

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

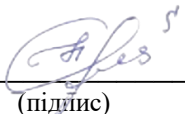
КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

ЩЕРБАКОВ ІЛЛЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК З
РОЗРОБКОЮ УНІВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ,
ОЧИЩЕННЯ ТА РЕГЕНЕРАЦІЇ**

**Кваліфікаційна робота
за спеціальністю 015.38 «Професійна освіта»
освітньо-професійна програма «Транспорт»**

Особистий підпис – _____ І. О. Щербаков

Науковий керівник –  _____ к.е.н., доцент Н. А. Гринюк
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

Зав. кафедри –  _____ к.п.н., доцент, В. В. Бурдун
(підпис) (посада, науковий ступінь,
наукове звання, ініціали, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
 «ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»
 ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КАФЕДРА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
 РЕСТОРАННОГО І ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Затверджую:

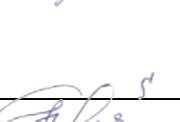
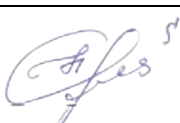
Декан факультету технологій та
 інформаційних систем

 Могильний Г.А.

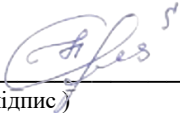
**Індивідуальний план здобувача вищої освіти
 щодо виконання кваліфікаційної роботи**

1. Щербаков Ілля Олександрович
 (прізвище, ім'я, по батькові здобувача)
2. Факультет технологій та інформаційних систем
3. Спеціальність «Професійна освіта. Транспорт»
4. Кафедра професійної освіти ресторанного і туристичного бізнесу
5. Науковий керівник Гринюк Наталія Андріївна, к.е.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
6. Тема кваліфікаційної роботи
Аналіз методів діагностики паливних форсунок з розробкою універсального
 стенду для тестування, очищення та регенерації
7. Термін подання роботи на кафедру 08.05.2026 р.

№	Заходи	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи, вивчення наукової літератури, затвердження теми й керівника.	10.10.2025	
2.	Розробка плану роботи, визначення мети, завдань, об'єкту, предмету, методів дослідження.	14.11.2025	
3.	Робота над теоретичною частиною кваліфікаційної роботи, аналіз літературних джерел.	05.12.2025	

4.	Подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи для першого читання науковим керівником.	19.12.2025	
5.	Усунення зауважень, урахування рекомендацій наукового керівника, подання теоретичної частини кваліфікаційної роботи на друге читання.	16.01.2026	
6.	Розробка технологічної і конструкторської частин роботи. Поетапний аналіз та обговорення результатів дослідної роботи.	30.01.2026	
7.	Подання першого варіанта дослідної частини кваліфікаційної роботи на перевірку науковому керівникові.	20.02.2026	
8.	Урахування рекомендацій наукового керівника, збагачення роботи додатковими дослідженнями, проведеними під час практики, підготовка варіанта роботи до попереднього захисту роботи на кафедрі.	06.03.2026	
9.	Попередній захист роботи на кафедрі.	20.03.2026	
10.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням рекомендацій після попереднього захисту роботи на кафедрі.	03.04.2026	
11.	Подання кваліфікаційної роботи науковому керівникові та рецензентові на підготовку відгуку й рецензії.	17.04.2026	
12.	Подання на кафедру остаточного варіанта кваліфікаційної роботи, підписаного випускником, науковим керівником і рецензентом.	08.05.2026	

Здобувач вищої освіти _____ **Щербаков І. О.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  _____ **Гринюк Н. А.**
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Аналіз методів діагностики паливних форсунок з розробкою універсального стенду для тестування, очищення та регенерації» виконана на 66 сторінках пояснювальної записки з використанням 20 літературних джерел.

У роботі розглянуто питання:

- принцип роботи та конструктивні особливості паливних форсунок;
- проаналізовано технологічне обладнання для ремонту та очищення форсунок;
- розроблено конструкції стенду для ультразвукового очищення та діагностування форсунок;
- розроблено методику діагностики технічного стану та очищення паливних форсунок із застосуванням ультразвукової ванни.

Дослідження методів діагностики паливних форсунок та розробка універсального стенду для їх тестування, очищення та регенерації є надзвичайно актуальними у сучасному автомобільному сервісі.

Паливні форсунки відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи двигуна, правильного розпилу палива та оптимізації витрати пального. Забруднення або несправності форсунок призводять до зниження продуктивності двигуна, підвищення витрат пального та збільшення шкідливих викидів.

Ключові слова: автомобіль, паливна форсунка, стендові випробування, технічний стан, ультразвукова очистка форсунок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I ТЕОРЕТИЧНИЙ	7
1.1 Принцип роботи та конструктивні особливості паливних форсунок	7
1.2 Ключові прояви несправності паливних форсунок	13
1.3 Аналіз методів та технологій очищення форсунок	15
Висновки до розділу I.....	21
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ.....	22
2.1 Технологічне обладнання для ремонту та очищення форсунок	22
2.2. Обґрунтування методів продовження експлуатаційного ресурсу форсунок.....	29
2.3 Технологія реставрації розпилювачів форсунок	34
Висновки до розділу II.....	39
РОЗДІЛ III РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ	40
3.1 Розробка конструкції стенду для ультразвукового очищення та діагностування форсунок.....	40
3.2 Методика діагностики технічного стану та очищення форсунок за допомогою ультразвукової ванни.	45
3.3 Розробка технологічного процесу визначення ступеня видалення забруднень з поверхонь компонентів форсунок.....	52
Висновки до розділу III	57
РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
4.1 Заходи з охорони праці під час виконання технологічних операцій на автомобілі	58
4.2 Безпека та охорона праці під час роботи на стенді для ультразвукового очищення форсунок.	59
4.3 Охорона навколишнього середовища та пожежна безпека	61
Висновки до розділу IV	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	65

ВСТУП

Сучасні автомобільні двигуни внутрішнього згоряння відзначаються високими вимогами до ефективності згоряння палива, екологічності та надійності роботи.

Одним із ключових елементів паливної системи, що безпосередньо впливає на ці показники, є паливні форсунки. Від їхньої справності залежить точність дозування палива, якість утворення паливо-повітряної суміші, стабільність роботи двигуна та рівень викидів шкідливих речовин.

Її технічний стан визначає рівномірність подачі палива, точність дозування та якість розпилу, що, у свою чергу, впливає на економічність роботи двигуна, його потужність та рівень шкідливих викидів.

З часом форсунки піддаються зносу та забрудненню, що призводить до порушення режимів подачі палива, нестабільної роботи двигуна та збільшення витрат пального. Тому діагностика, очищення та регенерація форсунок є невід'ємними процесами технічного обслуговування сучасних автомобілів.

На сьогодні існує низка методів контролю працездатності форсунок від простих механічних перевірок до комплексних електронних стендів, які дозволяють імітувати умови реальної роботи двигуна. Проте більшість таких установок мають вузьке призначення або високу вартість, що ускладнює їх використання в умовах невеликих сервісних станцій.

У цій роботі пропонується створення стенду для діагностики та очищення паливних форсунок, які мають важливе значення в забезпеченні ефективної роботи двигуна. Розробка такого стенду є ключовим етапом у підтриманні надійності та працездатності автомобільних систем.

РОЗДІЛ І ТЕОРЕТИЧНИЙ

1.1 Принцип роботи та конструктивні особливості паливних форсунок

Форсунка, або інжектор, є конструктивним елементом системи впорскування палива, призначеним для точного дозування палива, його розпилення в камері згоряння або впускному колекторі та формування паливно-повітряної суміші. Форсунки застосовуються як у бензинових, так і в дизельних двигунах. У сучасних двигунах використовуються форсунки з електронним управлінням процесом впорскування.

Залежно від способу здійснення впорскування розрізняють такі типи форсунок: електромагнітні, електрогідравлічні та п'єзоелектричні.

Електромагнітна форсунка (рис. 1.1) зазвичай встановлюється на бензинових двигунах, зокрема на двигунах із системою безпосереднього впорскування.

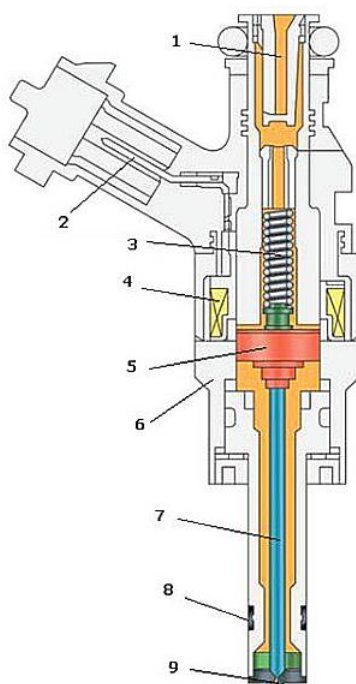


Рис. 1.1. Електромагнітна форсунка: 1 – сітчастий фільтр; 2 – електричний роз'єм; 3 – пружина; 4 – обмотка збудження; 5 – якоря електромагніту; 6 – корпус форсунки; 7 – голка форсунки; 8 – ущільнення; 9 – сопло форсунки.

Вона має відносно просту конструкцію, що включає електромагнітний клапан із голкою та сопло. Принцип її роботи полягає в наступному: електронний блок управління відповідно до заданого алгоритму подає напругу на обмотку клапана у визначений момент.

Робота електромагнітної форсунки базується на управлінні потоком палива електричним сигналом. При подачі напруги на котушку виникає електромагнітне поле, яке долає зусилля пружини і піднімає якір із голкою. У результаті відбувається відкриття сопла і впорскування палива в камеру згоряння. Після завершення імпульсу електромагнітного сигналу пружина повертає якір у початкове положення, закриваючи форсунку та припиняючи подачу палива.

Переваги електромагнітних форсунок:

- висока точність впорскування та можливість регулювання моменту та тривалості подачі палива.
- зменшення шкідливих викидів та поліпшення екологічних показників двигуна.
- можливість роботи у системах з високим тиском впорскування.

Обмеження та недоліки:

- обмежена швидкість реакції у порівнянні з п'єзоелектричними форсунками.
- залежність від стабільності електричного живлення та чутливості до коливань напруги.
- потребує точного технічного обслуговування та очищення від відкладень палива для збереження продуктивності.

Електрогідравлічна форсунка (ЕГФ) (рис. 1.2) є одним із ключових елементів сучасних систем безпосереднього впорскування палива у дизельних двигунах та високопродуктивних бензинових двигунах із прямим уприскуванням.

Внаслідок цього виникає електромагнітне поле, яке, долаючи силу пружини, переміщує якір з голкою, відкриваючи сопло та здійснюючи

впорскування палива. Після припинення подачі напруги пружина повертає голку на сідло, завершуючи цикл впорскування.

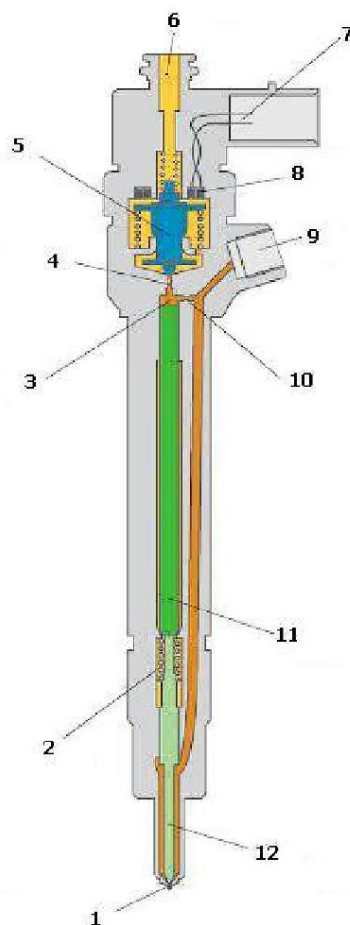


Рис. 1.2. Пристрій електрогідравлічної форсунки: 1 – сопло форсунки; 2 – пружина; 3 – камера керування; 4 – зливний дросель; 5 – явір електромагніту; 6 – зливний канал; 7 – електричний роз'єм; 8 – обмотка збудження; 9 – штуцер підведення палива; 10 – впускний дросель; 11 – поршень; 12 – голка форсунки.

Цей тип форсунки активується в момент подачі напруги на обмотку збудження клапана відповідно до алгоритму, запрограмованого в електронному блоці керування. Поява напруги формує електромагнітне поле, яке долає опір пружини та переміщує явір разом із голкою, що призводить до відкриття сопла та впорскування палива. Після відсутності напруги пружинний механізм повертає голку форсунки у початкове положення.

Її функціонування ґрунтується на інтеграції електричного керування та гідравлічного механізму, що забезпечує точне дозування палива, оптимізацію процесу згоряння та зменшення викидів шкідливих речовин.

Принцип дії електрогідравлічної форсунки базується на наступному механізмі: електричний сигнал, який надходить від блоку керування двигуном (ECU), активує соленоїдний або п'єзоелектричний елемент, що створює кероване гідравлічне тиск у камері форсунки.

Це тиск подолує силу пружини запірного клапана і забезпечує підйом голки форсунки, що відкриває сопло для подачі палива. Завдяки такому принципу можна реалізовувати багатократне та фазоване уприскування палива протягом одного робочого циклу двигуна, що значно підвищує ефективність процесу згоряння та зменшує детонаційні явища.

Конструктивно електрогідравлічна форсунка складається з наступних основних елементів: корпусу, гідравлічної камери, голки з запірним клапаном, електромагнітного або п'єзоелектричного приводу, системи подачі та розподілу палива. Високоточне виготовлення цих компонентів забезпечує мінімальні похибки у величині впорскування, що є критичним для сучасних двигунів із високим ступенем стиснення та жорсткими екологічними стандартами.

Електрогідравлічні форсунки дозволяють реалізувати ряд технічно важливих функцій:

1. Впорскування можливість точного керування кількістю палива та фазою його введення у камеру згоряння.
2. Оптимізація процесу суміші повітря та палива підвищує ккд двигуна.
3. Завдяки точному дозуванню палива зменшується утворення сажі та оксидів азоту.
4. Форсунка здатна виконувати попереднє, основне та післявприскування, що особливо актуально для дизельних двигунів з турбонаддувом.

Таким чином, електрогідравлічна форсунка є високотехнологічним пристроєм, що поєднує електроніку та гідравліку для забезпечення оптимального процесу впорскування палива, підвищення економічності та екологічності двигуна.

П'єзоелектричні форсунки (рис.1.3) є сучасними компонентами систем впорскування палива в дизельних та бензинових двигунах внутрішнього згоряння, що характеризуються високою точністю керування та швидкістю реакції. П'єзофорсунками встановлюється на дизельні двигуни з Common Rail. Даний тип форсунки є найдосконалішим пристроєм.

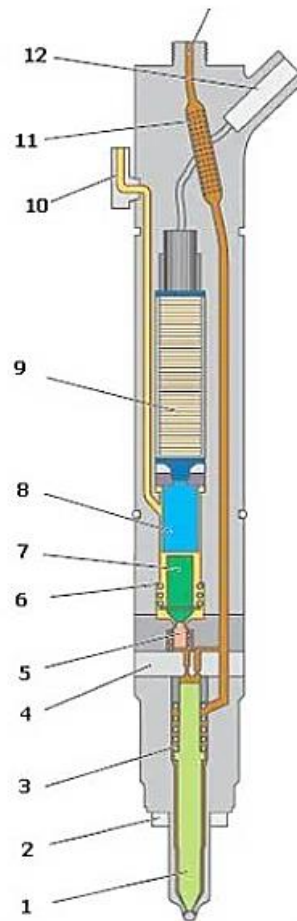


Рис. 1.3. Конструкція п'єзофорсунки: 1 – голка форсунки; 2 – ущільнення; 3 – пружина голки; 4 – блок дроселів; 5 – перемикаючий клапан; 6 – пружина клапана; 7 – поршень клапана; 8 – поршень штовхача; 9 – п'єзоелемент; 10 – зливний канал; 11 – сітчастий фільтр; 12 – електричний роз'єм; 13 – нагнітальний канал.

На відміну від традиційних електромагнітних форсунок, п'єзоелектричні форсунки використовують властивості п'єзоелектричних матеріалів для здійснення прямого переміщення голки форсунки, що забезпечує більш тонке і точне дозування палива.

Принцип роботи п'єзоелектричної форсунки базується на п'єзоелектричному ефекті, коли під дією електричного поля кристал п'єзoeлементa деформується, створюючи механічне переміщення. Ця деформація передається на якір форсунки, що відкриває або закриває сопло, регулюючи подачу палива в камеру згоряння.

Основною перевагою такого механізму є здатність до дуже швидкого та точного регулювання часу відкриття форсунки та тривалості впорскування, що дозволяє оптимізувати процес згоряння, зменшити витрати палива та скоротити викиди шкідливих речовин.

Переваги п'єзоелектричних форсунок включають. Високу швидкість відкриття та закриття (до декількох мікросекунд), що дозволяє реалізувати багатократні впорскування за один робочий цикл. Точне дозування палива, що зменшує нерівномірність згоряння та шум двигуна.

Підвищену ефективність процесу згоряння, що сприяє зниженню витрат палива та токсичності відпрацьованих газів. Можливість реалізації сучасних стратегій керування двигуном, таких як фазоване та подільне впорскування палива.

Недоліки та обмеження п'єзоелектричних форсунок пов'язані переважно з високою вартістю виробництва, чутливістю до забруднень палива та необхідністю використання високоякісних електронних систем управління.

Таким чином, п'єзоелектричні форсунки представляють собою високотехнологічний компонент систем впорскування, який дозволяє значно підвищити ефективність роботи двигунів внутрішнього згоряння та відповідність сучасним екологічним стандартам.

1.2 Ключові прояви несправності паливних форсунок

Визначення проблем із паливними форсунками є важливим етапом діагностики паливної системи, оскільки саме ці елементи відповідають за точне дозування пального та рівномірне його розпилення в камеру згоряння.

Найпоширенішими несправностями є засмічення розпилювальних отворів, знос голки або ущільнювальних елементів, а також порушення герметичності корпусу. У дизельних системах часто спостерігається утворення нагару, який знижує ефективність розпилення пального, тоді як у бензинових форсунках можуть проявлятися відкладення смолистих речовин.

Досить часто пристрій подачі палива забруднюється, а на стінках форсунок виникають різні відкладення. Несправності паливних форсунок безпосередньо впливають на роботу двигуна, його динаміку, витрату пального та екологічні показники. Найчастіше причиною є використання неякісного палива, що призводить до перебоїв роботи або навіть втрати потужності двигуна.

Ще одним симптомом є утруднений запуск двигуна, особливо в холодному стані. Це може бути зумовлено як підтіканням форсунки, що призводить до зниження тиску в паливній рампі, так і недостатнім розпиленням пального, внаслідок чого утворюється надто багата або бідна суміш. Крім того, у процесі експлуатації можливе виникнення детонаційних стуків, що пояснюється нерівномірним надходженням пального в окремі циліндри.

Важливим сигналом несправності є також поява сторонніх запахів пального в салоні автомобіля чи поблизу двигуна. Це може свідчити про негерметичність форсунки або її посадкового місця. В окремих випадках у моторній оливі виявляють підвищений вміст пального, що вказує на витік через форсунки та потрапляння його у картер двигуна.

Для підтвердження виявлених симптомів застосовуються спеціалізовані методи діагностики: перевірка на стенді, контроль тиску в

системі живлення, аналіз форми та рівномірності факела розпилення, а також комп'ютерна діагностика, що дозволяє відстежити відхилення у роботі окремих циліндрів.

У таблиці 1.1 наведено ймовірні несправності паливних форсунок із вказівкою характерних симптомів їх прояву.

Таблиця 1.1

Основні несправності паливних форсунок

Несправність паливної форсунки	Симптоми прояву
Забруднення або часткове засмічення сопла	Нестабільна робота двигуна на холостому ходу, підвищена витрата пального, погіршення динаміки автомобіля, чорний дим із вихлопної труби.
Повне засмічення форсунки	Двигун працює з перебоями, можливе "тройння", падіння потужності, важкий запуск, відсутність подачі пального в один циліндр.
Підтікання (негерметичність) форсунки	Запах пального, надмірний чорний або сизий дим, нестабільна робота двигуна, утворення нагару на поршнях і клапанах.
Порушення розпилу пального (неправильний факел упорскування)	Нерівномірна робота двигуна, детонаційні удари, зниження ККД, підвищені викиди шкідливих речовин.
Знос розпилювача (сопла)	Втрата потужності, шумна робота двигуна, поганий запуск у холодну пору, підвищена витрата палива.
Несправність електромагнітного клапана (у електрофорсунках)	Відсутність або затримка упорскування, "Check Engine" на панелі приладів, помилки в електронному блоці керування (ЕБУ).
Пошкодження котушки форсунки (обрив, коротке замикання)	Двигун працює в аварійному режимі, різке падіння потужності, неможливість запуску окремих циліндрів, фіксуються помилки в ЕБУ.
Заклинювання голки розпилювача	Двигун може глухнути під час роботи, нестабільні оберти, підвищене димлення.

Продовження таблиці 1.1

Механічні пошкодження корпусу форсунки або ущільнень	Підтікання пального, втрата герметичності, запах дизеля чи бензину, сліди палива на двигуні.
Неправильний тиск упорскування (занадто високий/низький)	Важкий запуск двигуна, зниження тяги, підвищений розхід пального, поява детонації чи пропусків запалювання.

Таким чином, своєчасне виявлення ознак несправності форсунок є необхідною умовою підтримання працездатності двигуна внутрішнього згоряння, запобігання його передчасному зносу та забезпечення стабільності експлуатаційних характеристик автомобіля.

1.3 Аналіз методів та технологій очищення форсунок

Очищення форсунок є важливою процедурою технічного обслуговування паливної системи автомобіля, яка забезпечує стабільну роботу двигуна, зменшення витрати пального та зниження токсичності вихлопних газів. Залежно від рівня забруднення, типу двигуна та доступного обладнання застосовуються різні методи та способи очищення форсунок.

Нагромадження відкладень на поверхнях форсунок зумовлює появу різноманітних збоїв у функціонуванні двигуна. Саме тому промивання дизельних форсунок є необхідною процедурою, яку слід виконувати періодично як у профілактичних цілях, так і за наявності ознак їх засмічення. При цьому навіть використання послуг авторитетних автозаправних мереж не дозволяє повністю передбачити чи запобігти виникненню даної проблеми.

У випадку використання неякісного палива водій зазвичай дізнається про це лише після діагностики на станції технічного обслуговування, коли фахівці встановлюють вихід з ладу елементів паливної системи. Проте для дизельних двигунів наслідки не обмежуються лише пошкодженням

апаратури. Значних навантажень зазнають і форсунки, які під час роботи працюють в умовах високого тиску та підвищених температур.

Забруднення є неминучим явищем, адже дизельне паливо містить парафіни, які під впливом температур утворюють тверді відкладення на поверхні форсунок. Це явище часто називають «закоксовуванням форсунок». Важливо, що процес осадження бруду триває навіть після зупинки двигуна: агрегат ще тривалий час залишається гарячим, охолодження не функціонує, і на інжекторах формуються щільні нашарування, подібні до лакового покриття. Такі відкладення в першу чергу порушують рівномірність подачі палива, а також можуть викликати деформацію окремих деталей форсунки.

Зокрема, через надлишковий тиск та накопичення відкладень деформації може зазнати запірна голка. Канали форсунки поступово заростають відкладеннями, що призводить до нерівномірної подачі палива. У подібних випадках єдиним рішенням стає очищення або заміна форсунок. Ігнорування цієї проблеми спричиняє поступове падіння потужності двигуна та підвищення витрати пального. Своєчасне звернення до спеціалістів автосервісу дозволяє уникнути серйозним наслідкам та зекономити кошти.

Одним із найпростіших методів очищення є використання спеціальних паливних присадок (рис. 1.4), що додаються безпосередньо у бак.



Рис.1.4. Присадка для очищення форсунок.

Використання спеціальних паливних присадок для очищення форсунок є одним із найбільш поширених і доступних методів підтримання працездатності паливної системи. Такі хімічні добавки вводяться безпосередньо в паливний бак разом із дизельним паливом або бензином, після чого вони проходять через усю систему живлення, включно з паливними трубопроводами, насосом та самими форсунками.

Присадки діють завдяки активним компонентам, що розчиняють відкладення смолистого чи вуглецевого походження, а також запобігають утворенню нових нашарувань на розпилювачах. Це дозволяє відновити рівномірність подачі палива, покращити якість розпилу та стабільність роботи двигуна, особливо на холостому ходу. Крім того, присадки сприяють зниженню витрат пального, зменшенню токсичності вихлопних газів і продовженню ресурсу паливної апаратури.

Ефективність такого методу залежить від регулярності його застосування та якості самого препарату, проте в більшості випадків він забезпечує відносно просте та безпечне очищення форсунок без необхідності демонтажу чи складних ремонтних процедур.

Проте їх ефективність є обмеженою, і вони виконують переважно профілактичну функцію. Рідина для очищення, відома як сольвент, подається зі спеціальних резервуарів і використовується аналогічно до пального. Вона очищає не лише форсунки, але й усі елементи паливної системи.

Хоча цей спосіб не гарантує повного видалення відкладень, він може знизити інтенсивність забруднення та продовжити ресурс роботи форсунок.

Процес очищення дизельних форсунок може здійснюватися удосконаленим способом, який передбачає підключення двигуна до спеціалізованої установки.

Застосування даного методу передбачає використання спеціалізованих діагностичних стендів, за допомогою яких можна визначити рівень забрудненості окремих форсунок (рис. 1.5). У процесі виконання промивання

дизельних форсунок у циліндри двигуна може потрапляти незначна кількість змитих відкладень.



Рис. 1.5. Стенд для очищення форсунок LAUNCH CNC-603A.

Після завершення процедури відсутня можливість об'єктивної оцінки її ефективності, що ускладнює контроль якості виконаних робіт. Водночас серед недоліків слід відзначити відсутність повної гарантії щодо ідеального очищення елементів та їх подальшого безвідмовного функціонування. Крім того, не виключається ситуація, коли після проведення очищення виявляється необхідність повної заміни форсунок у зв'язку з їхнім природним зношуванням [1].

Такий підхід забезпечує промивання форсунок в обхід основної паливної системи, що виключає необхідність їх демонтажу. Застосування даної методики сприяє ефективному видаленню відкладень та нагару з робочих поверхонь форсунок і клапанів.

При цьому очищувальна рідина не циркулює всіма паливними магістралями, а діє локально, концентруючи свою дію безпосередньо на критичних елементах. Завдяки цьому забезпечується раціональніше використання мийного складу, оскільки він спрямовано впливає лише на ті

ділянки, де формуються відкладення, що в підсумку знижує їх кількість на форсунках і клапанах.

Гідродинамічна кавітація є сучасним методом очищення паливних форсунок, який ґрунтується на використанні фізичного ефекту утворення та руйнування кавітаційних бульбашок у рідкому середовищі. Цей спосіб набуває популярності завдяки високій ефективності видалення відкладень і відсутності необхідності застосування агресивних хімічних речовин.

Форсунки містять дрібні канали, канали голки і сопла, на яких осідають тверді частинки, смоли і відкладення від палива. Механічні й хімічні методи іноді не проникають у всі пори. Кавітація забезпечує інтенсивне локальне механічне очищення навіть у вузьких отворах, не потребуючи сильних абразивних чи агресивних хімічних реагентів.

Переваги методу гідродинамічної кавітації:

- безпечність для матеріалів;
- висока ефективність;
- універсальність;
- швидкість процесу.

Ультразвуковий метод очищення форсунок є одним із найефективніших і сучасних способів відновлення їхньої працездатності (рис. 1.6).

Його застосування базується на використанні високочастотних ультразвукових коливань, які створюють специфічний фізико-хімічний ефект у рідкому середовищі. Форсунки занурюють у спеціальну ультразвукову ванну, заповнену м'яким розчином.

Водночас метод вимагає суворого дотримання технології: надмірна тривалість обробки чи застосування агресивних рідин може пошкодити ущільнювачі, пластикові або гумові елементи. Саме тому ультразвукову очистку проводять спеціалізовані сервісні центри з використанням сертифікованого обладнання.



Рис. 1.6. Ультразвуковий метод очищення форсунок.

Особливості проведення процедури очищення:

1. Попередня діагностика перевіряє герметичність та продуктивність форсунок.
2. Форсунки встановлюють у спеціальний тримач і опускають у розчин.
3. Очищення під дією ультразвуку триває від 10 до 30 хвилин, залежно від ступеня забруднення.
4. Після обробки форсунки продувають та промивають паливом або спеціальними рідинами, щоб видалити залишки розчину й відкладень.
5. Фінальна перевірка на стенді.

Після цього на рідину подаються коливання ультразвукової частоти (зазвичай у діапазоні 20–40 кГц). Під дією цих коливань у рідині утворюється явище кавітації – мікроскопічні бульбашки повітря виникають і миттєво схлопуються, створюючи локальні імпульси тиску та високі температури на мікрорівні.

Ці процеси сприяють:

- руйнуванню відкладень на поверхні деталей;
- ефективному видаленню нагару, смолистих речовин, лаку та інших продуктів згоряння;

– очищенню навіть важкодоступних ділянок каналів форсунки, які неможливо обробити механічним способом.

Таким чином, ультразвуковий метод очищення форсунок є сучасним і високоефективним рішенням, яке дозволяє значно продовжити термін служби паливної системи, забезпечити стабільність роботи двигуна та зменшити витрати пального.

Висновки до розділу I

В розділі розглянуто принцип роботи та конструктивні особливості паливних форсунок.

Паливна форсунка є одним із ключових елементів системи живлення двигуна внутрішнього згорання, від справності якої залежить ефективність роботи двигуна, економічність витрати палива та рівень шкідливих викидів.

Аналіз показав, що основними проявами несправності паливних форсунок є нерівномірне розпилення палива, зниження продуктивності, поява течі та засмічення сопел. Виявлені несправності форсунок безпосередньо впливають на ефективність роботи двигуна, підвищують витрату палива та сприяють збільшенню шкідливих викидів.

Досліджено різні методи та технології очищення паливних форсунок, що дозволяють відновлювати їх працездатність та підвищувати ефективність роботи двигуна.

РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Технологічне обладнання для ремонту та очищення форсунок

Ремонт та обслуговування паливних форсунок дизельних та бензинових двигунів потребує застосування спеціалізованого технологічного обладнання, яке забезпечує високу точність, ефективність очищення та безпечність робіт.

Необхідність проведення ремонту компонентів системи живлення двигунів виникає у випадках несправності двигуна, нестабільної його роботи з перебоями або підвищеного споживання палива. Ремонт паливної апаратури дизельного двигуна, як правило, передбачає заміну пошкоджених деталей та елементів системи живлення на нові, а також контроль та регулювання функціонування паливної апаратури. Виконання цих операцій здійснюється на спеціалізованій ділянці, обладнаній необхідними приладами, інструментами та контрольно-регулювальними стендами.

Розбирання та очищення агрегатів і вузлів паливної апаратури проводяться на спеціальному стенді, при цьому можливе застосування мийок або очищення спеціальними газами. Важливо при цьому запобігати потраплянню забрудненого палива до внутрішніх порожнин паливної апаратури.

У всіх випадках зняття паливної апаратури з двигуна, після від'єднання паливних трубопроводів, насосних форсунок та фільтрів, необхідно закривати відкриті отвори трубопроводів пробками, ковпачками, заглушками або чистою ізоляційною стрічкою з метою запобігання проникненню бруду.

Під час складання вузлів паливної апаратури слід враховувати, що плунжерні та клапанні пари, розпилювачі форсунок, а також втулка зі штоком підкачувального насоса є комплексними компонентами і не підлягають розбиранню, їх заміна можлива лише в комплекті.

До основних видів обладнання належать діагностичні стенди, ультразвукові та механічні очищувачі, а також інструменти для демонтажу, калібрування та тестування форсунок.

Конструкція форсунки (рис. 2.1) включає електрогідравлічний вузол, відповідальний за відкриття та закриття розпилювача, який найчастіше піддається зносу або виходить з ладу.

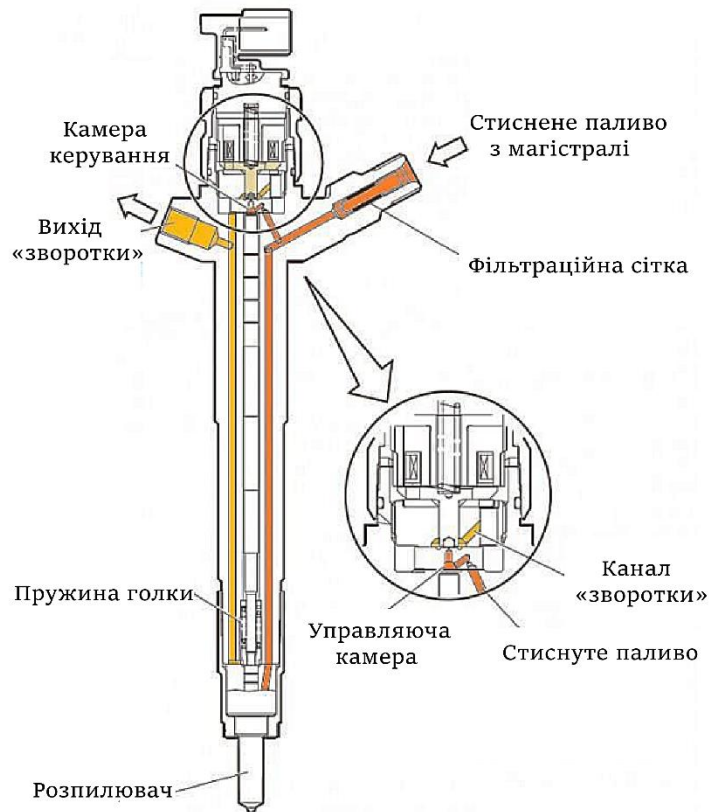


Рис. 2.1. Особливості будови форсунки.

Зазвичай демонтаж форсунок перед ремонтом здійснюється без ускладнень. У разі утворення оксидного нальоту на поверхні необхідне застосування спеціалізованого інструменту та виконання додаткових операцій. Складність процесу зняття форсунок безпосередньо впливає на вартість робіт. Перед повторною установкою форсунок їх поверхню обробляють керамічною мастилом, що запобігає утворенню окису.

Розбір форсунки проводиться відповідно до визначеної послідовності операцій (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Послідовність розбирання форсунки.

У разі ремонту або заміни лише однієї форсунки без перевірки стану решти, існує ризик того, що інші форсунки функціонуватимуть неправильно та забезпечуватимуть некоректну подачу дизельного палива. Вихід з ладу окремої форсунки може бути наслідком заводського браку або механічного пошкодження, при цьому ресурс експлуатації інших форсунок залишається у межах норми, і їх заміна не є необхідною.

Проте, якщо одна форсунка вийшла з ладу, а решта знаходяться на межі відмови, доцільним є комплексний підхід до обслуговування паливної системи, що передбачає заміну або ремонт усіх форсунок та додатково включає промивання дизельного бака, паливного фільтра і магістралей від бака до паливного насоса високого тиску, а також перевірку стану самого насоса.

Усунення лише наслідків пошкодження форсунок без ліквідації причин їхньої поломки може призвести до повторного виходу з ладу паливних елементів.

Технологічне обладнання для ремонту та очищення форсунок є невід'ємною складовою сучасних сервісних та діагностичних центрів з обслуговування дизельних та бензинових двигунів. Основна мета цього обладнання полягає у відновленні працездатності форсунок, забезпеченні точного розпилювання палива та підтриманні оптимальних параметрів

двигуна. Комплексне використання таких пристроїв дозволяє проводити як механічну очистку, так і електронну діагностику форсунок.

До основного обладнання, що використовується в автосервісах та діагностичних центрах, належать стенди для тестування форсунок, ультразвукові ванни, установки для очищення паливними присадками, а також спеціальні інструменти та пристрої для розбирання та калібрування.

Ремонт форсунок виконується на робочому столі та включає заміну пошкоджених деталей, очищення внутрішніх каналів від нагару та забруднень, а також перевірку герметичності й працездатності окремих вузлів. Після розбирання форсунки її компоненти піддаються ретельному огляду на наявність тріщин, зносу або деформацій. Зношені або несправні елементи, такі як голка, пружина, ущільнювальні кільця або клапани, підлягають заміні на нові.

Далі проводиться контрольна збірка з точним дотриманням технологічних допусків, після чого форсунка тестується на стенді для визначення параметрів подачі палива, тиску впорскування та правильності розпилу. Лише після успішного проходження всіх тестів форсунка вважається відновленою та готовою до експлуатації.

Стенди призначені для діагностики роботи форсунок та контролю їх параметрів. Вони дозволяють вимірювати такі характеристики, як:

- тиск відкриття форсунки;
- кількість та якість розпилення палива;
- витрата палива при різних режимах роботи.

Сучасні стенди можуть бути електронними або механічно-електронними. Електронні стенди підключаються до комп'ютера і автоматично фіксують усі показники, надаючи можливість створювати графіки та звіти про стан форсунок.

На ринку представлені моделі, які поєднують обидві функції та оснащені додатковими аксесуарами для робочого столу. Найбільш

поширеними виробниками серед СТО є Bosch, Delphi, Denso, Launch і Carbon Zapp.

Серед численних виробників сучасних стендів для обслуговування форсунок особливо виділяється компанія Bosch, яка славиться високою надійністю та відмінною якістю своєї продукції (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Стенд Bosch для обслуговування дизельних форсунок.

Стенди для обслуговування форсунок Bosch забезпечують одночасне тестування, діагностику та ремонт до шести форсунок дизельних легкових автомобілів. Для роботи з вантажними та комерційними транспортними засобами передбачене використання додаткового комплекту, що розширює функціональні можливості системи.

Усунення несправностей, виявлених під час діагностики, здійснюється за допомогою спеціального монтажного обладнання. Крім того, виробник надає сервісне обслуговування та комплектує обладнання необхідним програмним забезпеченням.

Базовий комплект включає приводи, компресор, вимірювальний блок, захисний корпус, насос підкачки, частотний перетворювач, датчики з регуляторами тиску, утримувачі форсунок та бортові комп'ютери. Після монтажу всіх компонентів стенд стає готовим до проведення ремонтних та діагностичних робіт.

Стенди для діагностики та ремонту дизельних форсунок Carbon Zapp - це високотехнологічне обладнання, розроблене для точного тестування, очищення та калібрування форсунок Common Rail Вони відповідають вимогам сучасних дизельних двигунів і використовуються в автосервісах, навчальних закладах та спеціалізованих майстернях по всьому світу.

Стенд DS1R (рис. 2.4) є компактным і універсальним пристроєм для діагностики всіх типів електромагнітних та п'єзоелектричних форсунок Common Rail від виробників Bosch, Delphi, Denso, VDO / Continental.



Рис. 2.4. Стенд DS1R для діагностики електромагнітних та п'єзоелектричних форсунок Common Rail.

Він дозволяє проводити електричні тести, перевірку герметичності та оцінку стану форсунки за допомогою тесту eRLC. Максимальний робочий тиск становить 2200 бар. У версіях DS1R-E/20 та DS1R-D/20 доступна можливість автоматичного оновлення програмного забезпечення та збереження результатів у вбудованій базі даних.

Стенд для діагностики форсунок LAUNCH CNC-602A (рис. 2.5) – це комплексний лабораторно-технологічний прилад, призначений для всебічної перевірки та налаштування паливних форсунок бензинових і дизельних двигунів.

Він поєднує в собі гідравлічну й електронну частини, що дозволяє моделювати робочі умови паливної системи автомобіля, точно вимірювати характеристики розпилення, пропускної здатності та герметичності форсунок, а також перевіряти їх електричні параметри. Конструкція стенда забезпечує надійну фіксацію форсунки під час тестування і дозволяє підключати форсунки різних типів завдяки універсальним адаптерам, що робить його придатним для широкого спектра сучасних інжекторних систем.



Рис. 2.5. Установка для діагностики та очистки форсунок
LAUNCH CNC-602A.

Важливою перевагою стендів LAUNCH є їх універсальність та можливість роботи з різними типами форсунок, включаючи електромагнітні та п'єзоелектричні. Це дозволяє сервісним центрам проводити діагностику широкого спектру автомобілів без необхідності додаткового обладнання.

Додатково, стенди забезпечують безпечні умови роботи, оскільки система автоматично контролює тиск та температуру палива, запобігаючи аварійним ситуаціям.

Завдяки своїй точності та надійності, стенд для діагностики форсунок LAUNCH є ефективним інструментом для обслуговування та ремонту паливних систем автомобілів, що дозволяє своєчасно виявляти несправності,

зменшувати витрати палива та підвищувати загальну ефективність роботи двигуна.

2.2. Обґрунтування методів продовження експлуатаційного ресурсу форсунок

Форсунки є одним із ключових елементів паливної системи двигуна внутрішнього згоряння, безпосередньо впливаючи на ефективність згоряння палива, потужність двигуна та рівень шкідливих викидів. Довговічність форсунок визначається не лише якістю їх виготовлення, а й умовами експлуатації, чистотою палива, а також правильністю технічного обслуговування.

Підвищення ресурсу роботи форсунок можливе за рахунок комплексного підходу, що включає технічні, експлуатаційні та хімічні методи.

Основними факторами, що зумовлюють зниження економічних, потужнісних та екологічних характеристик дизельного двигуна, є якість дизельного палива, ступінь його напрацювання, а також недосконалість методів технічного обслуговування та ремонтних засобів.

Математичні моделі демонструють, що на загальну витрату палива суттєво впливає циклічна подача палива, яка, у свою чергу, визначається властивостями палива та конструктивно-технологічними параметрами розпилювача форсунки. Надійність і довговічність форсунок дизельних двигунів визначаються стабільністю роботи їхніх розпилювачів.

Форсунка складається з вузлів та окремих деталей, таких як штанга, пружина, гайка, голка та корпус розпилювача (рис. 2.6).

Властивості поверхневого шару та геометрична форма цих деталей є ключовими характеристиками роботи розпилювача. Поява дефектів на робочих поверхнях розпилювача призводить до погіршення технічного стану паливної системи.

Контакт робочих поверхонь голки та корпусу розпилювача забезпечує подачу палива під високим тиском. Робоча поверхня деталей розпилювача виступає ключовим чинником, що визначає надійність цієї групи компонентів.

Розпилювач форсунки є однією з найбільш критичних деталей паливної системи двигуна внутрішнього згоряння. Його надійність безпосередньо впливає на якість розпилювання палива, ефективність згоряння та загальний ресурс двигуна. існують методи підвищення довговічності розпилювача.

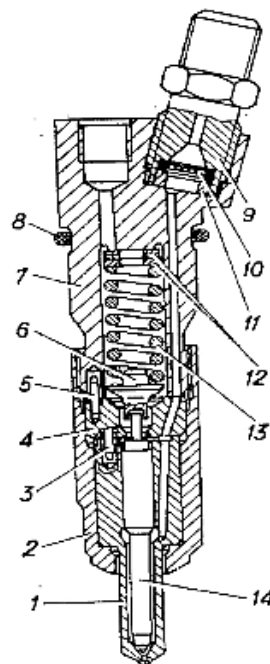


Рис. 2.6. Будова форсунки: 1 – корпус розпилювача; 2 – гайка розпилювача; 3,5 – встановлювальні штифти; 4 – прокладка; 6 – штанга; 7 – корпус; 8 – ущільнювальне кільце; 9 –штуцер; 10 – фільтр; 11 – ущільнювальна втулка; 12 – регулювальні шайби; 13 – пружина; 14 – голка розпилювача.

До основних причин зносу робочих поверхонь розпилювача та зміни їх форми належать такі фактори.

Механічний знос виникає внаслідок тривалого тертя між рухомими елементами форсунки, такими як голка, корпус та сідло. Кожний цикл відкриття та закриття голки створює контактні сили, що поступово призводять до зміни геометрії робочих поверхонь.

На ефективність роботи розпилювача впливають твердість матеріалів, точність обробки та наявність змазки. При недостатньому захисті від тертя та ударних навантажень на поверхнях можуть утворюватися задирки, подряпини або невеликі вибоїни, що сприяють погіршенню форми струменя палива та збільшенню витрат палива.

Кавітаційний знос виникає під час утворення та руйнування мікропорожнин (бульбашок пари) у паливі при високій швидкості потоку. Коли бульбашки колапсують поблизу робочих поверхонь, вони створюють локальні ударні хвилі, які поступово руйнують матеріал. Особливо це проявляється на сідлах та вихідних отворах розпилювача. Кавітація часто пов'язана з нерівномірним тиском палива або його високою в'язкістю при низьких температурах.

Корозійний знос обумовлений впливом хімічно агресивних компонентів палива, вологи або продуктів окислення на металеві поверхні форсунки. Метал поступово роз'їдається, утворюючи дрібні кратери та шорсткості, що змінюють форму розпилювальних отворів і погіршують розпилювання. Цей процес особливо інтенсивний при використанні неякісного палива або при тривалому зберіганні палива з високим вмістом води.

Ерозійний знос виникає через високошвидкісний потік палива, який містить твердих частинок або абразивні домішки. Частинки ударяють по поверхнях сідла, голки та корпусу, поступово зносячи їх матеріал. В результаті отвори розпилювача розширюються, що змінює форму струменя та порушує точність подачі палива. Цей вид зносу часто посилюється при використанні дизельного палива низької якості.

Термічний знос пов'язаний із частими коливаннями температури палива та навколишнього середовища. Метал форсунки піддається нагріву під час роботи двигуна та охолодженню при зупинці. Циклічні зміни температури призводять до термічних напружень, мікротріщин та поступового

руйнування поверхневого шару деталей. Термічний знос часто поєднується з механічним та корозійним, поглиблюючи дефекти.

Невчасне або неправильне обслуговування форсунок, включаючи несвоєчасну очистку або використання невідповідних промивних рідин, також сприяє зносу робочих поверхонь. Забруднення паливної системи, залишки старого палива або абразивні частинки накопичуються на сідлах і голках, прискорюючи знос і знижуючи точність розпилювання.

Можливі шляхи підвищення довговічності форсунки представлені у вигляді блок-схеми, представленої на рисунку 2.7.



Рис. 2.7. Шляхи підвищення довговічності ресурсу форсунки.

Одним із основних методів підвищення довговічності розпилювача є використання високоякісних та зносостійких матеріалів для виготовлення його робочих поверхонь. Це можуть бути сплави на основі сталі з підвищеною твердістю або матеріали з покращеною корозійною стійкістю. Завдяки цьому зменшується ймовірність абразивного та корозійного зносу, який виникає під час тривалої експлуатації форсунки.

Такі матеріали також можуть витримувати високі температури та тиск, що характерні для роботи паливної системи. Ці методи дозволяють значно

продовжити ресурс роботи форсунки, зменшити ймовірність появи тріщин та ерозії.

Довговічність форсунки також залежить від її конструктивних параметрів. Оптимізація включає:

- зменшення тертя між голкою та корпусом шляхом точного підбору зазорів;
- поліпшення геометрії сопла для рівномірного розпилення палива;
- використання пружин з високою стійкістю до втоми матеріалу.

Такий підхід дозволяє зменшити механічне навантаження на деталі, що безпосередньо підвищує їх надійність.

Надійність і тривалий термін служби розпилювача значною мірою визначаються чистотою та якісними характеристиками палива. Щоб запобігти забрудненню та утворенню відкладень на його робочих поверхнях, застосовують сучасні високоефективні фільтри, спеціальні стабілізатори палива та присадки, що зменшують накопичення смолистих речовин, а також регулярно контролюють якість палива, що дозволяє уникати механічних і хімічних ушкоджень розпилювача. Завдяки цим заходам забезпечується підтримка оптимальних умов роботи форсунки.

Своєчасне обслуговування розпилювача забезпечує можливість виявляти та усувати дефекти на ранніх етапах експлуатації. До основних методів обслуговування належить ультразвукове промивання, яке ефективно видаляє забруднення, контроль тиску та форми факела розпилення на спеціальних стендах, а також заміна зношених деталей, таких як пружини чи ущільнювачі.

Регулярне проведення цих процедур не лише продовжує термін служби форсунки, а й підтримує високий рівень її працездатності та ефективності.

2.3 Технологія реставрації розпилювачів форсунок

Процес реставрації включає розбирання форсунки, ретельне очищення деталей (у тому числі за допомогою ультразвукової ванни), контроль зносу елементів розпилювача, полірування або заміну зношених частин. Після цього проводиться складання й випробування на спеціальному стенді для перевірки герметичності, рівномірності подачі палива та форми факела розпилення.

Завдяки застосуванню сучасних методів очищення, прецизійної механічної обробки та контролю якості, відновлені розпилювачі можуть забезпечувати ефективну роботу двигуна, економію палива та зниження токсичності вихлопних газів, що робить технологію реставрації економічно вигідною й екологічно доцільною альтернативою повній заміні форсунок.

Відновлення зношених циліндричних поверхонь є досить складним процесом, оскільки потребує спеціального обладнання, високоточних вимірювальних приладів, застосування технологій нанесення твердих металевих покриттів і подальшої обробки з високою точністю та доведенням. Подібна технологія ремонту прецизійних деталей є економічно виправданою лише на великих спеціалізованих підприємствах, які мають відповідне оснащення та великі обсяги робіт.

У умовах станцій технічного обслуговування доцільно застосовувати притирання простих поверхонь, де не потрібна точна підгонка деталей під малі зазори або складна обробка циліндричних елементів.

Порівняно нескладно за допомогою притирання можна відновити такі прецизійні поверхні, як:

- конусні поверхні гільз;
- запірні поверхні розпилювачів.

Для притирання застосовують спеціальні притиральні пасти, зокрема пасти ГОІ. Вони випускаються трьох типів грубі, середні та тонкі. Ріжуча

здатність пасти визначається товщиною шару металу, який вона знімає за сто подвійних рухів (приблизно 40 м шляху).

Груба паста видаляє значний шар металу від 40 до 18 мкм (до десятих часток міліметра) і має відповідні номери від 40 до 18. Її колір темно-зелений із переходом у чорний. Середня паста знімає шар товщиною від 17 до 8 мкм (соті частки міліметра), позначається номерами 17-8 і має темно-зелений колір. Тонка паста забезпечує зняття шару металу товщиною від 7 до 1 мкм (тисячні частки міліметра) і характеризується світло-зеленим відтінком.

Основним абразивним компонентом паст ГОІ є оксид хрому. Крім механічної дії, паста чинить і хімічний вплив на поверхню деталі завдяки наявності олеїнової кислоти вона пом'якшує тверді поверхневі шари, полегшуючи процес обробки.

Для чорнового та попереднього доведення використовують пасти марок 180-К, 30-М, 30-Мс, 20-М. Вони містять абразив корундовий порошок (52–55%), олеїнову кислоту як активний компонент (20-34%) та зв'язувальну речовину стеарин (14-20%). У деякі марки додають також гас.

Паста 10-М призначена для попереднього доведення, а тонкі пасти К-500, 3-МУ, 3-МС, 3-М і 1-М для остаточного. У більшості з них різальним матеріалом є оксид алюмінію (18-55%), хімічним компонентом олеїнова кислота, а зв'язувальними речовинами стеарин або парафін.

Для фінішного доведення останнім часом застосовують алмазні пасти АсМ-1 і АМ-2. Пасти НЗТА вирізняються підвищеним вмістом олеїнової кислоти та використанням оксиду алюмінію як абразиву. Оскільки технологія ремонту прецизійних деталей із використанням доводочних паст є складною, такі роботи повинні виконувати досвідчені слюсарі, які володіють відповідною технікою та практичними навичками роботи з пастами.

У випадках, коли прецизійні деталі мають значні пошкодження наприклад, глибокі подряпини, нерівності або суттєве зношення поверхні для відновлення їхньої форми здійснюють послідовне притирання з використанням трьох видів паст. Спочатку застосовують грубозернисту

пасту, потім переходять до середньої, а завершують обробку тонкою пастою, що дозволяє усунути сліди, залишені попередніми етапами.

Пасту ГОІ перед роботою розводять чистим гасом до консистенції густої рідини, а пасту НЗТА – веретенною оливою до подібного стану. Готують лише необхідну кількість суміші, оскільки при тривалому зберіганні вона втрачає свої властивості.

Щоб уникнути забруднення пилом чи іншими домішками, розведену пасту рекомендується зберігати у невеликих металевих баночках із кришками, виготовлених із латуні, на яких вказують номер пасти.

Забороняється змішувати різні сорти паст. При переході до нового виду пасти попередню потрібно повністю змити з поверхні. Заготовки плиток перед притиранням обробляють простругують, шабрують або опилують і доводять за методом трьох плит. У процесі експлуатації робочі поверхні плит поступово зношуються, тому їх час від часу необхідно відновлювати за допомогою грубої пасти. Для правильного виконання робіт бажано мати принаймні три окремі плити, щоб уникнути змішування абразивів.

Перед нанесенням пасти поверхню плити очищають чистою ганчіркою, змоченою у гасі, а потім витирають фільтрувальним папером. Пасту наносять тонким шаром чистою дерев'яною або скляною паличкою. Надлишок пасти не прискорює обробку, а лише призводить до її перевитрати. Пляма пасти повинна бути трохи більшою за площу притирання.

Використовувати один і той самий шар пасти тривалий час не можна, оскільки вона поступово втрачає свої абразивні властивості і перестає ефективно знімати матеріал.

Відновлення розпилювачів проводять у випадках зносу запірного конуса, появи нагару або закоксовування отворів сопел. Якщо на торцевій частині корпусу виявлено тріщини чи відколи, на конусі голки пошкодження, а на сполучених поверхнях «голка-корпус» є корозія або глибокі дефекти, які неможливо усунути притиркою, такі розпилювачі підлягають вибраковуванню. При значному зносі пари «голка–корпус» їх роз'єднують

для подальшого відновлення. Циліндричну поверхню корпусу шліфують притиром на доводочному верстаті. Голки, що пройшли відновлення, сортують за розмірами сполучених ділянок, підбирають у пари та притирають до отримання робочого зазору близько 1 мкм.

Для досягнення герметичності запірний конус голки виконується з кутом на 40' більшим, ніж у корпусі розпилювача, при цьому контакт має відбуватися у вигляді вузького кільцевого паска шириною не більше 0,2 мм.

Шліфування голки здійснюють на призмі з передачею обертання за допомогою гумового ролика. Після обробки її очищають, наносять мастило на напрямну частину, а на конус притиральну пасту М10. Поверхню запірного конуса корпусу доводять спеціальним притиром, який регулярно коригують для забезпечення точного кута. Після цього конічні поверхні голки та корпусу притирають до появи суцільного кільцевого сліду на конусі голки.

У процесі відновлення можливе збільшення ходу голки через доведення запірних конусів, тоді як притирка торця корпусу, навпаки, його зменшує. Якщо величина ходу перевищує норму (визначається індикатором годинникового типу), торець корпусу додатково шліфують і притирають; якщо менша – обробляють заплечики голки.

Після завершення всіх операцій відновлені розпилювачі проходять контроль на герметичність, перевірку на відсутність підтікання та оцінку якості розпилювання палива на випробувальному стенді типу КИ-3333.

Очищення і миття розпилювачів (форсунок) є важливим етапом технічного обслуговування паливної системи, оскільки від цього залежить правильне розпилення палива, ефективність двигуна та його економічність. Нижче наведено докладний опис процесу:

Тиск мийної рідини – 0,2...0,25 МПа; температура мийної рідини 20...30°C.

Склад мийного розчину:

– каустична сода (ДСТУ 2263:2011) – 25 г/л;

- кальцинована сода (ДСТУ 100-64) – 35 г/л;
- рідке скло (ДСТУ 13078-67) – 1,5 г/л;
- господарське мило – 25 г/л.

Температура робочого розчину підтримується на рівні 85 ± 5 °С, а тривалість обробки становить 2–3 години. При цьому температура нагріву стінок ванни не повинна перевищувати 40 °С. Шліфування конуса голки розпилювача здійснюють за допомогою шліфувального круга типу АСО М12Б1 100×58 при частоті обертання 1000 об/хв, тоді як деталь обертається зі швидкістю 750 об/хв. Допустимий шар знімання матеріалу під час шліфування не перевищує 5 мкм.

Після відновлення розпилювачі підлягають перевірці на герметичність, відсутність підтікання та якість розпилення палива на спеціальних стендах типу КІ-3333, КІ-22203М, КІ-562 і КІ-15706. Далі визначається необхідна кількість основного технологічного обладнання. Загальна кількість металообробних верстатів становить [11]:

$$N_B = \frac{T_{MB}}{D_p t_{3M} n_{3M} P_B K_{ВИК}},$$

де:

T_{MB} – річна трудомісткість верстатних робіт, люд-год.;

P_B – кількість верстатників на одному робочому місці, ос.;

$K_{ВИК}$ – коефіцієнт використання робочого часу обладнання,

$$K_{ВИК} = 0,75 - 0,8.$$

Загальна кількість металообробних верстатів наведена в таблиці.2.2 [1].

Таблиця 2.2

Кількість металооброблювальних верстатів

Назва верстатів	T_{MO}	%	$k_{ВИК}$	P_O	n_{3M}	Кількість,шт	
						розр.	прийн.
Токарні	1554,15	48	0,75	1,00	1	1,697	1
Шліфувальні		10	0,75	1,00	1	0,353	1
Притиральні		8	0,75	1,00	1	0,283	1
Свердлильні		5	0,75	1,00	1	0,177	1

Число мийних установок розраховують за формулою:

$$M_y = \frac{A_e K_n}{(W_m t_{зм} n_{зм} K_{вик})} = \frac{190 \cdot 1,15}{20 \cdot 8,2 \cdot 1 \cdot 0,98} = 1,36 \approx 1,$$

де:

$A_e = 5000$ – кількість об'єктів ремонту (згідно із завданням);

$K_n = 1,15$ – коефіцієнт нерівномірності надходження автомобілів;

$W_m = 20$ – продуктивність мийної установки, авт/год.;

$K_{вик} = 0,98$ – коефіцієнт використання робочого часу мийної установки.

Висновки до розділу II

В розділі розглянуто різні види технологічного обладнання, що застосовуються для діагностики, ремонту та очищення паливних форсунок. Було визначено, що сучасні стенди та пристрої дозволяють не лише перевіряти продуктивність форсунок, а й ефективно очищати їх за допомогою механічних, ультразвукових та комбінованих методів.

Обґрунтовано методи продовження експлуатаційного ресурсу форсунок. Проведений аналіз показав, що основними чинниками, які впливають на знос та працездатність форсунок, є забруднення палива, механічне зношення робочих поверхонь і корозійні процеси.

Розглянуто технології реставрації розпилювачів паливних форсунок, яка включає етапи діагностики, очищення, відновлення та контролю якості відремонтованих елементів. Визначено необхідну кількість основного обладнання для проведення технологічного процесу.

Реставрація розпилювачів забезпечує відновлення їх працездатності до параметрів, близьких до заводських, що значно подовжує термін служби форсунок і зменшує витрати на придбання нових комплектуючих.

РОЗДІЛ ІІІ РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

3.1 Розробка конструкції стенду для ультразвукового очищення та діагностування форсунок

Стендове обладнання (рис. 3.1), розроблене компанією Shenzhen Launch Tech Co., Ltd, призначене для ультразвукового очищення та випробування паливних форсунок у режимах, які максимально відтворюють умови їх функціонування в двигуні [9].

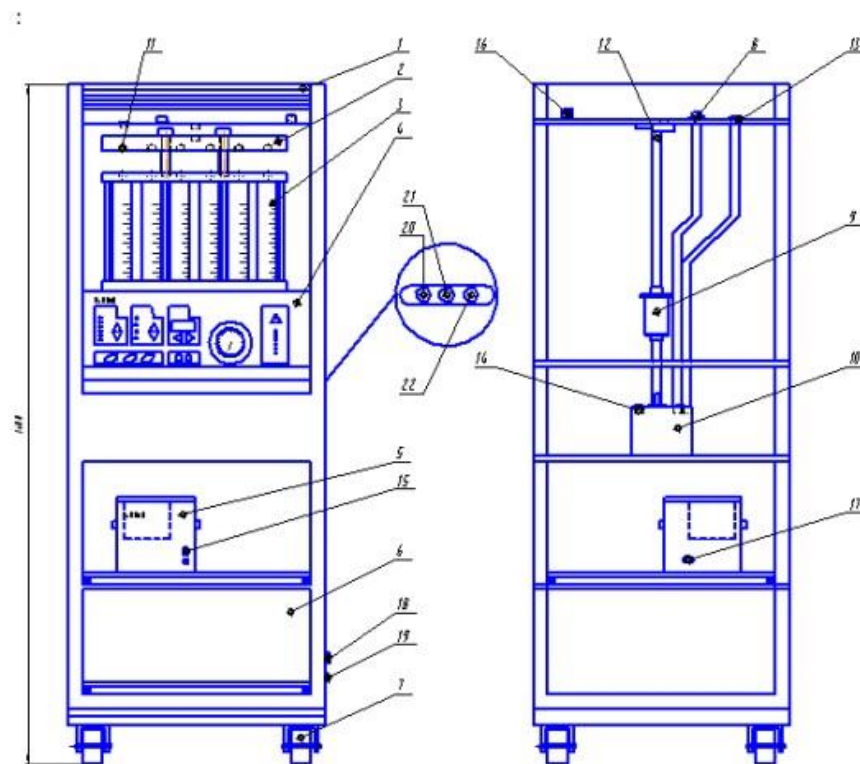


Рис. 3.1. Стенд для ультразвукової очистки та діагностики форсунок: 1 – кожух жалюзі; 2 – розподільник; 3 – вимірювальні колби; 4 – панель керування; 5 – ультразвукова ванна; 6 – ящик; 7 – Колесо; 8 – клапан скиду рідини; 9 – фільтр; 10 – бак миючої рідини; 11 – тримач переходників; 12 – трубопровід подачі; 13 – заливна горловина; 14 - горловина заливки бака; 15 – вимикач ультразвукової ванни; 16 – роз'єм кабеля форсунок; 17 – електричний роз'єм; 18 – електричний роз'єм мережного кабеля; 19 – запобіжник; 20 – кнопка ввімкнення підсвітки; 21 – кнопка ввімкнення стенду; 22 – роз'єм для стробоскопу.

Крім того, пристрій дозволяє здійснювати очищення паливної системи та форсунок без демонтажу з двигуна, що забезпечує значну економію часу.

У процесі тестування можна оцінити рівномірність подачі палива кожною форсункою, якість розпилу та герметичність клапанного механізму. Такий підхід дозволяє виявити навіть незначні відхилення у роботі форсунок, що у реальних умовах можуть призвести до підвищеної витрати палива, втрати потужності двигуна або утворення надмірних шкідливих викидів.

Панель керування стенду (рис. 3.2) є важливою складовою цього професійного обладнання для діагностики та очищення форсунок. Вона забезпечує зручне керування всіма функціями пристрою, включаючи тестування форсунок, ультразвукову очистку, а також промивку паливної системи без зняття форсунок з автомобіля.

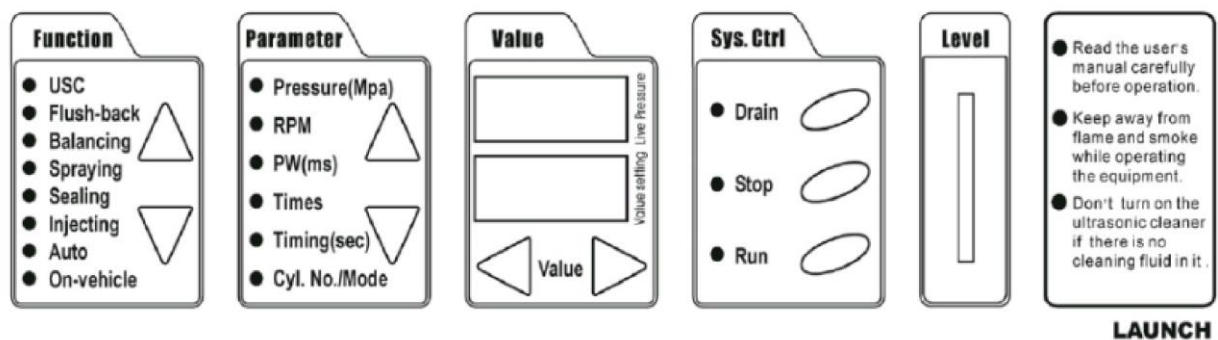


Рис. 3.2. Панель управління стендом.

Виконання операцій на такому стенді здійснюється поетапно та включає кілька важливих процесів:

1. Спочатку здійснюється підготовка стенда. У спеціальні ємності заливається очищувальна рідина або імітатор палива, перевіряється герметичність з'єднань та правильність підключення електронних кабелів і паливних магістралей.
2. На стенд монтуються форсунки, які фіксуються у відповідних гніздах, після чого до них підводиться живлення та подача робочої рідини.
3. Після встановлення обладнання оператор за допомогою панелі керування задає необхідний режим роботи. Це може бути перевірка

продуктивності форсунки, аналіз якості розпилу, тест на герметичність або ж промивання.

4. У вибраному режимі стенд автоматично подає імпульси електричного керування на котушки форсунок, відтворюючи роботу електронного блоку керування двигуном. При цьому насос подає очищувальну рідину під необхідним тиском, а форсунки здійснюють розпил у прозорі мірні колби, що дозволяє візуально оцінити рівномірність та якість факела розпилу.

5. У процесі діагностики стенд реєструє кількість рідини, що проходить крізь кожен форсунку, порівнює показники між собою та виявляє можливі відхилення. Якщо метою є очищення, запускається цикл промивання, під час якого через форсунки тривалий час прокачується спеціальний розчин, що видаляє відкладення з каналів та сопел.

6. Після завершення промивання проводиться повторний тест продуктивності та герметичності, аби підтвердити відновлення працездатності форсунки.

Рекомендована процедура випробування форсунок передбачає таку послідовність етапів:

- здійснюється перевірка герметичності;
- контроль форми факела розпилювання;
- визначення відносної продуктивності кількох форсунок;
- ультразвукове очищення;
- діагностика після проведеного очищення.

7. Завершальним етапом є аналіз результатів: оператор перевіряє точність дозування палива, якість розпилу та герметичність. У разі позитивних результатів форсунки вважаються придатними до подальшої експлуатації. Якщо ж відхилення залишаються, стенд дозволяє підтвердити необхідність їхньої заміни.

Режим експлуатації стенда забезпечує можливість визначення фактичної продуктивності паливної форсунки в умовах, максимально

наближених до робочих, та зіставлення отриманих результатів із паспортними характеристиками:

1. Необхідно підібрати адаптери, сумісні з форсунками, а також відповідні ущільнювальні кільця.
2. Переконалися у справності гумових кілець ущільнювачів, після чого встановити форсунки з адаптерами у розподільник тестової рідини.
3. Виконати фіксацію форсунок за допомогою кріпильних елементів.
4. Задати параметри перевірки та здійснити вимірювання продуктивності.

У режимі контролю продуктивності передбачена можливість регулювання всіх параметрів. При виборі номера форсунки «0» випробування здійснюється одночасно для всіх елементів, а у випадку встановлення іншого значення – форсунки тестуються послідовно.

Під час ультразвукового очищення форсунок на стенді застосовується принцип кавітації, що виникає під дією високочастотних звукових коливань. Такі хвилі проникають у мікроскопічні канали та отвори, забезпечуючи ретельне усунення забруднень навіть із важкодоступних ділянок поверхні.

Спершу необхідно розмістити попередньо промиті інжектори на спеціальній полиці з отворами, що знаходиться всередині ультразвукової ванни. Рівень робочої рідини має перевищувати верхню частину голчастого клапана приблизно на 20 мм. Кожна форсунка під'єднується до приладу за допомогою кабелю. Далі активується ультразвуковий випромінювач.

У меню пристрою в розділі «Function» обирається режим «USC», після чого в секції «Parameter» задається опція «Time».

У вкладці «Volume» встановлюється необхідна тривалість очищення, яка зазвичай становить близько 15 хвилин. Натискання кнопки «Run» у розділі «Sys. Ctrl» запускає процес обробки форсунок.

Після завершення встановленого інтервалу система автоматично зупиняє роботу, про що повідомляє звуковий сигнал. Потім ванну слід вимкнути.

Форсунки витягаються з пристрою та протираються сухою чистою тканиною. Для досягнення більшого ефекту також може застосовуватися промивання у зворотному напрямку, яке забезпечує видалення відкладень і залишків бруду з ділянки над голчастим клапаном.

Функціонал стенда передбачає проведення комплексної перевірки форсунок у режимі автоматичного керування. До основних процедур належать: перевірка балансу, контроль якості розпилювання, визначення герметичності та продуктивності. Це дає можливість оптимізувати витрати часу та здійснити повну діагностику форсунок із відтворенням різних режимів роботи двигуна за одну операцію.

До комплектації стенда входить спеціальний склад для очищення паливної системи автомобіля. Його необхідно змішувати з паливом у пропорції одна частина очищувальної рідини до чотирьох частин палива. У випадку використання інших засобів співвідношення може змінюватися залежно від їхніх характеристик.

Для ультразвукового очищення форсунок застосовуються виключно спеціалізовані робочі рідини. Використання автомобільного палива (бензину) є неприпустимим через його токсичні та вибухонебезпечні випари.

Робочу рідину необхідно своєчасно замінювати, оскільки при тривалому використанні вона здатна не очищати, а навпаки, забруднювати форсунки. Для цього її зливають через кран, розташований у нижній частині ємності, після чого резервуар промивають невеликою кількістю свіжої рідини. Найефективніше проводити цю процедуру одночасно зі встановленням нового фільтра.

Вимкнення приладу здійснюється у такій послідовності:

1. Натиснути кнопку «Drain», щоб спорожнити вимірювальні ємності.

2. Прилад слід вимкнути та від'єднати від електромережі.
3. Рідину з ультразвукової ванни потрібно злити у герметичну тару, а нижню полицю протерти сухою м'якою тканиною.
4. Якщо пристрій найближчим часом не планується використовувати, протерти сухою ганчіркою пульт керування та робочу поверхню. Тестову рідину зливають у закриту ємність.
5. При першій заправці бака обов'язково видаляють залишки рідини, що залишилися після заводського випробування стенду (зливний кран розташований на нижній частині бака).
6. Надалі бак заправляється тестовою рідиною за допомогою воронки-лійки, яка входить до комплекту приладу.

Таким чином, робота на стенді складається з логічної послідовності етапів – від підготовки та підключення обладнання, вибору режимів і відтворення умов роботи двигуна до очищення, діагностики та остаточного аналізу результатів.

3.2 Методика діагностики технічного стану та очищення форсунок за допомогою ультразвукової ванни

Технічний стан пристрою впорскування палива було досліджено за допомогою стенду АЕ&Т НР-6В (рис. 3.4).

Цей стенд забезпечує можливість перевірки працездатності форсунок, оцінки якості їхнього розпилю шляхом імітації різних режимів роботи двигуна, а також контролю герметичності форсунок.

Основні операції, що виконуються на установці:

1. Тестування форсунок визначення продуктивності, перевірка тиску відкриття та форми факела розпилення.

2. Очищення форсунок видалення забруднень та відкладень за допомогою спеціальних режимів очищення, включно з ультразвуковою обробкою.

3. Регулювання та калібрування при необхідності установка дозволяє підкрутити або замінити окремі деталі форсунки для відновлення її параметрів.



Рис. 3.4. Стенд AE&T «HP-6B» для визначення технічного стану паливних форсунок.

Перевагою AE&T «HP-6B» є наявність панелі керування, яка спрощує налаштування тестових режимів і відображає всі ключові показники роботи форсунки в реальному часі. Завдяки цьому забезпечується ефективна діагностика та підтримка оптимальної роботи системи живлення двигуна. Основні технічні характеристики стенду наведені в таблиці 3.1.

Також проводилась оцінка кількісних робочих характеристик форсунок до та після ультразвукового очищення. Герметичність форсунок перевіряли під тиском палива: у вимкненої форсунки під тиском на носику розпилювача не повинно утворюватися та відриватися більше однієї краплі протягом однієї хвилини.

Статична та динамічна продуктивність форсунок визначалась у автоматичному та ручному режимах шляхом налаштування частоти (n_t), тривалості імпульсу (τ) та їхньої кількості ($N\tau$).

Таблиця 3.1

Технічні характеристики установки «НР-6В» 1. Розмір установки:	56*56*75 см
2. Маса нетто/маса брутто:	42/56 кг
3. Потужність:	220 у перем. струму 50Гц 200 Вт
4. Діапазон тиску:	0~ 90 фунтів на кв. дюйм (6.4 кг/см ²)
5. Робоча температура:	-20°C~38°C
6. Кількість форсунок:	2-6 (Не менше 2 форсунок за раз)
7. Імпульси форсунки (кількість):	0-9950 імпульсів із кроком 50 імпульсів
8. Робоча частота форсунки (об/хв):	0-9950 об/хв з кроком 50 об/хв
9. Ширина імпульсів форсунки (ІМВ):	0-20 мс із збільшенням 0.1 мс

Режим 1 – «Атомізація». Форсунок в цьому режимі залишаються постійно відкритими. Перевірка продуктивності полягає у визначенні об'єму рідини, що потрапляє в кожен мірну склянку за встановлений час. Також оцінюється форма розпилю паливного факела.

Режим 2 – «Холостий хід». Цей режим відтворює роботу форсунок на режимі холостого ходу: частота $n = 650 \text{ хв}^{-1}$ («мінімум»), тривалість імпульсу $\tau = 3 \text{ мс}$, кількість імпульсів $N\tau = 2000$.

Режим 3 – «Максимальне навантаження». У цьому режимі моделюється робота форсунок під час руху з підвищеним навантаженням на двигун: $n = 2400 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 12 \text{ мс}$, $N = 1000$ імпульсів.

Режим 4 – «Робота при високих швидкостях». Даний режим імітує процес роботи форсунок, що тестуються, на режимі руху на підвищеній швидкості: $n=3600 \text{ хв}^{-1}$, $\tau=6 \text{ мс}$, $N\tau=2000$ імпульсів. Витрата q_i тестової рідини при випробуванні форсунок розраховується за такою формулою:

$$q_i = \frac{Q_t}{t},$$

де Q_t – обсяг палива за час вимірювання t , мл; t - час виміру, хв.

Середнє відхилення значень витрати пального ($\Delta q_{\text{ср}}$) визначалося як сума середніх значень похибок вимірювань кожного режиму, поділених на кількість режимів:

$$\Delta q_{cp} = \frac{\sum \Delta q_i}{n},$$

де $\sum \Delta q_i$ – сума похибок середньої арифметичної витрати тестової рідини всіх режимів, мл/хв; n-число режимів. Як результат, у таблиці 3.2 наведені такі кількісні робочі показники форсунок до очищення, отримані на установці НР-6В.

Таблиця 3.2

Показники продуктивності форсунок SIMENS DEKA ZMZ 6354 до проведення очищення, визначені на стенді «НР-6В».

Пробіг 40 тис. км. Siemens DEKA ZMZ 6354	Стат. вироб. у мл/хв	Динам. продуктивність у мл/хв		
		Режим 1 650 об/хв	Режим 2 2400 об/хв	Режим 3 3600 об/хв
Форсунка 1	126,8	13	91,7	83,3
Форсунка 2	125,6	12,7	90	81,9
Форсунка 3	125,6	13	90	84,7
Форсунка 4	126,8	13	91,7	84,7
Порівн. знач:	126,2	12,925	90,85	83,65
Стандартне відхилення:	0,69	0,15	0,98	1,34
Коеф. Стьюдента (t):	3,18244630	3,1824463	3,1824463	3,1824463
Абсолютна похибка	1,10	0,24	1,56	1,34
Середнє відхилення значень витрати палива мл/хв				1,26

У результаті проведених досліджень встановлено, що витрата палива форсунок, знятих з автомобілів із різним пробігом, не може бути універсальним показником для оцінки їх технічного стану залежно від напрацювання.

Це пояснюється тим, що параметр q відображає не лише ступінь забруднення форсунки, який зростає з пробігом, а й відмінності у її пропускній здатності (наприклад, під час випробувань форсунок різних

моделей автомобілів, що мають різну початкову продуктивність). Тому доцільніше оцінювати технічний стан форсунок за зміною (відхиленням від середнього значення) витрати пального.

Середнє відхилення витрати палива ($\Delta q_{\text{ср}}$) є важливим критерієм під час визначення працездатності комплексу форсунок. Із зростанням пробігу автомобіля цей показник, як правило, збільшується, що призводить до нерівномірного подавання палива в окремі циліндри та різниці у складі паливно-повітряної суміші між ними. У деяких наукових роботах зазначається, що система керування двигуном не може повністю компенсувати підвищену нерівномірність циклових подач у комплекті форсунок, оскільки вона формує загальну, усереднену корекцію на основі сигналу λ -зонда для всіх форсунок одночасно.

Теоретично для усунення цієї проблеми доцільно було б застосовувати індивідуальні зонди для кожного циліндра двигуна, однак через високу вартість таких датчиків цей підхід поки що не має практичного використання.

Дослідження на установці АЕ&Т «НР-6В» виконували за тиску палива в магістралі 300 ± 5 кПа. Під час проведення вимірювань контроль тиску здійснювався за допомогою вбудованого манометра. Як тестову рідину застосовували професійну рідину LAVR Ln 2004 (рис. 3.5), призначену для перевірки бензинових форсунок на стендах.

Використання цієї рідини забезпечує точне відтворення факела розпилення, визначення продуктивності та перевірку герметичності форсунок. Рідина характеризується стабільними еталонними показниками щільності та в'язкості, що відповідають вимогам стандарту ЄН.



Рис. 3.5. Тестуюча рідина LVR Ln 2004.

Для проведення очищення форсунок від забруднень (нагару, смоли, металевих часток) застосовувалося таке обладнання, прилади та матеріали:

- ультразвукова ванна «Ultrasonic Cleaner»;
- установка AE&T «HP-6B»(рис. 3.4), призначена для діагностики технічного стану паливних форсунок;
- установка LVR Ln 2003, яка використовується для видалення смолистих, лакових і нагарних відкладень.

Ультразвукова ванна (рис. 3.6) створює високочастотні звукові коливання (20-40 кГц), що генерують в рідині мікропухирці. Процес кавитації цих бульбашок викликає інтенсивне механічне видалення забруднень з поверхні форсунок без застосування абразивних матеріалів.



Рис. 3.6. Ультразвукова ванна «Ultrasonic Cleaner».

Для створення електричних імпульсів, які забезпечують періодичне відкривання паливних форсунок під час їх очищення, застосовувалася установка НР-6В, призначена для перевірки технічного стану форсунок.

Ультразвуковий генератор, що використовується у ванні, обладнаний системою автоматичного налаштування частоти та стабілізації вихідної потужності. Коливання ультразвуку з частотою до 40 кГц забезпечують глибоке проникнення мийного розчину крізь сопло форсунки. У результаті виникнення кавітаційних процесів відбувається ефективне очищення її внутрішніх поверхонь.

Генератор створює коливання у мийному середовищі, внаслідок чого всередині форсунки формуються зони пониженого тиску. У цих зонах утворюються парові бульбашки, які під час руйнування спрямовують струмені мийного розчину до забруднених ділянок, механічно зчищаючи відкладення з поверхонь.

Процес очищення відбувається за рахунок кавітації утворення та руйнування бульбашок у рідині під дією ультразвукових коливань, що забезпечує інтенсивне видалення забруднень навіть із важкодоступних місць.

Основні операції, що виконуються на ультразвуковій ванні «Ultrasonic Cleaner»:

1. Перед початком роботи перевіряють справність ванни, наявність кришки, шнура живлення та робочого контейнера. У разі потреби очищають внутрішню поверхню резервуара.
2. У резервуар заливають очищувальний розчин або спеціальну рідину для ультразвукової очистки, відповідно до вимог виробника. Рівень рідини має перекривати деталі, що очищуються.
3. З форсунок або інших компонентів знімають ущільнювачі, гумові кільця та елементи, що можуть пошкодитися під дією ультразвуку. Кожен елемент попередньо оглядається та промивається від грубих забруднень.
4. Деталі розміщують у спеціальному кошику або сітці так, щоб вони не торкалися одна одної та дна ванни.

5. Частота ультразвукових коливань встановлюється на рівні 40 кГц. На панелі керування задається температура робочої рідини (зазвичай 40–60 °С) та тривалість процесу очищення (5-20 хв залежно від ступеня забруднення).

6. Під дією ультразвукових хвиль у рідині утворюються мікропухирці (кавітація), які, руйнуючись, створюють імпульси тиску. Завдяки цьому з поверхонь форсунок ефективно видаляються смолисті відкладення, залишки палива та інші забруднення навіть у важкодоступних місцях.

7. Після закінчення циклу очищення ванну вимикають, деталі витягують із розчину, промивають у дистильованій воді та висушують стисненим повітрям або природним способом.

8. Після закінчення процесу очистки розчин зливають, ванну промивають і витирають насухо. Регулярне технічне обслуговування продовжує термін служби обладнання.

Таким чином, застосування ультразвукової ванни «Ultrasonic Cleaner» є ефективним і безпечним методом очищення паливних форсунок, який забезпечує високу якість обслуговування без потреби у механічному втручанні.

3.3 Розробка технологічного процесу визначення ступеня видалення забруднень з поверхонь компонентів форсунок.

Зміни робочих характеристик форсунок безпосередньо впливають на якість розпилення палива, що, у свою чергу, визначає енергетичні та екологічні показники двигуна, його запуск та динамічні властивості транспортного засобу.

Для оцінки ефективності очищення поверхневих забруднень на внутрішніх та зовнішніх елементах форсунки застосовували лабораторну

установку з приладом Reanimator Injector v 2.0 (реаніматор форсунок) (рис. 3.7).

Прилад Reanimator Injector v 2.0 – це спеціалізоване обладнання для перевірки та очищення паливних форсунок, яке активно використовується в автосервісах та лабораторіях для діагностики та відновлення ефективності форсунок без їх розбирання.

У лабораторних умовах прилад Reanimator Injector v 2.0 використовувався для оцінки ефективності очищення форсунок від забруднень, зокрема смолистих та лакових відкладень. Це дозволяє без розбирання форсунок оцінити їх стан та ефективність очищення, що є важливим для досліджень та розробок у галузі автомобільної техніки.

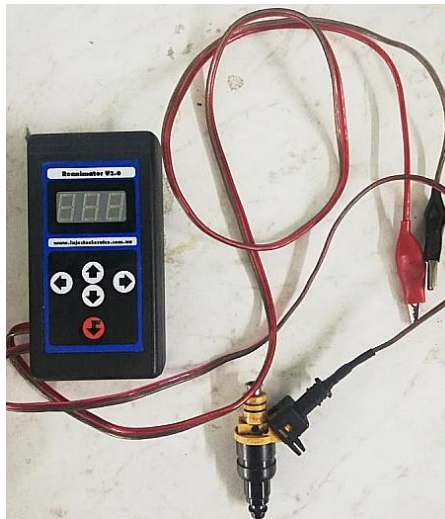


Рис. 3.7. Блок керування Reanimator Injector v 2.0.

Пристрій для відновлення форсунок дає змогу оцінити їхню продуктивність у режимі «Перевірка», а в режимі «Очищення» видаляти забруднення у рідину, яка контактує з форсункою.

Технічні характеристики приладу Reanimator Injector v 2.0, що використовуються для діагностики та очищення паливних форсунок надано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики приладу Reanimator Injector v 2.0

Параметр	Значення
Кількість імпульсів відкриття форсунок	10–2550
Час відкриття форсунок	10–100 мс
Режими роботи	«Перевірка», «Очищення»
Особливість режиму «Очищення»	Автоматичне визначення резонансної частоти голки форсунки; зворотний прокачування рідини для інтенсивного очищення
Призначення	Оцінка продуктивності форсунок, очищення від забруднень без розбору

Цей прилад дозволяє ефективно очищати форсунки без їх розбирання, що є важливим для збереження їх працездатності та запобігання додатковим витратам на заміну. Реаніматор форсунок дає змогу визначити їхню продуктивність, а також здійснити очищення завдяки спеціальному режиму функціонування.

На основі цього пристрою можна самостійно виготовити стенд для перевірки та очищення форсунок із доступних матеріалів упродовж 1-2 днів.

У режимі «Перевірка» на форсунки подаються однакові керуючі імпульси, при цьому обмотки всіх форсунок підключені паралельно.

Під час режиму очищення програмне забезпечення автоматично визначає резонансну частоту голки форсунки. Після її «захоплення» відбувається девіація цієї частоти в невеликому діапазоні. У цьому режимі форсунка, занурена в очисний розчин, починає прокачувати рідину у зворотному напрямку, що забезпечує активну взаємодію хімічного засобу з забрудненнями всередині форсунки.

Оскільки сучасні електромагнітні форсунки мають безрозбірну конструкцію, доступ до їх проточної частини для огляду забруднень можливий лише за допомогою ріжучих інструментів, що робить форсунку непридатною для подальшого використання. Тому була розроблена лабораторна установка, яка дозволяє оцінювати ступінь переходу смолистих,

лакових та нагарних відкладень у рідку фазу без застосування будь-якого механічного розбору (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Лабораторна установка для оцінки забруднення форсунок.

Виробники двигунів внутрішнього згоряння у своїх експлуатаційних інструкціях не встановлюють обов'язковості контролю продуктивності форсунок залежно від їх пробігу чи напрацювання, оскільки на всіх автомобілях передбачено паливні фільтри, які, за задумом виробника, повинні захищати соплові отвори від забруднень. Проте практика показує, що фільтри не забезпечують повного захисту проточної частини форсунок від забруднення.

Тому для визначення наявності забруднень у соплових отворах проточної частини форсунок було проведено стендові випробування електромагнітних форсунок на установці АЕ&Т «НР- 6В».

Було проведено оцінку технічного стану паливних форсунок SIEMENS DEKA ZMZ 6354, які відпрацювали 80-100 тис. км пробігу. Частота спрацьовування форсунок та тривалість подачі палива визначалися виключно імітованим режимом роботи двигуна, що включав три варіанти: роботу на холостому ході, максимальне навантаження та високі швидкості руху автомобіля.

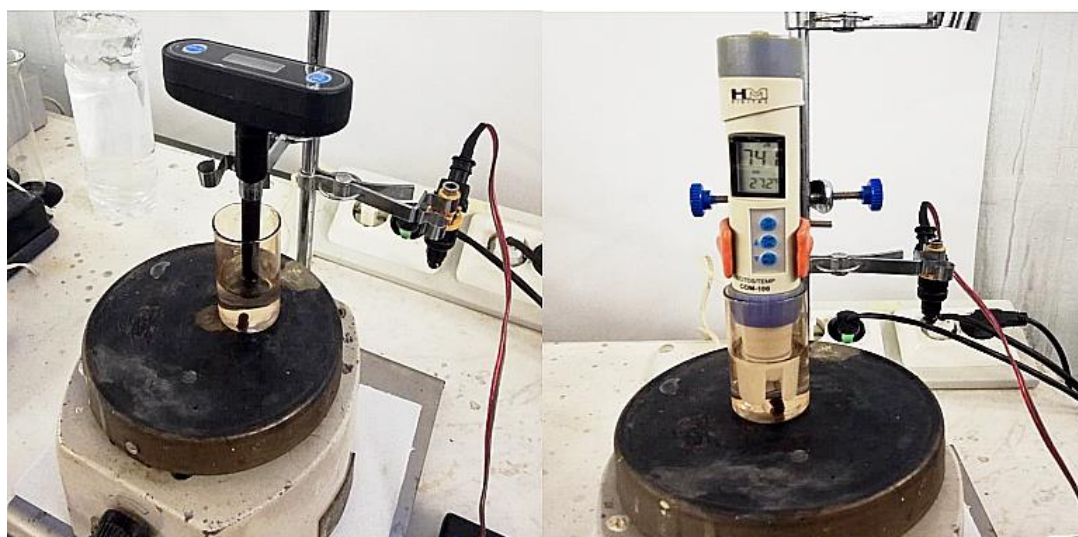
Для першого режиму частота імпульсів становила $\nu = 650 \text{ хв}^{-1}$, а тривалість подачі палива $\tau = 3 \text{ мс}$; для другого – $\nu = 2400 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 12 \text{ мс}$; для

третього – $\nu = 3600 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 6 \text{ мс}$ [5]. Кожну форсунку перевіряли двічі: у вихідному стані та після очищення від забруднень. Процес промивання був досить простим: форсунки занурювали в хімічну склянку з 20 мл розчину так, щоб при перемішуванні магнітною мішалкою омивалася лише нижня частина пристрою

Процедура очищення включала два етапи: попереднє промивання в розчині води, етанолу та поверхнево-активних речовин, а потім обробку ультразвуковими імпульсами.

Далі активувався реаніматор форсунок, який подавав на форсунку робочі імпульси. Цю процедуру проводили двічі: спочатку протягом 30 секунд, а потім ще протягом 1 хвилини.

Після кожного впливу форсунку залишали в хімічній склянці на 10 хвилин із постійним перемішуванням, після чого визначали водневий показник рН та електропровідність σ рідкої фази (рис. 3.9). Як показали результати, рН рідкої фази ($7,5 \pm 0,1$) під час промивання форсунок залишався стабільним, тоді як електропровідність зростає.



а

б

Рис. 3.9. Вимірювання водневого показника:
рН (а) та електропровідності σ рідкої фази (б).

Таблиця 3.4

Продуктивність форсунок (Ф) SIEMENS DEKA ZMZ 6354 при різних режимах випробування

Стан форсунок	Продуктивність форсунок, см ³ /хв							
	на режимі №2				на режимі №3			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
До очищення	100.0	102.0	106.0	106.0	63.9	66.7	69.4	69.4
Після УЗ-очищення	106.0	106.0	106.0	106.0	66.7	68.1	69.4	69.4

Такий метод дозволяє досягти максимально ефективного видалення забруднень із внутрішніх каналів. Таким чином, перевірку робочих параметрів форсунок доцільно проводити після виконання двох основних процедур промивання та ультразвукового очищення. Варто відзначити, що розбіжність показників продуктивності після цих операцій є мінімальною і становить лише $\pm 0,4...1\%$.

Висновки до розділу III

В розділі розроблено конструкцію стенду, призначеного для ультразвукового очищення та діагностування паливних форсунок. Розроблено методику діагностики технічного стану та очищення паливних форсунок із застосуванням ультразвукової ванни. Проведене дослідження підтвердило, що ультразвукове очищення є ефективним методом відновлення працездатності форсунок без потреби в їх розбиранні. Досліджено методику визначення ступеня видалення забруднень з поверхонь компонентів форсунок. Прилад забезпечує точне визначення рівня очищення та дозволяє контролювати якість проведеної ультразвукової або механічної обробки.

РОЗДІЛ IV ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Заходи з охорони праці під час виконання технологічних операцій на автомобілі

Профілактичне обслуговування та ремонт автомобільного транспорту здійснюються відповідно до вимог Положення про профілактичне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту та Правил технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту.

Такі роботи виконуються на спеціально обладнаних ділянках або постах, забезпечених необхідними технічними засобами, інструментами, приладами та пристроями згідно з чинною нормативно-технологічною документацією. Планування розміщення постів технічного обслуговування й ремонту, а також дотримання відстаней між транспортними засобами та будівельними конструкціями мають відповідати вимогам норм технологічного проектування.

Під час виконання технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту автомобілів особлива увага приділяється дотриманню вимог охорони праці, спрямованих на забезпечення безпеки працівників і запобігання виробничим травмам.

Перед початком роботи працівники повинні пройти інструктаж з охорони праці, мати відповідну кваліфікацію та допуск до виконання певних видів робіт. Робоче місце повинно бути чистим, добре освітленим та обладнаним необхідними засобами індивідуального захисту, такими як спецодяг, захисні рукавички, окуляри, каски та взуття з нековзною підошвою. Під час виконання операцій, пов'язаних із підняттям автомобіля на підйомниках або домкратах, необхідно забезпечити надійне встановлення машини та використання страхувальних упорів. Забороняється проводити ремонт під піднятим автомобілем без відповідного фіксування опорних елементів.

Особливу увагу слід приділяти роботам із паливними системами, електрообладнанням та гальмівними механізмами. Під час роботи з паливом потрібно виключити джерела відкритого вогню, іскріння або нагрівальні прилади, які можуть спричинити займання. Приміщення повинно бути забезпечене ефективною вентиляцією для запобігання накопиченню шкідливих парів. Під час роботи з електрообладнанням необхідно від'єднувати акумуляторну батарею, щоб уникнути ураження електричним струмом. Заборонено виконувати електромонтажні операції у вологому середовищі або при наявності витоків палива.

Усі інструменти та обладнання повинні бути технічно справними, своєчасно перевірятися та відповідати встановленим вимогам безпеки. Роботи з використанням стисненого повітря, мастильних матеріалів або гідравлічних систем виконуються з дотриманням інструкцій заводу-виробника та правил безпечної експлуатації. У разі виявлення несправностей технологічного обладнання або виникнення аварійних ситуацій працівник зобов'язаний негайно припинити роботу, повідомити керівника та вжити заходів щодо усунення небезпеки.

Таким чином, суворе дотримання правил охорони праці та технологічної дисципліни є обов'язковою умовою ефективної та безпечної діяльності під час виконання ремонтно-обслуговувальних робіт з автомобілем. Це не лише гарантує збереження життя і здоров'я персоналу, а й підвищує якість та надійність проведених технічних операцій.

4.2 Безпека та охорона праці під час роботи на стенді для ультразвукового очищення форсунок.

Під час роботи зі стендом для ультразвукового очищення форсунок необхідно дотримуватися всіх заходів з охорони праці, щоб забезпечити безпеку персоналу та запобігти пошкодженню обладнання.

Сам процес експлуатації стенда ультразвукової очистки форсунок автомобільних двигунів за допомогою спеціально призначеного обладнання характеризується деякою травмо- та аварійною небезпекою, яка в сукупності може подіяти на стан здоров'я обслуговуючого персоналу.

Чинники, що створюють травмонебезпечні ситуації та аварії, мають специфічні особливості, які визначають умови та підвищують ймовірність виникнення нещасних випадків під час роботи зі стендом. Для встановлення причин їх появи необхідно провести аналіз видів операцій, що виконуються під час експлуатації стенду для ультразвукового очищення форсунок.

У процесі роботи в результаті окремих випадків можуть з'являтися як шкідливі, так і небезпечні фактори. До них належать можливі опіки при контакті робочої рідини з тілом оператора, ризик ураження електричним струмом через неправильне підключення ультразвукового генератора, підвищене газоутворення в зоні роботи стенду, а також підвищений рівень шуму і вібрацій на робочому місці.

Перед початком роботи слід перевірити справність електричних підключень стенда та наявність заземлення, оскільки ультразвукові генератори працюють під високою напругою. Всі операції проводяться лише в спеціальному захисному одязі, включаючи рукавички та окуляри, що захищають від можливого розбризкування робочого розчину.

При завантаженні форсунок у ванну слід уникати різких рухів, щоб не пошкодити делікатні деталі, і переконатися, що деталі надійно закріплені. Під час включення ультразвуку не можна нахилитися над ванною та торкатися її поверхні, оскільки високочастотні коливання створюють інтенсивне механічне поле. В приміщенні має бути належна вентиляція, оскільки під час процесу очищення можуть виділятися випаровування миючих рідин, що потенційно шкідливі при тривалому вдиханні.

Також забороняється залишати стенд без нагляду під час роботи, оскільки будь-яка несправність обладнання може призвести до витoku рідини або короткого замикання. Після завершення очищення необхідно акуратно

витягти форсунки, промити їх у чистій воді та витерти насухо, дотримуючись правил безпеки під час контакту з робочими рідинами.

Регулярно проводиться технічне обслуговування стенда, перевірка кабелів, кріплень та чистоти ультразвукової ванни, що знижує ризик аварійних ситуацій. Дотримання цих заходів забезпечує безпечну та ефективну роботу зі стендом, а також збереження технічного стану очищуваних форсунок.

4.3 Охорона навколишнього середовища та пожежна безпека

Одним із ключових об'єктів охорони є атмосферне повітря. Основними джерелами його забруднення виступають природні та промислові процеси. Серед промислових викидів переважають технологічні та вентиляційні викиди безперервної дії, які складають приблизно 81% від загальної кількості забруднювальних речовин.

Найбільший обсяг забруднень повітря припадає на спалювання органічних енергоносіїв вугілля, нафти та газу. Автотранспорт забезпечує до 40% усіх викидів, причому ця проблема ускладнюється тим, що автомобільні викиди концентруються в приземному шарі повітря, тобто безпосередньо в зоні дихання людей. Особливістю таких викидів є те, що максимальні концентрації шкідливих речовин спостерігаються поблизу місць їх виникнення.

Для зменшення шкідливого впливу на атмосферу на автомобілях встановлюють каталізатори, які окислюють оксид вуглецю (CO) до діоксиду вуглецю (CO₂). Важливим заходом охорони повітря, водних об'єктів та ґрунтів є правильне зберігання та використання нафтопродуктів. Тому господарства мають приділяти особливу увагу використанню, зберіганню та утилізації паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

У господарстві функціонує заправна станція, обладнана підземними резервуарами для дизельного пального та бензину, а також є окремі ємності

для різних видів мастильних рідин і бак для відпрацьованих ПММ. Хоча обладнання має значний термін експлуатації, його технічний стан постійно контролюється відповідно до встановлених норм.

Перевіряється герметичність резервуарів, трубопроводів і установок, а обслуговуючий персонал має необхідну кваліфікацію. Крім того, ремонтна майстерня оснащена резервуарами для зливу відпрацьованих газів.

Одним із негативних наслідків широкого використання автомобільного транспорту є посилення шкідливого впливу на довкілля та здоров'я людей. Це зумовлено викидами значної кількості токсичних речовин та шумом, який супроводжує роботу транспортних засобів.

Шум є формою несприятливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище. Основними його джерелами є процеси всмоктування повітря карбюратором, випуск відпрацьованих газів, робота вентилятора системи охолодження та клапанного механізму трансмісії. У дизельних автомобілях додатковими джерелами шуму є система впорскування палива та контакт шин із дорожньою поверхнею.

Правила пожежної безпеки на автотранспортних підприємствах розроблені відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні» (ППБ-01-93). Порухення цих вимог, у тому числі встановлених правил, тягне за собою кримінальну, адміністративну, дисциплінарну або іншу відповідальність згідно з чинним законодавством. Пожежа на підприємстві призводить до значних матеріальних втрат і часто супроводжується нещасними випадками.

Основними причинами загоряння матеріалів і виникнення пожеж на автотранспортних підприємствах є: неправильне розташування термічних печей і котлів; несправність опалювальних приладів; дефекти електрообладнання та освітлювальних пристроїв або неправильна їх експлуатація; самозаймання внаслідок неправильного зберігання мастильних та обтиральних матеріалів; накопичення статичної електрики; відсутність блискавковідводів; необережне поводження з відкритим вогнем; недостатній контроль за пожежними пристроями та виробничим обладнанням.

Пожежна профілактика є ключовим елементом системи протипожежного захисту та передбачає:

- усунення причин виникнення пожеж;
- запобігання поширенню вогню;
- забезпечення безпечної евакуації людей та матеріальних цінностей;
- створення умов для ефективного гасіння пожеж.

У приміщеннях для технічного обслуговування та ремонту автомобілів забороняється:

- куріння;
- використання відкритого вогню;
- проведення ремонтних робіт із баками, заповненими паливом;
- зберігання палива та гасу у кількостях, що перевищують потребу зміни; зберігання порожньої тари з-під палива та мастильних матеріалів.

Дотримання правил охорони навколишнього середовища та пожежної безпеки під час технічного обслуговування автомобілів є обов'язковим. Це дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й забезпечити безпечні умови праці для персоналу, запобігти аварійним ситуаціям та загорянням.

Висновки до розділу IV

В розділі обґрунтовано заходи з охорони праці під час виконання технологічних операцій на автомобілі. Проведено аналіз питань безпеки та охорони праці під час роботи на стенді для ультразвукового очищення форсунок. Було розглянуто нормативні положення щодо охорони навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки. Комплексне дотримання цих правил сприяє збереженню ресурсів, підвищенню ефективності виробничих процесів та захисту життя і здоров'я персоналу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В теоретичному розділі розглянуто принцип роботи та конструктивні особливості паливних форсунок. Виявлені несправності форсунок безпосередньо впливають на ефективність роботи двигуна, підвищують витрату палива та сприяють збільшенню шкідливих викидів. Досліджено різні методи та технології очищення паливних форсунок, що дозволяють відновлювати їх працездатність та підвищувати ефективність роботи двигуна.

В технологічному розділі розглянуто різні види технологічного обладнання, що застосовуються для діагностики, ремонту та очищення паливних форсунок. Обґрунтовано методи продовження експлуатаційного ресурсу форсунок. Розглянуто технології реставрації розпилювачів паливних форсунок, яка включає етапи діагностики, очищення, відновлення та контролю якості відремонтованих елементів.

В розрахунково-конструктивному розділі розроблено конструкцію стенду, призначеного для ультразвукового очищення та діагностування паливних форсунок. Розроблено методику діагностики технічного стану та очищення паливних форсунок із застосуванням ультразвукової ванни. Досліджено методику визначення ступеня видалення забруднень з поверхонь компонентів форсунок за допомогою приладу Reanimator Injector v 2.0 (реаніматор форсунок).

Обґрунтовано заходи з охорони праці під час виконання технологічних операцій на автомобілі. Проведено аналіз питань безпеки та охорони праці під час роботи на стенді для ультразвукового очищення форсунок. Було розглянуто нормативні положення щодо охорони навколишнього середовища та забезпечення пожежної безпеки. Комплексне дотримання цих правил сприяє збереженню ресурсів, підвищенню ефективності виробничих процесів та захисту життя і здоров'я персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбiк Ю. Метод визначення динамiчних характеристик паливних форсунок / Ю. Горбiк. Стаття. 2025
2. Шалай Т. А. Удосконалення технологiчного процесу дiагностики дизельних форсунок : квалiфiкац. робота / Т. А. Шалай. Тернопiль : ТНТУ, 2023. 61 с.
3. Сорокин С. П. Параметри якостi роботи розпилювачiв форсунок. Автодвор. №8(125). 2019. С. 18 – 20.
4. Бiлоконь Я.Ю., Вайнтрауб М.А. Уприскувальнi системи живлення бензинових двигунiв : навч. посiб. К. : ІПТО НАПН України, 2015. 248 с.
5. Ковальчук І.Г. Пожежна безпека в автосервісі. Київ: НУБiП, 2020. 128 с.
6. Петренко А.С. Технологiї очищення паливних форсунок: монографiя. Днiпро: ДНУ, 2021. 220 с.
7. Бабанiн О. Б., Буцький О. В. Аналіз методiв дiагностування паливної апаратури дизелiв // Збiрник наукових праць УкрДУЗТ, 2020, вип. 168. С. 31–37.
8. Дослiдження паливних форсунок системи живлення бензинового двигуна : дослiдн. робота / Львiв. нац. ун-т природокористування. Львiв, 2024.
9. Санташов О. В. Очищення та дiагностика дизельних форсунок : дипломна робота. — КПІ ім. Iгоря Сiкорського, 2023. 79 с.
10. Морозов, І. В. Розробка стенду для дiагностики паливних форсунок / І. В. Морозов, О. П. Ковальчук // Технiчна дiагностика та несправностi машин. – 2019. – № 2. – С. 34–40.
11. Марченко І.П. Охорона працi при використаннi ультразвукового обладнання. Київ: Освiта України, 2019. 90 с.

12. Горбачов В.М. Ультразвукові технології очищення в автосервісі. Харків: НТУ «ХП», 2021. 130 с.
13. Коколев О. А. Розпилювач форсунки / О. А. Коколев, М. Ф. Миланка, Б. Л. Тарасенко. – Харків, 2017.
14. Карпенко С.С. Діагностування електромагнітних форсунок бензинових двигунів автомобілів: дипломна робота магістра. Київ, 2023. 77 с.
15. Войтюк І.С. Розробка конструкції стенда для промивання форсунок : кваліфікаційна робота. Хмельницький нац. ун-т, 2023.
16. Петренко А.С. Технології очищення паливних форсунок: монографія. Дніпро: ДНУ, 2021. 220 с.
17. Зубарєв В.А. Діагностика паливних систем автомобілів. Київ: Основа, 2020. 144 с.
18. Савченко, М. І. Оцінка ефективності роботи форсунок на стенді / М. І. Савченко, П. В. Гончарук // Технічна механіка. – 2019. – Т. 15, № 4. – С. 88–95.
19. Сидоренко О. В., Петрова І. М. Методи діагностики паливних систем дизельних двигунів / О. В. Сидоренко, І. М. Петрова. – 2019. – 10 с.
20. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці на автотранспорті: навч. посіб. Київ: Університетська книга, 2015. – 256 с.