паливних форсунок, даний стенд дозволяє проводити їх промивання миючим розчином. Стенд простий і дешевий у виготовленні і може бути зібраний власними силами у дрібному господарстві, автоколоні та будь-якому іншому підприємстві, що має свій автопарк. Для його складання, налаштування та роботи не потрібний висококваліфікований персонал.

3.3 Спосіб відновлення працездатності форсунки шляхом керування напругою

Для автоматизованого відновлення форсунок пропонується використання електронного блоку зміни напруги та чистка в ультразвуковій ванночці. Подачу напруги на котушку форсунки пропонується змінювати не раптово, а полого. Графік зміни напруги подано на рисунку 3.5.

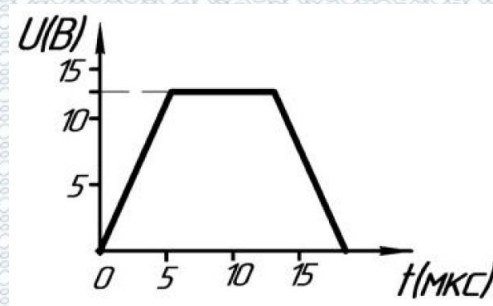
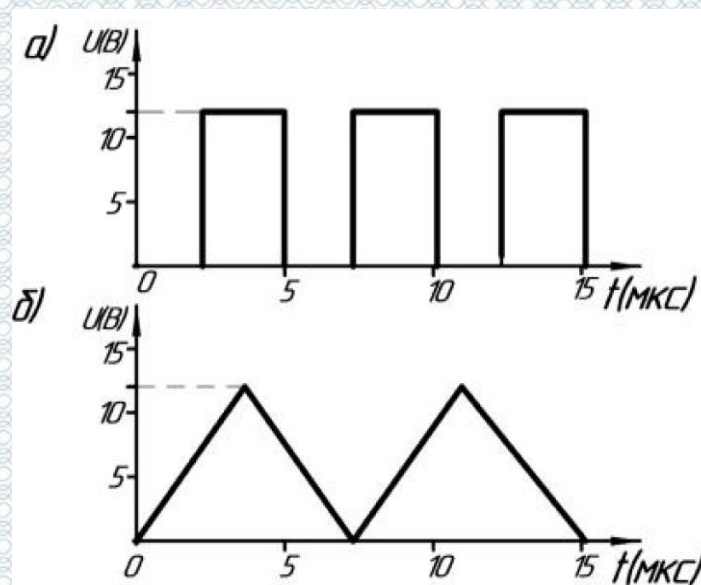


Рисунок 3.5 – Пологе зменшення подачі напруги на котушку

При сповільненні опускання голки збільшується час витікання мийочної рідини, коли швидкість її буде максимальною. Таке явище спостерігається при проходженні місцевого опору. Це сприяє підвищенню якості промивання форсунок.

Досягти такого результату можна завдяки використанню спеціальних блоків живлення. Алгоритм дій слід виконувати циклічно, з короткими перервами, поки промивна рідина не стане розпилюватися без крапель. Слід підтримувати та регулювати проміжок між голкою та сидлом форсунки так щоб збільшити швидкість руху промивної рідини адекватно швидкості розчинення відкладень. Підтримання проміжку пропонується здійснювати повільно зростаючою і повільно спадаючою подачею напруги. Діаграма зміни напруги подана на рис. 3.6.



а) управління кнопкою; б) управління електронним блоком

Рисунок 3.6 – Зміна напруги на клеммах форсунки

Інтенсивність зміни та частота напруги впливає на якість промивання форсунки. Це зумовлюється інерційними властивостями форсунки як механічної системи: частота повинна бути максимально можливою при повному піднятті голки клапана, інтенсивність зміни напруги повинна забезпечувати потрібне механічне переміщення голки форсунки.

Тривалість впорскування визначається залежністю

$$T_i = \frac{M_a}{l} \cdot K_i, \quad (3.5)$$

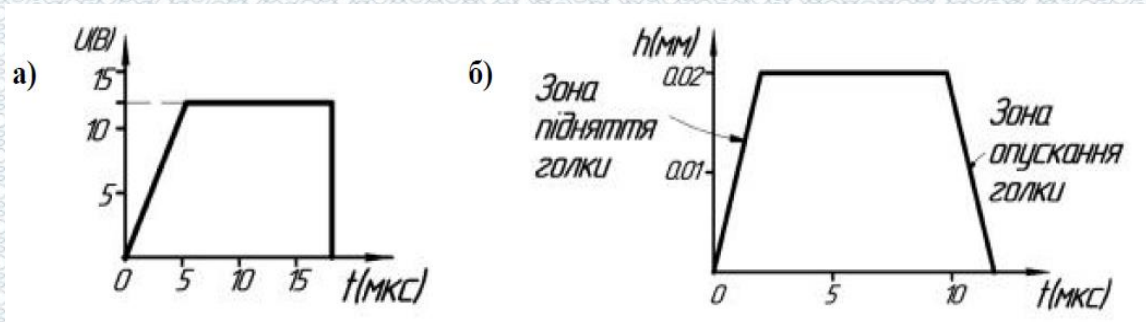
де K_i – постійний показник форсунки, який показує співвідношення об'єму палива, пройденого через форсунку, до часу відкриття форсунки (переважно залежить від конструкції двигуна);

l – склад паливо-повітряної суміші залежно від режиму роботи двигуна (оптимальне значення дорівнює 1/14,7);

M_a – маса повітря, яке надійшло у двигун (можна оцінити за показами датчика витрати палива).

Під час запуску двигуна проводиться розрахунок тривалості впорскування палива без урахування часу на запалювання. Ефективність процесу впорскування оцінюють за допомогою додаткових величин. Це може бути зменшення напруги в бортовій мережі ТЗ, що призводить до тривалого відкриття форсунки. Час відкриття форсунки є важливим показником процесу керування форсункою.

Напруга, підведена до обмотки з мережі, створює в ній струм збудження, який має змінний синусоїдальний магнітний потік Φ . При цьому утворюються робочий потік та потік розсіяння, які діють у перпендикулярних площинах. Робочий змінний магнітний потік пронизує витки котушки та індукує в ній електрорушійну силу (ЕРС). Ця ЕРС є ЕРС протиіндукції за законом Фарадея. Струм плавно зростає в котушці та за досягнення максимального значення магнітного поля зміни його призупиняються (рис. 3.7).



а) раптове зменшення подачі напруги на котушку;
 б) зміна висоти підйому голки у часі при правильному розпиленні
 Рисунок 3.7 – Поведінка голки під час керування форсункою

Частотний спосіб очистки форсунок забезпечується подачею напруги на котушку індуктивності. Частота зміни висоти підйому голки у часі залежить від ступеня забруднення форсунки. Зростання шару важких вуглеводнів перешкоджає нормальній роботі форсунки, призводить до збільшення частоти підняття голки для нагнітання промивної рідини у форсунку, тому перед початком очисних робіт слід провести контроль рівня забруднення форсунки. При поганому розпилюванні рідини на виході з форсунки промивання потрібно проводити на високій частоті (близько 15 мс), при нормальному розпиленні досить частоти роботи форсунки (2-5 мс). Дані умови легко перевірити експериментальним шляхом на форсунках, в яких забезпечується вихід запірної голки за дзеркало клапана (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Фото форсунки з боку запірної голки

Як електронний блок зміни напруги можна використати блок МР710 ТОВ «Радоімпекс» (рис. 3.9), виконаний на двосторонній друкованій платі.

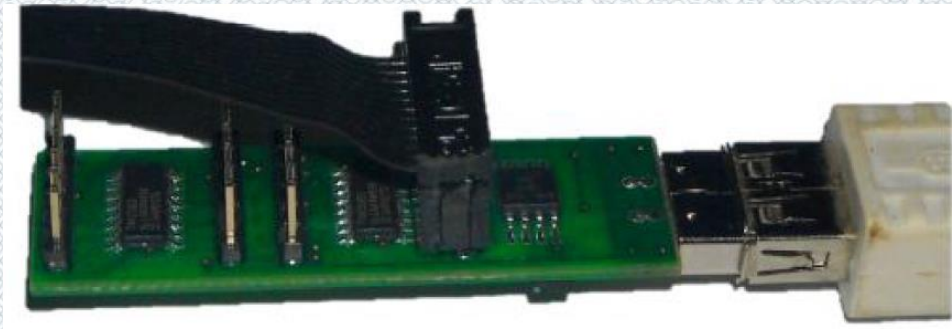


Рисунок 3.9 – USB модуль MP710

Блок підключається до ПК через USB-порт та дозволяє організувати комутацію силових навантажень.

Для розв'язання поставленого завдання можна використовувати будь-який з 16 каналів, наприклад 11. 1-ий контакт першої контактної планки є виходом 11 каналу. Робота пристрою забезпечується використанням програми MP710.exe (рис. 3.10).

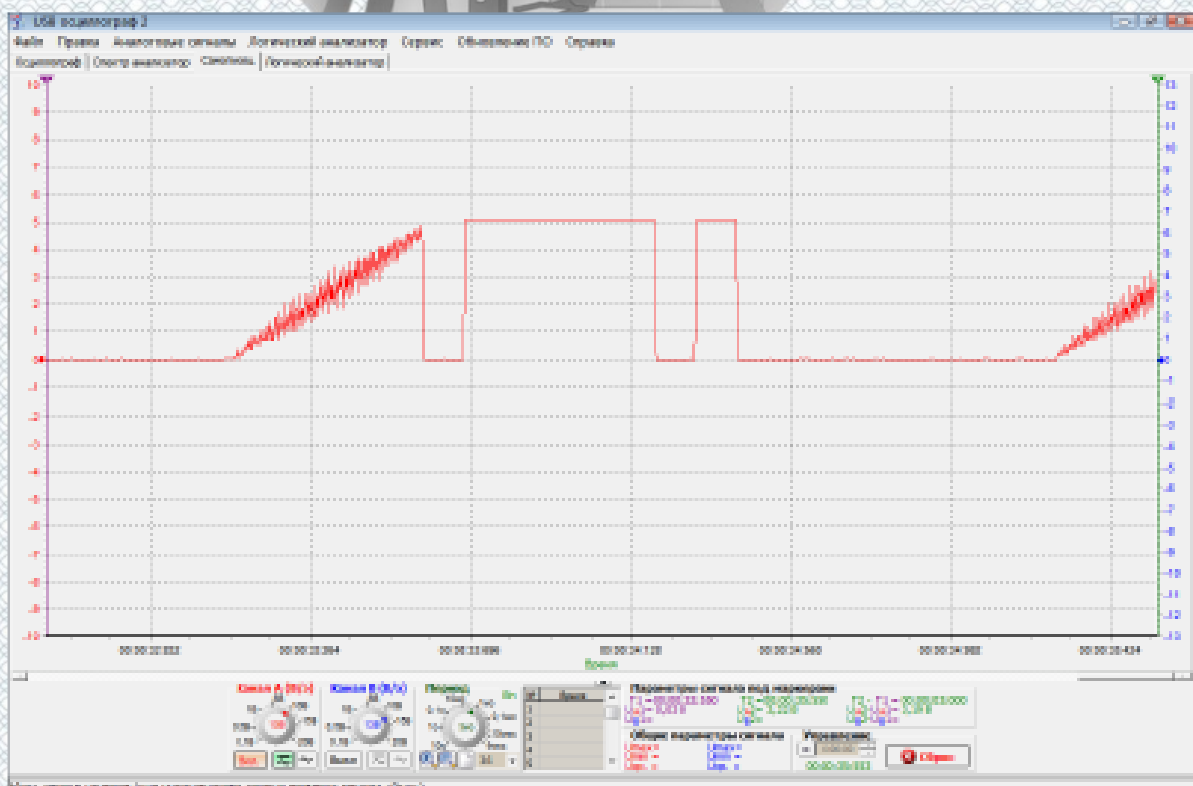


Рисунок 3.10 – Діаграма циклу зміни напруги керування на 11 каналі пристрою MP710

Для управління форсункою можна використати польовий транзистор і блока живлення (рис. 3.11).

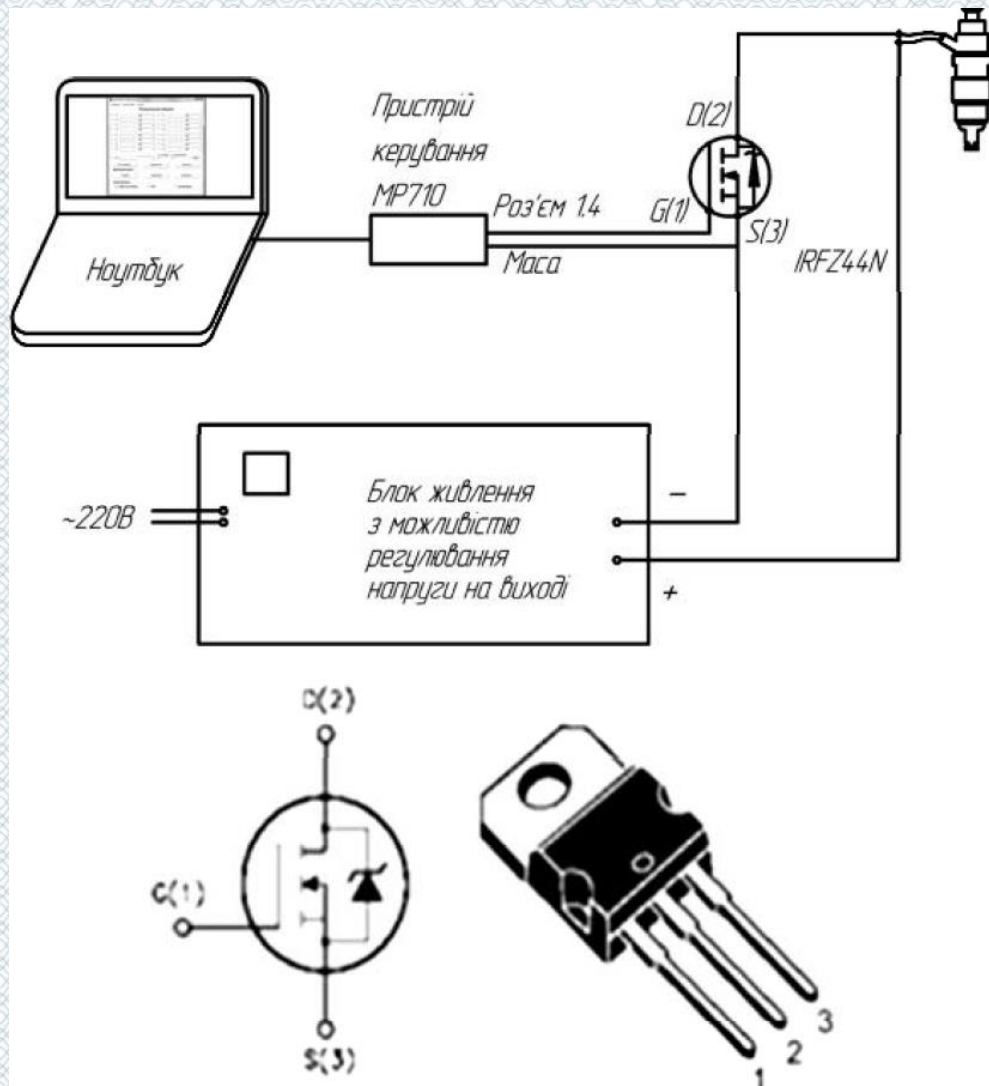


Рисунок 3.11 – Електрична схема системи управління форсункою

Переміщення голки форсунки відбувається при напрузі живлення 12В, цикл зміни напруги здійснюється за діаграмою, поданою на рис. 3.12.

Надлишковий тиск при промиванні електромагнітних форсунок створюється насосом з ручним приводом та манометром контролю величини напору. Застосування такого насоса є найбільш доцільним з економічної точки зору. Промивна рідина нагнітається через фільтр, здатний витримувати надлишковий тиск 0,2-0,4 МПа (рис. 3.13).

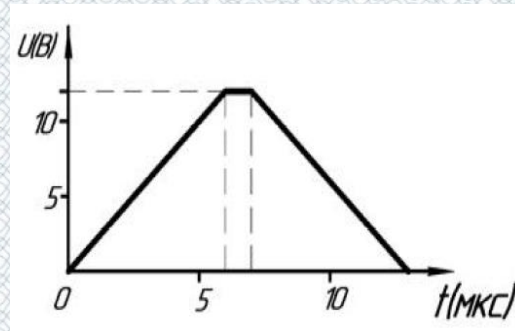


Рисунок 3.12 – Діаграма циклу зміни напруги на 11 роз'ємі пристрою MP710

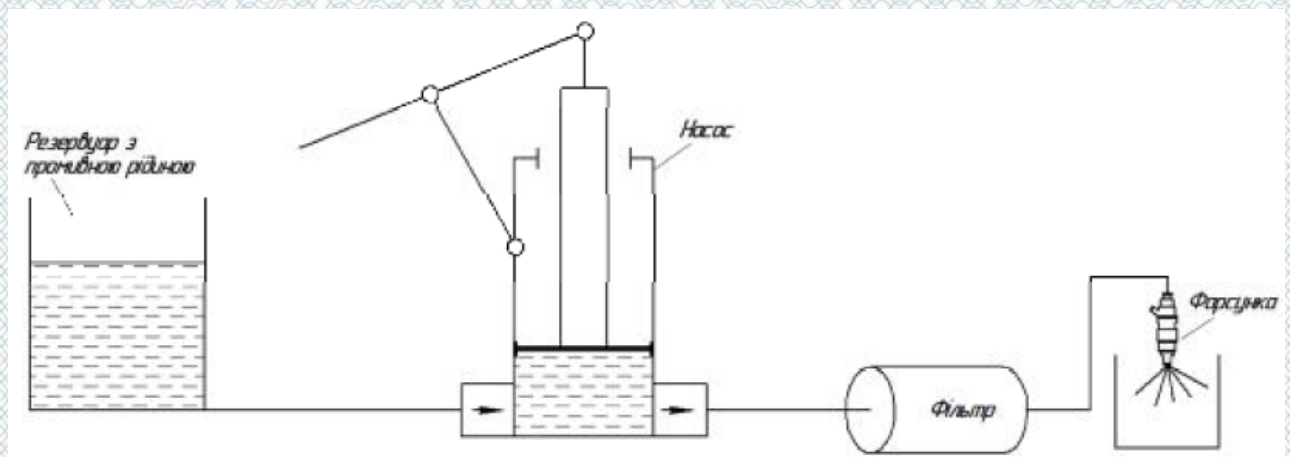


Рисунок 3.13 – Порядок створення надлишкового тиску за допомогою насоса з ручним приводом під час промивання форсунки

Промивання за допомогою ультразвуку дозволяє очистити дуже забруднені форсунки за рахунок проникнення ультразвукових імпульсів до найбільш вузьких місць форсунки. Це не забезпечують інші описані методи.

Отримані практичні результати промивань форсунок інжекторних двигунів показали, що використання регулювання проміжку між голкою та сідлом сприяє ефективному видаленню смолянистих відкладень. Зміна напрямку потоку промивної рідини забезпечує очищення від сторонніх частинок більших за діаметр сопла. Після проведення процедури чищення геометрія розпилювання суттєво покращується та нормалізується подача палива в циліндри кожної форсунки.

3.4 Економічна ефективність розробки поста з відновлення працездатності форсунок

Основними критеріями оцінки економічної ефективності впровадження нової техніки на СТО автомобілів:

- пропускна здатність станції (число постів, ліній);
- кількість обслуговувань;
- рівень фінансових показників;
- умови праці ремонтних робітників.

Характер роботи СТО автомобілів відрізняється від роботи автотранспортних підприємств і авторемонтних заводів, через це розрахунок економічної ефективності від впровадження нової техніки шляхом підрахунку порівняльної ефективності і капітальних вкладень застосовується тільки в окремих випадках.

У більшості випадків при розрахунку економічного ефекту від впровадження нової техніки доцільно застосовувати розрахунок абсолютного ефекту, який визначається виходячи з приросту прибутку і середньої рентабельності роботи станції.

У випадку виконання робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів трудомісткість виконання робіт складає $t_{nn}^1 = 3,0$ люд-год. Тобто загальна річна трудомісткість:

$$T_{nn} = N_{nn} \cdot t_{nn}^1, \text{ люд-год.} \quad (3.6)$$

Особливістю проведення робіт є те, що основною проблемою усіх систем впорскування палива бензинових двигунів є закоксування форсунок в процесі експлуатації, що негативно впливає на роботу двигуна із такими симптомами:

- нестійкий холостий хід;

- проблеми під час прискорення;
- незадовільні пускові характеристики;
- підвищена витрата палива;
- втрата потужності тощо.

В результаті виконаних розробок, представлених в п. 3.2, 3.3 ми сформуваємо технологію перевірки і очистки бензинових форсунок системи електронного впорскування палива.

За допомогою стенду (п. 3.2) можна виконувати такі операції:

- контроль витрати;
- перевірка якості розпилювання;
- випробування на втрати;
- очищення форсунок

На даний момент вартість обладнання, яке застосовується для виконання цих робіт, у відповідності з технологією, становить $K_i = 45500$ грн.

Витрати на придбання нового обладнання O_o , його монтаж та налагодження можна розрахувати за формулою:

$$O_o = \sum_{i=1}^n C_i \cdot N_i \cdot K_i, \text{грн.}, \quad (3.7)$$

де n – кількість видів обладнання;

C_i - ціна придбання обладнання даного виду, марки, грн.;

N_i - кількість однотипного виду обладнання, шт.;

K_i - коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження обладнання тощо, $K_i = 1, 1.1, 1.4$.

Витрати на придбання необхідного інструменту, виробничого та господарського оснащення I розраховуються за формулою

$$I = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн.}, \quad (3.8)$$

де n – кількість видів інструменту, інвентарю;

H_i – кількість інструменту, інвентарю i -го виду, шт.;

C_i – покупка ціна інструменту, оснащення i -го виду, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1, 1, \dots, 1, 15$.

Для нашого випадку, орієнтуючись на прайс-листи провідних виробників обладнання для ТО і ремонту автомобілів, а також інструменту, будемо мати додаткові капітальні вкладення в сумі $K_2 = 63000$ грн.

Капітальні вкладення, які приводяться до експлуатаційних витрат, становлять



$$\Delta K = 0,2 \cdot K_2,$$

(3.9)

де $0,2$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

$$\Delta K = 21087,2 \cdot 0,2 = 12600 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалів, які використовуються при проведенні робіт по відновленню працездатності форсунок складає 350 грн. на одне обслуговування. Враховуючи те, що середня вартість нормо години виконання даного виду робіт становить $S_{н.г} = 550$ грн., матимемо вартість одного обслуговування

$$B_{об} = B_m + T_{об} \cdot S_{н.г}. \quad (3.10)$$

$$B_{об} = 350 + 3 \cdot 550 = 2000 \text{ грн.}$$

Питомі витрати на оплату праці і соціальне страхування $З_n = 350$ грн/обс.
Питомі витрати на експлуатацію обладнання (в тому числі амортизаційні відрахування) складають 110 грн/обс.

Приріст прибутку підприємства за рахунок введення поста буде складати

$$\Delta\Pi = K_{об} \cdot (B_{об} - B_e - З_n - B_m), \quad (3.11)$$

Тоді економічний ефект від організації комплексу відновлення працездатності форсунок складе

$$\Delta E = \Delta\Pi - \Delta K, \text{ грн.} \quad (3.12)$$

Термін окупності

$$T_o = \frac{K_2 - K_1}{\Delta E}, \text{ років} \quad (3.13)$$

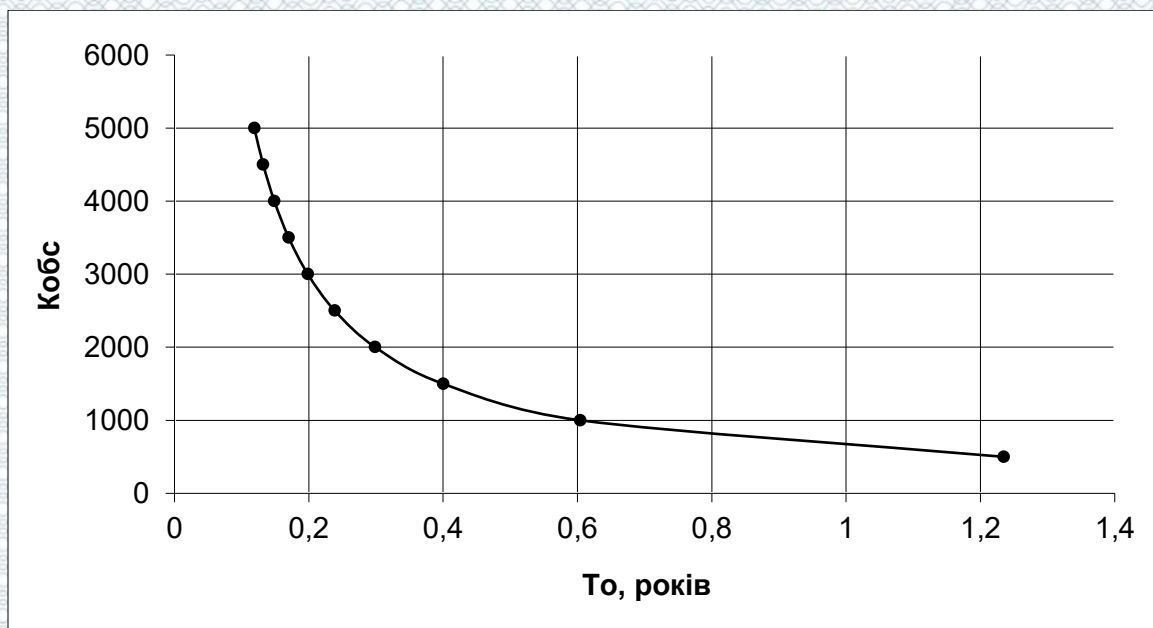


Рисунок 3.14 – Залежність терміну окупності від кількості обслуговувань

Тоді

$$T_o = \frac{K_2 - K_1}{K_{об} (B_{об} - B_e - B_m - Z_n) - 0,2 \cdot K_2}. \quad (3.14)$$

Аналіз отриманої залежності терміну окупності від кількості обслуговування показує, що чим більша кількість обслуговувань тим швидше окупляться затрати на обладнання.

3.5 Висновки до розділу 3

За результатами виконаних у третьому розділі досліджень розроблено методику забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів та практичні заходи з її реалізації. В результаті розрахунку економічної ефективності розробки поста з відновлення працездатності форсунок було встановлено залежність терміну окупності від кількості обслуговувань та доцільність його запровадження. Отже поставлені завдання для цього розділу виконані.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено наукові дослідження, спрямовані на розробку заходів з удосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області. Зокрема було зроблено:

- виконано аналіз передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- досліджено методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- сформовано заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області;
- визначено ефективність запропонованих рішень.

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи:

- формувати обсяги робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності;
- підвищують якість виконання робіт щодо виявлення несправностей системи керування складом паливної суміші;
- дозволяють покращити систему організації технічного обслуговування та поточного ремонту на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кашканов А.А., Скидан В.М. Аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів. LIV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту, 21 жовтня 2024 року – 23 березня 2025 року, Вінниця: ВНТУ. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/22588/18733>.
2. Хрулев О.Є., Сараєв О.В., Сараєва І.Ю. Методи моделювання пошкоджень в двигунах внутрішнього згоряння транспортних засобів : монографія. Київ : УкрІНТЕІ, 2024. 190 с.
3. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Харків: Майдан, 2018. 262 с.
4. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 139 с.
5. Кашканов А.А., Варчук В.В., Зелінський В.Й., Севостьянов С.М. Аналіз витрат операційної діяльності пасажирського АТП з урахуванням зміни їх структурних елементів. Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. 2009, № 3. С. 7-12.
6. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.
7. Буренніков Ю. А., Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Рухомий склад автомобільного транспорту: робочі процеси та елементи розрахунку: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2009. 267 с.
8. Варфоломєєв В.М., Волошина Н.А. Економіко-математичне моделювання в оптимізації функціонування транспортних машин. Харків: ХНАДУ, 2005. 160 с.

9. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія обслуговування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2023. 227 с.
10. Дембіцький В.М., Павлюк В.І., Придюк В.М. Технічна експлуатація автомобілів: навчальний посібник. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. 473 с.
11. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби: вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання (Прийнято та надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 28 грудня 2010 р. № 630).
12. Bosch Automotive Handbook. 9th Edition. / [Reif K., Dietsche K.-H. & others]. Karlsruhe : Robert Bosch GmbH, 2014. 1544 p.
13. Буренніков Ю. А., Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку : навчальний посібник МОНМС України. Вінниця: ВНТУ, 2013. 283 с.
14. Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В., Володарець М. В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 299 с.
15. Коробко Б. О., Васильєв А. В., Воронько Н. В., Голубченко М. В. Спосіб промивання форсунки інжекторних двигунів керованою напругою. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). №1(36)., т.2. 2013. ПолтНТУ. С. 81-91.
16. Кваша Ю. Ю., Васильєв Є. А. Відновлення форсунок інжекторних двигунів легкових автомобілів. Збірник наукових праць студентів електромеханічного факультету / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: Б. О. Коробко (головний редактор) та ін. Вип. 7. Полтава: ПолтНТУ, 2016. С. 32-40.
17. Красота М.В., Шепеленко І.В., Матвієнко А.А., Аль Соодані Салем М. Муташаір. Дослідження впливу забруднень електромагнітних форсунок на параметри бензинових двигунів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2013, вип. 43, част. II. С. 125-134.

18. Zakirjon Musabekov, Jamshid Khakimov, Ergashev Botir. Differential equations for calculating gas exchange in an internal combustion engine. E3S Web Conf. International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO - 2021). Volume 264, 2021. P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401003>.

19. Musabekov Z. E., Boymuradov S., Ortikboev S. Diagnostics and maintenance of electromagnetic injectors of gasoline internal combustion engines. Academic Research in Educational Sciences, Volume 3 (Tashkent State Transport University, Conference 1 – Prospects for Training International Specialists in the Field of Transport), 2022. С. 973-975. DOI: 10.24412/2181-1385-2022-1-973-975.

20. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни “Економічне обґрунтування інноваційних рішень в галузі транспорту” для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Уклад. В. В. Біліченко, С. О. Романюк. Вінниця : ВНТУ, 2016. 63 с.

21. Батлук В. А., Кулик М. П., Яцюк Р. А. Охорона праці : навчальний посібник. Третє видання, доповнене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 388 с.

22. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21. [Електронний ресурс]. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/3091.pdf>.

ДОДАТОК А (обов'язковий). Ілюстративна частина



Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування і транспорту
Кафедра автомобілів і транспортного менеджменту

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБІТ З ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
ФОРСУНОК ІНЖЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ ФІЗИЧНОЇ ОСОБИ-ПІДПРИЄМЦЯ
«РЯБІЙ МИКОЛА ВОЛОДИМИРОВИЧ» МІСТО ІЛЛІНЦІ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Ілюстративна частина
до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

Керівник роботи д.т.н., професор



Кашканов А.А.

Розробив студент гр. 2АТ-23м



Скидан В.М.

Вінниця ВНТУ – 2024 року

Мета роботи – розробка заходів з удосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- дослідити методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- сформулювати заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області;
- визначити ефективність запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів автомобілів категорії М1.

Предмет дослідження – питання забезпечення стабільності параметрів ефективності робочих процесів форсунок інжекторних двигунів в умовах експлуатації.

Методи досліджень. Методологічна основа дослідження – системний підхід до аналізу технічних проблем. Методи досліджень застосовані в роботі: регресійний аналіз, математичне моделювання, реєстрації та обробки вимірюваних параметрів.

Наукова новизна одержаних результатів

Отримали подальший розвиток методико-технологічні підходи відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів.

Практичне значення одержаних результатів

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи:

- дозволяють покращити ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- підвищують якість виконання робіт щодо виявлення несправностей системи керування складом паливної суміші.
- дозволяють покращити систему організації технічного обслуговування та поточного ремонту на підприємстві.

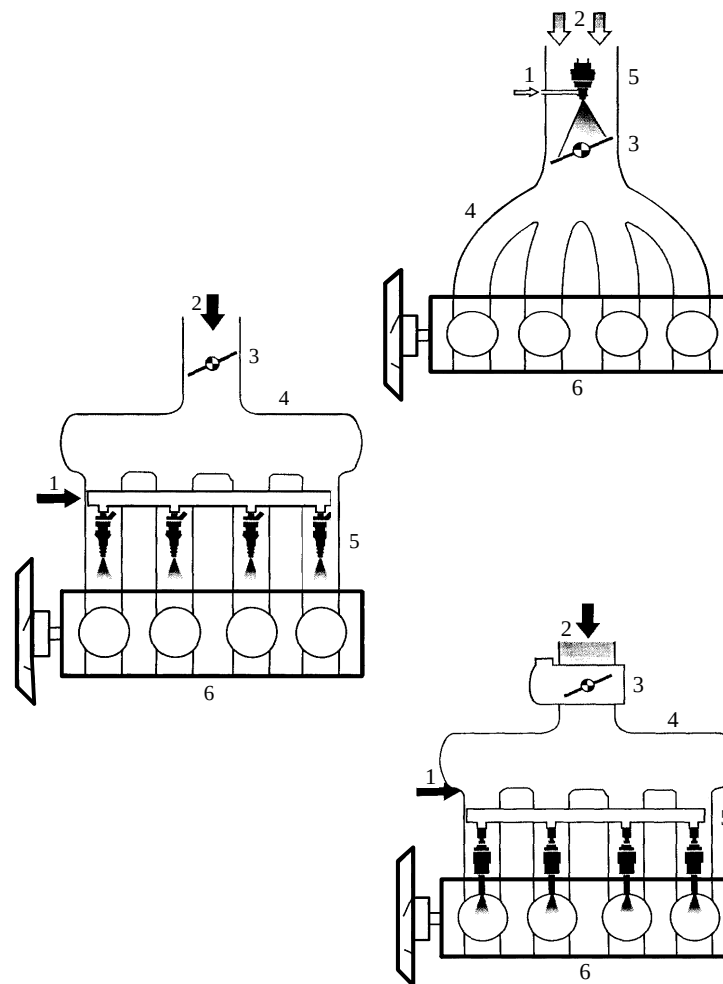
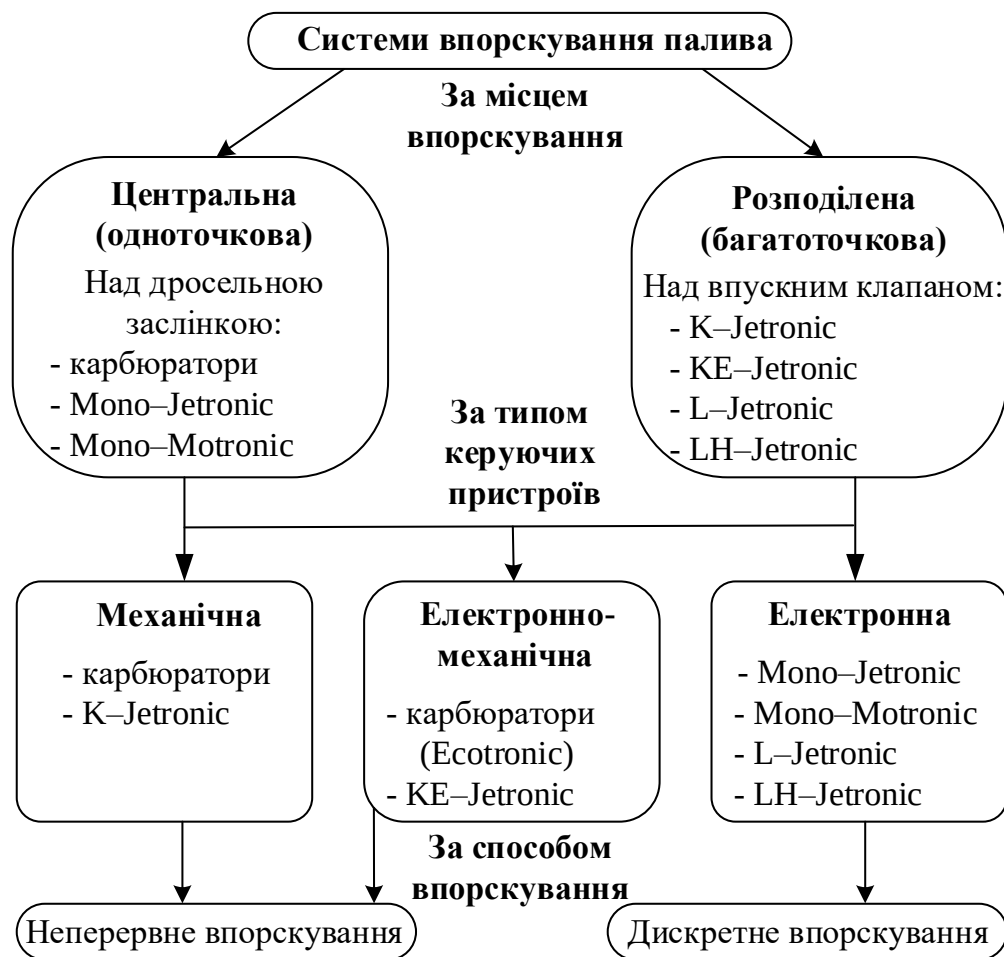
Загальна характеристика діяльності СТО ФОП «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області



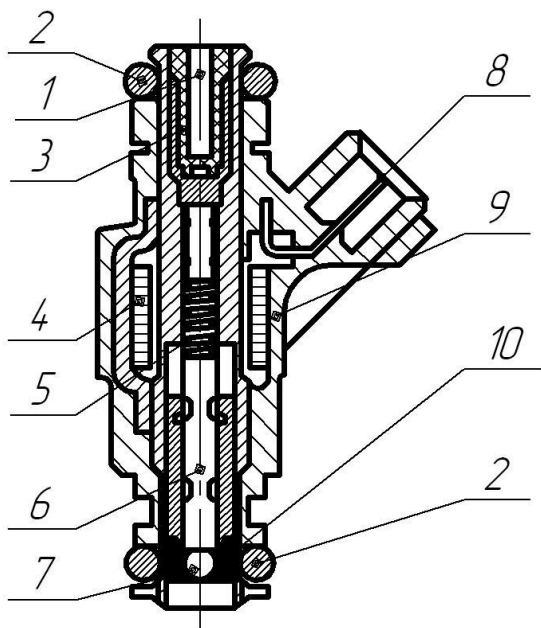
 Діагностика/ Огляд	 Діагностика	 Датчики та системи попередження	 Гальмівна система
 Оливи та фільтри	 Двигун	 Підвіска	 Вихлопна система
 Обслуговування кондиціонерів	 Електрика	 Відновлення, реставрація, ремонт автомобільних деталей	

СТО знаходиться за адресою: 22700, Вінницька область, Іллінецький район, місто Іллінці, вулиця Садова, 25.

Класифікація систем впорскування палива

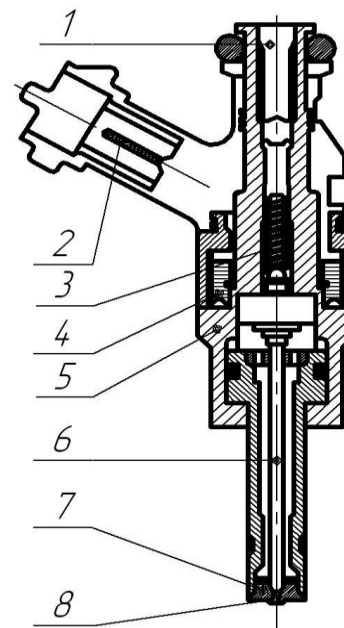


Конструктивні особливості та робочі процеси форсунок інжекторних двигунів



- 1 - гідравлічний сполучний роз'єм; 2 - ущільнювальне кільце;
 3 - фільтрувальна сітка; 4 - обмотка; 5 - пружина; 6 - голка
 клапана з якорем і запірним сферичним елементом;
 7 - розпилювальна пластина з отворами для впрыскування
 палива; 8 - електричний з'єднувальний роз'єм; 9 - корпус
 форсунки; 10- сідло клапана

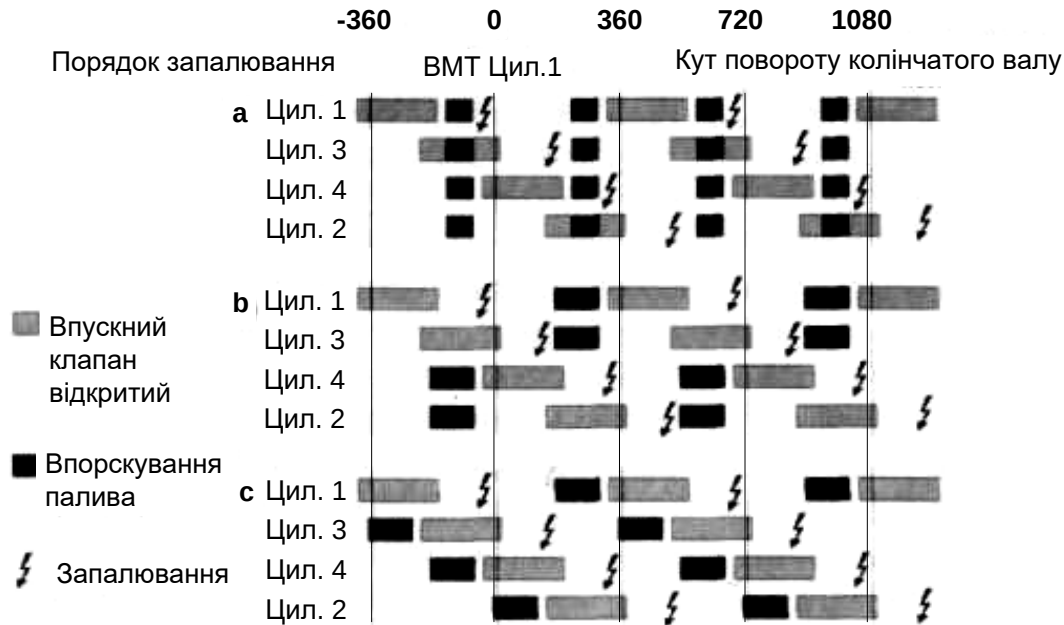
Конструкція електромагнітної форсунки



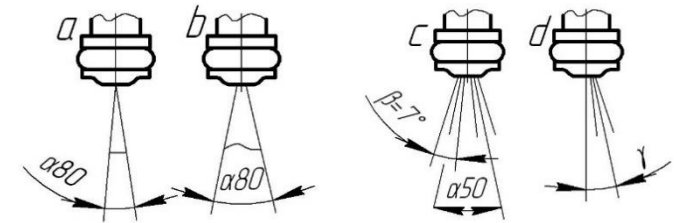
- 1 - впускний канал із сітчастим фільтром тонкого
 очищення; 2 - електричний роз'єм;
 3 - пружина; 4 - соленоїд; 5 - корпус форсунки;
 6 - голка розпилювача з якорем соленоїда;
 7 - сідло; 8 - інжекторний отвір форсунки

Конструкція форсунки високого тиску

Види впорскування палива у впускний трубопровід та форми струменя розпилу



а - синхронне впорскування; б - групове впорскування; в - послідовне впорскування і індивідуальне впорскування в кожен циліндр



а - шнуровий струмінь; б - конічний струмінь; в - подвійний струмінь; д - відхилення осі розпилу від поздовжньої осі форсунки, кут α ; $\alpha 80$ – 80 % палива перебуває всередині кута α ; $\alpha 50$ - 50% палива перебуває всередині кута α ; β - 70% палива в окремому струмені перебуває всередині кута β ; γ - відхилення напрямку струменя від поздовжньої осі форсунки

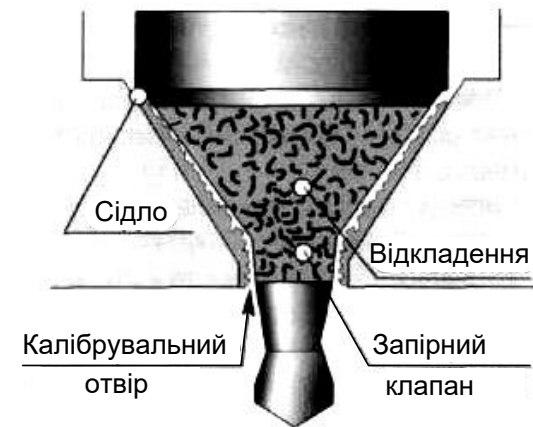


Схема розпилювальної частини форсунки зі штифтовим запірним елементом

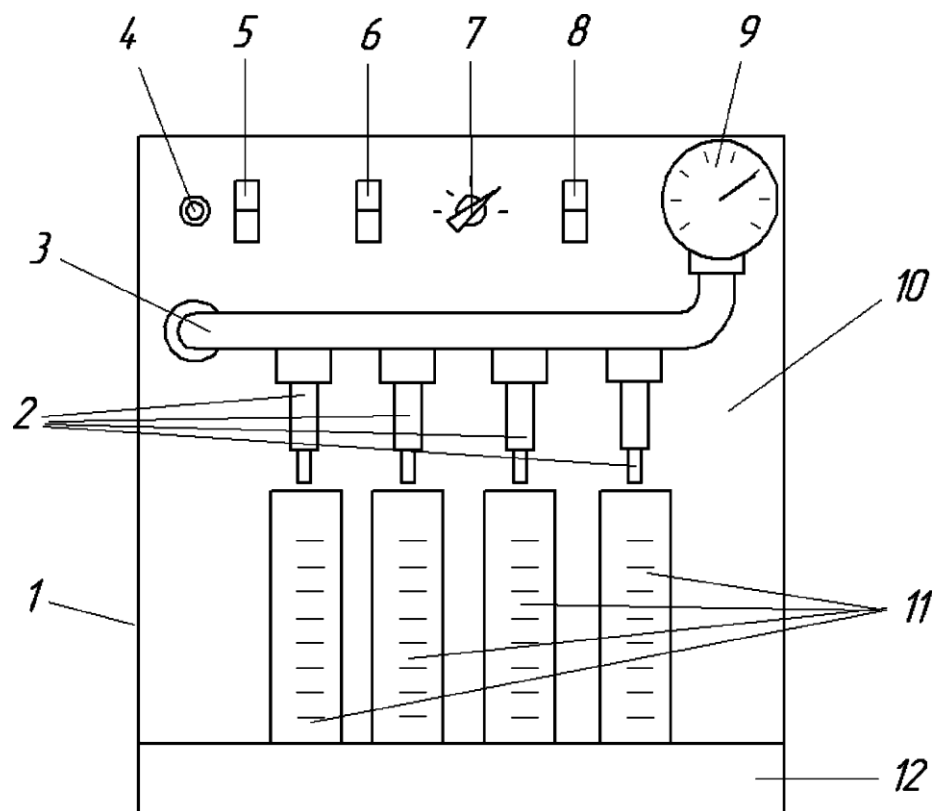
Алгоритм відновлення працездатності форсунок



Алгоритм зняття форсунки

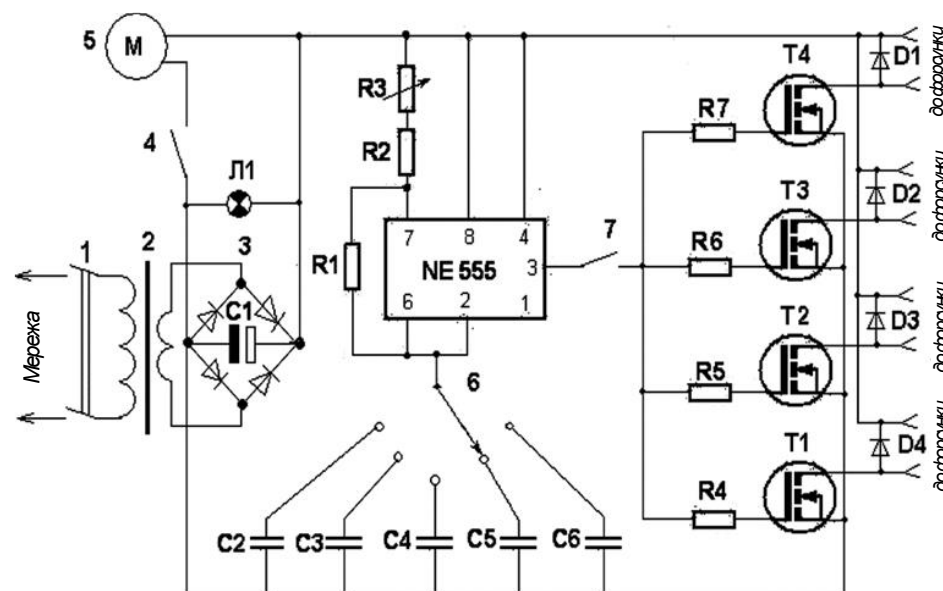
№ опр.	Назва операції	Трудомісткість хв.	Обладнання, інструмент
1	Від'єднуємо електро роз'єми від форсунок	2	
2	Звільняємо жгут проводів форсунок від додаткових точок кріплення	3	викрутка
3	Послаблюємо хомут і знімаємо корпус повітряного фільтра	2	викрутка
4	Від'єднуємо роз'єм датчика температури повітря	1	
5	Відкрутуємо гайки кріплення паливної рампи до впускного колектора	4	ключ накидний S12
6	Витягуємо рампу разом з форсунками	2	
7	Витягуємо форсунки з паливної рампи	4	
8	Витягуємо ущільнювані кільця з отворів у колекторі й оглядаємо на предмет ушкодження	2	

Стенд для діагностики та промивання форсунок

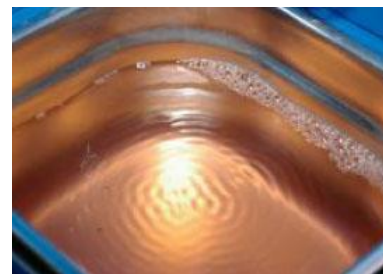


- 1 - рама; 2 - форсунки; 3 - рампа; 4 - контрольна лампа;
 5 - мережвий вимикач; 6 - вимикач бензонасоса;
 7 - перемикач частоти пульсації; 8 - вимикач форсунок;
 9 - манометр; 10 - лицьова панель; 11 - мірні ємності;
 12 - плита для встановлення мірних ємностей

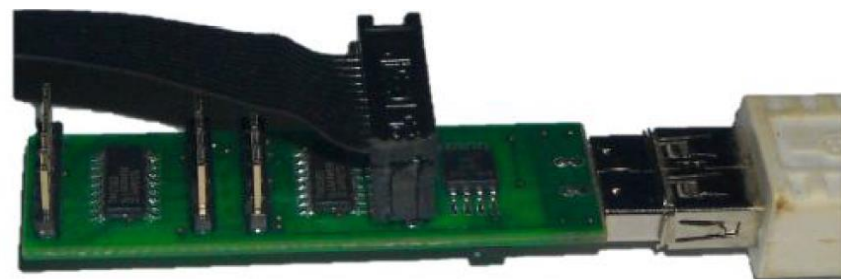
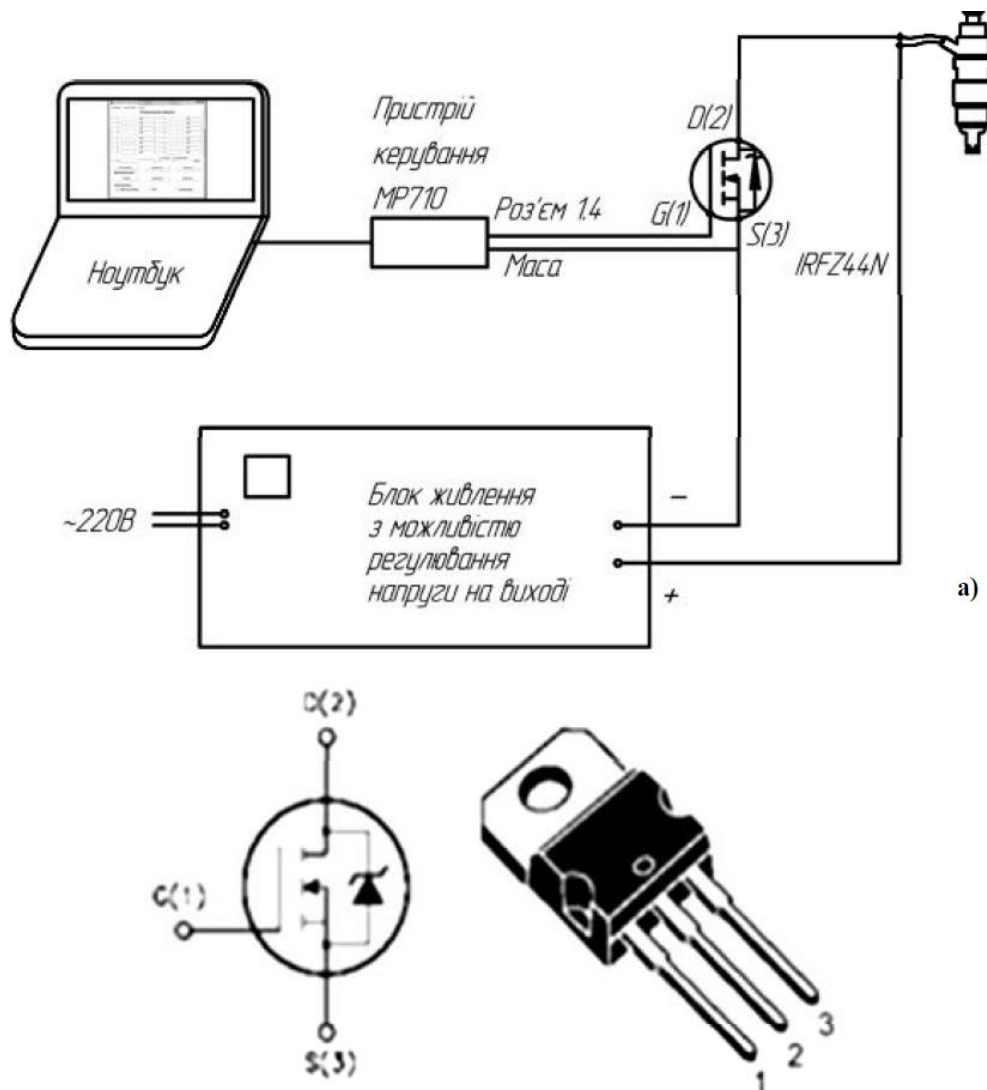
Принципова електрична схема стенду



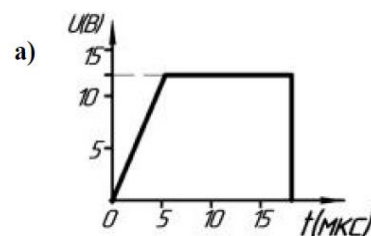
- 1-мережвий вимикач; 2-трансформатор; 3-випрямляч;
 4-вимикач бензонасоса; 5-бензонасос; 6-перемикач частоти імпульсів; 7-вимикач форсунок



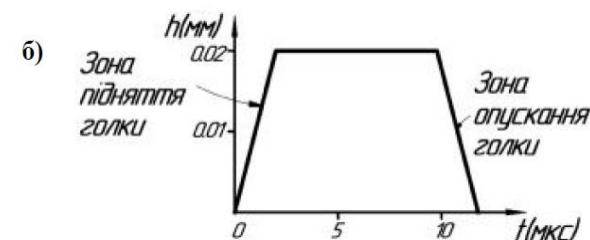
Спосіб відновлення працездатності форсунки шляхом керування напругою



USB модуль MP710



а)



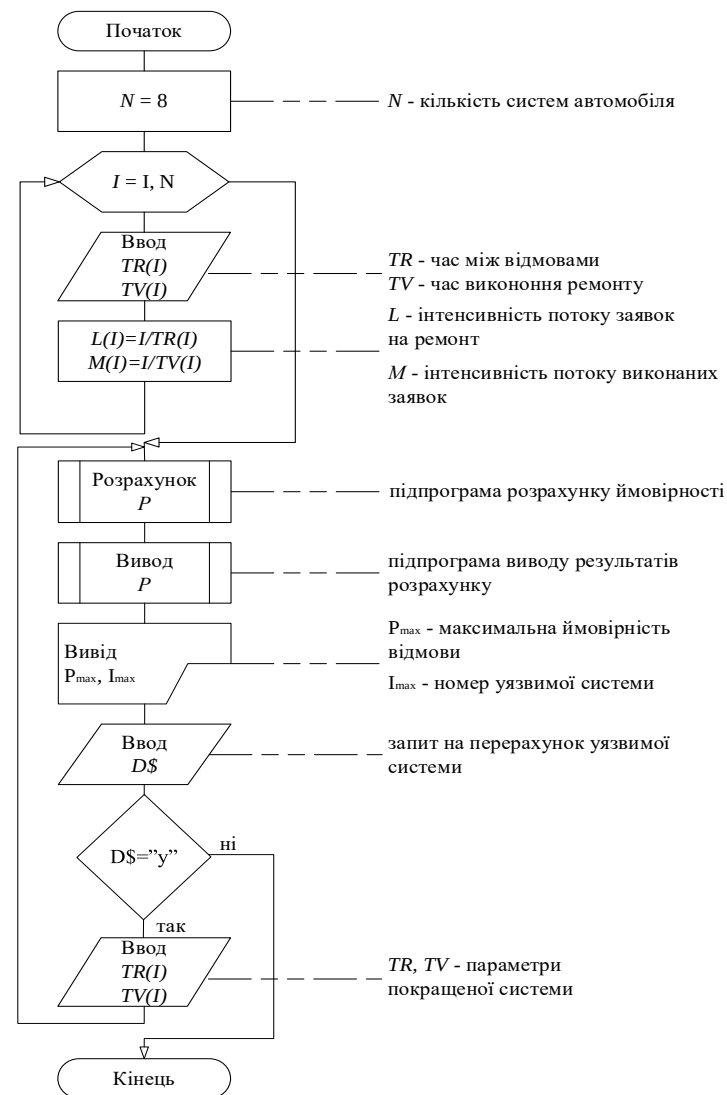
б)

- а) раптове зменшення подачі напруги на котушку;
 б) зміна висоти підйому голки у часі при правильному розпиленні

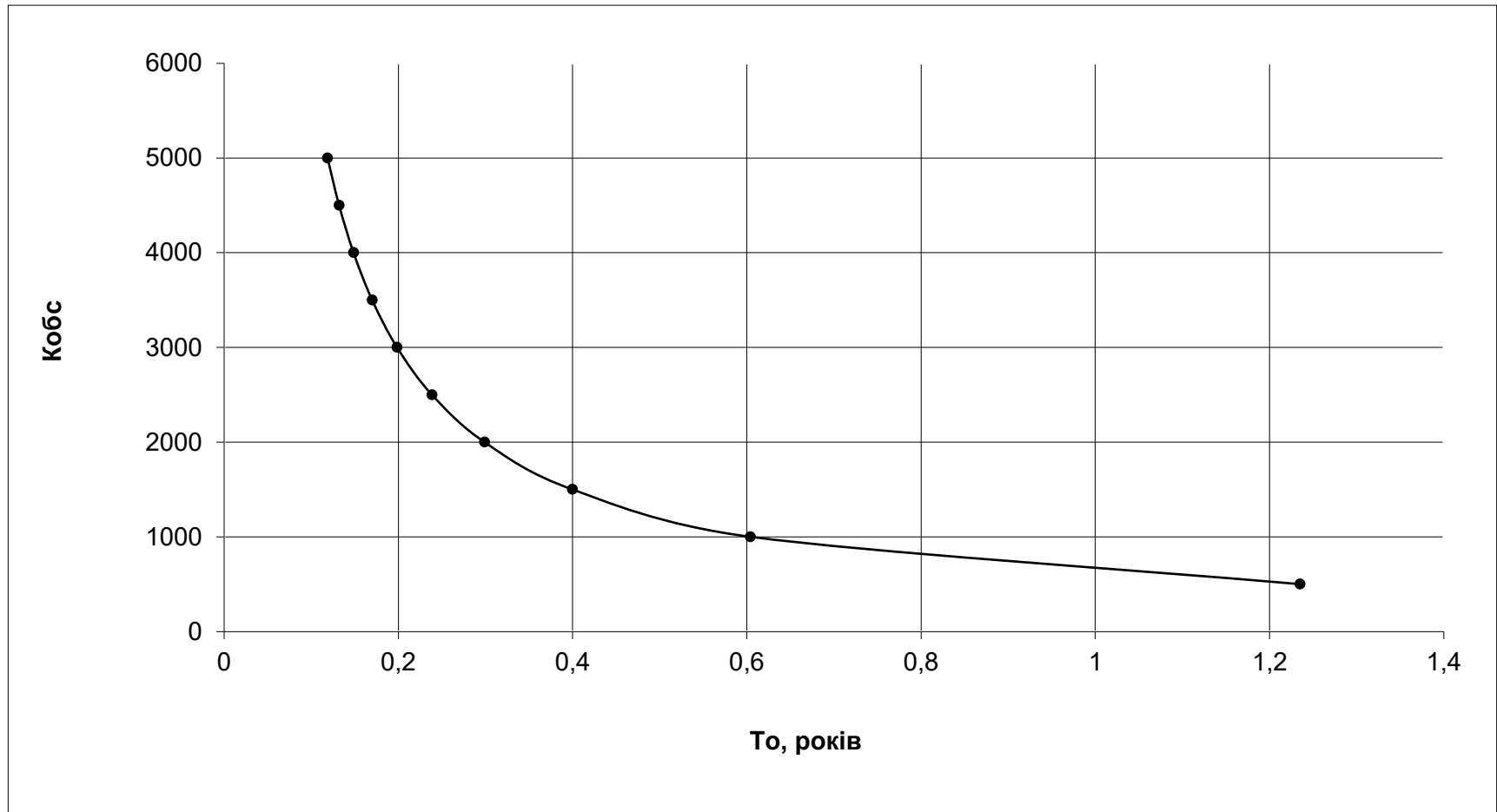
Поведінка голки під час керування форсункою

Електрична схема системи управління форсункою

Формування обсягів робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності



Економічна ефективність розробки пошта з відновлення працездатності форсунок



ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено наукові дослідження, спрямовані на розробку заходів з удосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області.

Зокрема було зроблено:

- виконано аналіз передумов розробки заходів з покращення ефективності робіт по відновленню працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- досліджено методико-технологічні аспекти відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів;
- сформовано заходи з методичного та практичного забезпечення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області;
- визначено ефективність запропонованих рішень.

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи:

- формувати обсяги робіт з підтримки та відновлення працездатності автомобілів за видами на основі оцінки показників надійності;
- підвищують якість виконання робіт щодо виявлення несправностей системи керування складом паливної суміші;
- дозволяють покращити систему організації технічного обслуговування та поточного ремонту на підприємстві.

ДОДАТОК Б (обов'язковий). Протокол перевірки на плагіат



ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Вдосконалення ефективності робіт з відновлення працездатності форсунок інжекторних двигунів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів фізичної особи-підприємця «Рябій Микола Володимирович» місто Іллінці Вінницької області

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 79 % Схожість 21 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

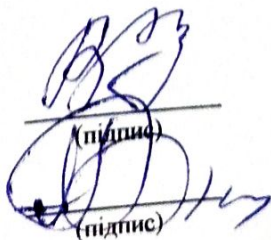
☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Скидан В.М.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

Кашканов А.А.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В. Програма та результати розрахунку ймовірності
стану систем автомобіля Volkswagen Polo




```

DIM D$(5) 'Масив реєстраційних даних.'
D$(1)="Розрахунок ймовірності стану автомобіля"
D$(2)="з врахуванням відмов функціонування його систем."
D$(3)="Реєстраційні дані"
D$(4)="Модель автомобіля:"
D$(5)="Дата розрахунку:"
CLS
PRINT D$(1):PRINT D$(2):PRINT D$(3)
PRINT D$(4)::INPUT. D$(0):D$(4)=D$(4)+D$(0)
PRINT D$(5)::INPUT. D$(0):D$(5)=D$(5)+D$(0)

N=8 'N-кількість систем автомобіля.'
DIM S$(N), TR(N), TV(N), L(N), M(N), P(N)
S$(0)="Ймовірність справного стану автомобіля: "
S$(1)="система двигуна: "
S$(2)="система рульового керування: "
S$(3)="система кузова: "
S$(4)="система електрообладнання: "
S$(5)="система підвіски: "
S$(6)="трансмісія: "
S$(7)="коліса: "
S$(8)="гальмівна система: "
CLS
PRINT "Введіть дані по відмовам і ремонту систем автомобіля."
PRINT "TR-середній час поміж відмовами."
PRINT "TV-середній час виконання ремонту."

FOR I=1 TO N
    PRINT I".S$(I)
    PRINT "TR("I")="::INPUT. TR(I):L(I)=1/TR(I)
    PRINT "TV("I")="::INPUT. TV(I):L(I)=1/TV(I)
NEXT I

OPEN "reliable.txt" FOR OUTPUT AS#1 'Відкриття файлу даних.'
GOSUB 3000 'П/п збереження вихідних даних.'
100: 'Початок розрахунку.'
GOSUB 1000 'П/п розрахунку ймовірності.'
GOSUB 4000 'П/п виводу результатів (в файл).'
CLOSE #1
CLS
OPEN "\dev\con" FOR OUTPUT AS#1
GOSUB 4000
PRINT #1, "Результати збережені у файлі reliable.txt"
PRINT #1, "Найбільшу ймовірність відмови має:"
PRINT #1, S$(IMAX)"P("IMAX")="::PRINT#1, USING "##.###";P(IMAX)
PRINT #1, "Провести перерахунок уязвімої системи(Y/N)?"
200:
D$(0)=INKEY$
IF D$(0)="" THEN 200 'Очікування відповіді'
IF D$(0)="y" OR D$(0)="Y" THEN GOSUB 2000, GOTO 100 'П/п реєстрації перерахунку.'
CLOSE#1
END

1000: 'Розрахунок ймовірностей'
P(0)=0
FOR I=1 TO N: P(0)=P(0)+L(I)/M(I): NEXT I
P(0)=1/(1+P(0))
PMAx=0: IMAX=0
FOR I=1 TO N
    P(I)=P(0)*L(I)/M(I)
    IF P(I)>PMAx THEN PMAx=P(I), IMAX=I
NEXT I
RETURN

```



```

2000:      'Реєстрація перерахунку уязвимої системи.'
D$(0)="Перерахунок уязвимої системи."
PRINT D$(0): PRINT S$(IMAX)
PRINT "TR("IMAX")="::INPUT, TR(IMAX):L(IMAX)=1/TR(IMAX)
PRINT "TV("IMAX")="::INPUT, TV(IMAX):M(IMAX)=1/TV(IMAX)
CLOSE#1
OPEN "reliable.txt" FOR APPEND AS#1 'Відкриття файла даних.'
PRINT#1, D$(0): PRINT#1, S$(IMAX)"TR("IMAX")=":::
PRINT#1, WSING "###.###": TR(IMAX):
PRINT#1, ".TV("IMAX")="::: PRINT#1, USING "###>###":TV(IMAX)
RETURN

3000:      'Вивід вихідних даних.'
FOR I=1 TO 5: PRINT#1, D$(I): NEXT I
PRINT#1, ""
PRINT#1, "-----"
PRINT#1, " N | Система автомобіля          |   TR   |   TV   |"
PRINT#1, "-----"
FOR I=1 TO N
    PRINT#1, I|"S$(I)"|":
    PRINT#1, USING "###.###": TR(I)::TV(I)
NEXT I
PRINT#1, "-----"
RETURN

4000:      'Вивід результатів розрахунку.'
PRINT#1, "Результати розрахунку."
PRINT#1, S$(0)"P(0)="::PRINT#1, USING "##.###": P(0)
PRINT#1, "Ймовірність відмов:"
FOR I=1 TO N
    PRINT#1, I". "S$(I)"P("I")="::PRINT$1, USING "##.###":P(I)
NEXT I
RETURN

```


Розрахунок ймовірності стану автомобіля
з врахуванням відмов функціонування його систем.
Реєстраційні дані.
Модель автомобіля: Volkswagen Polo
Дата розрахунку: 19.11.2024 р.
Вихідні дані по системам автомобіля:

N	Система автомобіля	TR	TV
1	система двигуна:	42.900	2.600
2	система рульового керування:	31.500	1.300
3	система кузова:	64.800	4.300
4	система електрообладнання:	14.300	0.400
5	система підвіски:	26.300	1.100
6	трансмісія:	21.800	1.600
7	колеса:	46.400	0.700
8	гальмівна система:	23.900	0.600

Результати розрахунків.

Ймовірність робочого стану автомобіля: $P(0) = 0.740$

Ймовірність відмов:

1 . система двигуна:	$P(1) = 0.054$
2 . система рульового керування:	$P(2) = 0.031$
3 . система кузова:	$P(3) = 0.049$
4 . система електрообладнання:	$P(4) = 0.021$
5 . система підвіски:	$P(5) = 0.031$
6 . трансмісія:	$P(6) = 0.045$
7 . колеса:	$P(7) = 0.011$
8 . гальмівна система:	$P(8) = 0.019$

Перерахунок уязвимої системи.

Двигун: $TR(1) = 29.500$. $TV(1) = 0.600$

Результатів розрахунків.

Ймовірність справного стану автомобіля: $P(0) = 0.770$

Ймовірність відмов:

1 . система двигуна:	$P(1) = 0.017$
2 . система рульового керування:	$P(2) = 0.032$
3 . система кузова:	$P(3) = 0.051$
4 . система електрообладнання:	$P(4) = 0.022$
5 . система підвіски:	$P(5) = 0.032$
6 . трансмісія:	$P(6) = 0.046$
7 . колеса:	$P(7) = 0.012$
8 . гальмівна система:	$P(8) = 0.019$