МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ Володимир ДІДІУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок дизеля з паливною системою Common Rail»

Виконав: студент _4 курсу, 42-ім групи
освітньої програми___ агроінженерія____
спеціальності Н7 «Агроінженерія»
Чуба Віктор Олександрович__
(прізвище та ініціали)
Керівник _к.т.н., доцент Олександр Пушка
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії
Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність H7 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____Володимир ДІДІУР
«___» _____ 2026

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Чуба Віктор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок дизеля з паливною системою Common Rail»
керівник проекту _Пушка Олександр Сергійович, к.т.н., доцент__
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
" " 2026 р. №_____
2. Строк подання студентом проекту 20.05.2026р.

3. Вихідні дані до проекту: огляд систем живлення; характеристики палива; токсичність відпрацьованих газів; параметри системи Common Rail; особливості технічного обслуговування систем живлення дизельних двигунів; прилади для ультразвукової очистки форсунок; параметри для розрахунку примусової вентиляції; показники економічної ефективності.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): акумуляторна паливна система Common Rail; технологічна частина; експериментальна частина; охорона праці; економічне обґрунтування проекту.
5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу		
2.	Розділ 1		
3.	Розділ 2		
4.	Розділ 3		
5.	Розділ 4		
6.	Розділ 5		
7.	Виконання ілюстративної частини проекту		
8.	Представлення проекту керівнику на перевірку		

Студент _____ Віктор ЧУБА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Олександр ПУШКА
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА 6
1.1. Загальна характеристика паливної системи Common Rail 6
1.2. Аналіз несправностей форсунок Common Rail 7
1.3. Організація дільниці технічного обслуговування форсунок 8
1.4. Технологічний процес технічного обслуговування форсунок 9
1.5. Запропоноване вдосконалення процесу обслуговування 11
1.6. Порівняння традиційного та вдосконаленого процесу 13
2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ 14
2.1. Загальна характеристика системи живлення дизельного двигуна 14
2.2. Особливості технічного обслуговування дизельної системи живлення 15
2.3. Ущільнювальні мідні шайби форсунок та їх вплив на роботу двигуна 18
2.4. Обґрунтування вдосконалення технологічного процесу 20
2.5. Технологічна карта заміни мідних шайб форсунок з ультразвуковим очищенням 21
2.6. Методика експериментального дослідження 29
2.7. Результати експериментального дослідження 31
2.8. Розрахункова оцінка ефективності очищення форсунок 32
3 ОХОРОНА ПРАЦІ 36
3.1. Загальні вимоги безпеки під час обслуговування форсунок Common Rail 36
3.2. Вимоги до робочого місця 37
3.3. Безпека під час демонтажу та перевірки форсунок 38
3.4. Пожежна безпека 39
3.5. Електробезпека 40
3.6. Заходи щодо поліпшення умов праці 41
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 43
4.1. Мета економічного обґрунтування 43
4.2. Вихідні дані для економічного розрахунку 44
4.3. Розрахунок витрат за базовим варіантом 46
4.4. Розрахунок витрат за вдосконаленим варіантом 46
4.5. Розрахунок додаткового доходу автосервісу 47
4.6. Економічне обґрунтування впровадження вдосконаленої операції 48
4.7. Оцінка економії палива для клієнта 50

4.8. Аналіз непрямих економічних переваг 51
4.9. Загальна оцінка економічної ефективності 52
ВИСНОВКИ 56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 59

1 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Загальна характеристика паливної системи Common Rail

Паливна система Common Rail належить до сучасних акумуляторних систем упорскування дизельного палива. Її особливістю є те, що створення високого тиску палива та процес упорскування розділені між окремими елементами. Паливо під високим тиском накопичується в паливній рампі, після чого електронний блок керування подає сигнали на форсунки відповідно до режиму роботи двигуна. Завдяки цьому забезпечується точне дозування палива, можливість багаторазового впорскування за один робочий цикл, зниження витрати пального та покращення екологічних показників двигуна [1].

Основними елементами системи Common Rail є паливний бак, фільтри грубого та тонкого очищення, підкачувальний насос, насос високого тиску, паливна рампа, датчики тиску, регулятор тиску, електронний блок керування та форсунки. Саме форсунка є одним із найбільш відповідальних вузлів, оскільки вона безпосередньо формує факел розпилення палива, визначає якість сумішоутворення та стабільність роботи двигуна.

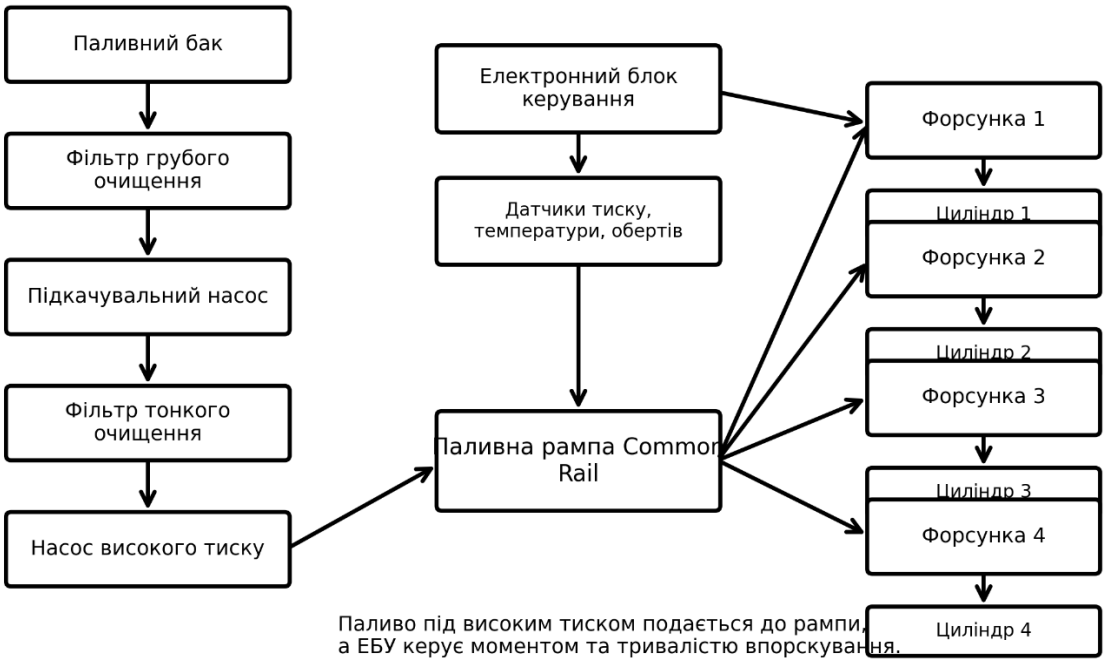


Рисунок 1.1 – Загальна схема паливної системи Common Rail

Форсунки Common Rail працюють у складних умовах: високий тиск палива, значна температура, високі вимоги до чистоти дизельного палива та точності електричного керування. Для перевірки сучасних форсунок застосовують спеціалізовані стенди, наприклад Bosch EPS 118, EPS 205 або EPS 708, які дозволяють виконувати автоматизоване тестування параметрів подачі та герметичності форсунок [2], [3]. Компанія Delphi також наголошує, що під час обслуговування форсунок Common Rail необхідно перевіряти електричну частину: опір котушки, індуктивність, наявність внутрішнього короткого замикання та пробою ізоляції [4].

1.2. Аналіз несправностей форсунок Common Rail

Несправність форсунок Common Rail призводить до порушення процесу згоряння палива, зниження потужності двигуна, збільшення витрати пального, димності вихлопу та нестабільної роботи двигуна на холостому ходу. У сучасних дизельних двигунах навіть невелике відхилення подачі палива однією форсункою може спричинити нерівномірну роботу циліндрів.

Найбільш поширені несправності форсунок наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні несправності форсунок Common Rail

№	Несправність	Можлива причина	Зовнішній прояв	Спосіб виявлення
1	Збільшена зворотна подача палива	Зношення клапанного вузла, кульки, сідла клапана	Важкий запуск, падіння тиску в рампі	Тест зворотного зливу
2	Недостатня подача палива	Засмічення розпилювача, забруднення фільтра	Зниження потужності двигуна	Перевірка подачі на стенді
3	Порушення факела розпилення	Закоксованість отворів розпилювача	Димність, підвищена витрата палива	Візуальна та стендова перевірка
4	Підтікання форсунки	Зношення голки або сідла розпилювача	Стукіт, перегрів поршня, димність	Тест герметичності

5	Електрична несправність	Обрив котушки, коротке замикання, пробій ізоляції	Помилка ЕБУ, відключення циліндра	Перевірка опору та ізоляції
6	Неправильна корекція після ремонту	Відсутність кодування або неправильний код	Нерівномірна робота двигуна	Діагностика сканером

Особливо небезпечною є несправність, за якої форсунка переливає паливо в циліндр. У такому випадку можливе перегрівання поршня, пошкодження циліндро-поршневої групи, розрідження моторної оливи дизельним паливом і прискорене зношування двигуна. Тому процес технічного обслуговування форсунок повинен передбачати не лише очищення, а й повну перевірку їхніх гідравлічних та електричних параметрів.

1.3. Організація дільниці технічного обслуговування форсунок

Для вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок дизеля з системою Common Rail доцільно організувати окрему спеціалізовану дільницю. Її завданням є приймання форсунок, попередня діагностика, очищення, стендова перевірка, дефектація, ремонт або заміна несправних деталей, контрольне тестування та оформлення результатів.

Дільниця повинна мати чисту робочу зону, оскільки форсунки Common Rail є високоточними виробами. Потрапляння пилу, абразивних частинок або залишків бруду може спричинити повторне пошкодження клапанного вузла чи розпилювача. Для якісного ремонту необхідно використовувати чисті інструменти, промивні рідини, фільтроване паливо для стендових випробувань та закриті контейнери для зберігання деталей.



Логіка руху форсунки: від приймання до контрольного випробування та видачі.

Рисунок 1.2 – Рекомендована структура дільниці обслуговування форсунок

Раціональна організація робочого місця дозволяє скоротити час обслуговування, зменшити кількість повторних ремонтів і підвищити якість діагностики. Сучасні стенди для перевірки форсунок Common Rail забезпечують контроль подачі палива за різних режимів, перевірку зворотного зливу, герметичності та стабільності роботи форсунки [2], [3].

1.4. Технологічний процес технічного обслуговування форсунок

Технічне обслуговування форсунок Common Rail доцільно виконувати за послідовною технологічною схемою. Вона повинна передбачати не тільки очищення деталі, а й обов’язкове порівняння фактичних параметрів із допустимими значеннями.

Таблиця 1.2 – Технологічна послідовність обслуговування форсунок Common Rail

№	Операція	Зміст роботи	Обладнання та інструмент	Очікуваний результат
1	Приймання форсунки	Огляд, запис номера, визначення типу	Журнал обліку, маркер	Форсунка ідентифікована
2	Зовнішнє очищення	Видалення пилу, оливи, нагару	Мийна ванна, щітки, серветки	Деталь підготовлена до перевірки
3	Електрична перевірка	Перевірка опору, ізоляції, котушки	Мультиметр, тестер форсунок	Виявлені електричні несправності
4	Попередній стендовий тест	Перевірка подачі, зливу, герметичності	Стенд Common Rail	Визначено технічний стан
5	Розбирання	Демонтаж розпилювача, клапанного вузла	Спецінструмент	Деталі підготовлені до дефектації
6	Дефектація	Огляд голки, сідла, клапана, пружин	Лупа, мікроскоп, калібри	Встановлено придатність деталей
7	Очищення деталей	Видалення нагару та відкладень	Ультразвукова ванна	Деталі очищені
8	Складання	Монтаж справних або нових деталей	Динамометричний ключ	Форсунка зібрана
9	Контрольний тест	Перевірка всіх режимів роботи	Стенд Common Rail	Параметри відповідають нормі
10	Кодування	Присвоєння корекційного коду	Діагностичне ПЗ	Форсунка готова до встановлення

Під час ремонту не допускається змішування деталей від різних форсунок без подальшого повного регулювання. Особливу увагу потрібно приділяти моментам

затягування, чистоті посадкових поверхонь і правильності встановлення регулювальних шайб. Після складання форсунка повинна пройти контрольне випробування на стенді. Якщо параметри подачі, зливу або герметичності не відповідають нормі, форсунку необхідно повторно розібрати, перевірити та відрегулювати.

1.5. Запропоноване вдосконалення процесу обслуговування

Основним недоліком традиційного обслуговування форсунок є те, що діагностика часто виконується неповно: перевіряється лише зовнішній стан або зворотний злив без повної стендової перевірки. Це не дозволяє точно визначити, чи відповідає форсунка вимогам роботи в різних режимах навантаження.

Для вдосконалення процесу пропонується впровадити комплексну систему обслуговування, яка включає:

1. попередню електронну діагностику двигуна;
2. тест зворотного зливу без демонтажу форсунок;
3. демонтаж лише підозрілих або несправних форсунок;
4. очищення та дефектацію на спеціалізованій дільниці;
5. стендову перевірку на режимах холостого ходу, середнього навантаження, максимальної подачі та герметичності;
6. формування протоколу перевірки;
7. кодування форсунки після ремонту;
8. контроль роботи двигуна після встановлення.



Рисунок 1.3 – Удосконалений алгоритм обслуговування форсунок Common Rail

Запропонований підхід дозволяє зменшити кількість необґрунтованих демонтажів, скоротити час пошуку несправності та підвищити якість ремонту. Крім того, оформлення протоколу стендової перевірки дає можливість документально підтвердити технічний стан форсунки до і після ремонту.

1.6. Порівняння традиційного та вдосконаленого процесу

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика процесів обслуговування

Показник	Традиційний процес	Вдосконалений процес
Первинна діагностика	Переважно візуальна або за скаргами водія	Комп’ютерна діагностика та аналіз параметрів
Перевірка зворотного зливу	Виконується не завжди	Обов’язкова перед демонтажем
Стендова перевірка	Часто тільки після ремонту	До ремонту і після ремонту
Документування результатів	Мінімальне	Протокол перевірки
Кодування форсунки	Може не виконуватись	Обов’язкове після ремонту
Якість ремонту	Залежить від досвіду майстра	Базується на вимірюваних параметрах
Імовірність повторної несправності	Вища	Нижча

Отже, вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок Common Rail полягає у переході від часткової перевірки до повного діагностично-ремонтного циклу. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до дизельної апаратури та дозволяє забезпечити стабільну роботу двигуна після ремонту.

2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Загальна характеристика системи живлення дизельного двигуна

Система живлення дизельного двигуна призначена для зберігання, очищення, подавання та точного дозування пального в циліндри двигуна. Від її технічного стану безпосередньо залежать потужність, економічність, стабільність роботи, димність відпрацьованих газів і довговічність силового агрегату. Особливо високі вимоги до чистоти пального та герметичності з’єднань висуваються до сучасних систем упорскування типу Common Rail, у яких паливо подається до форсунок під високим тиском, а кількість упорскуваного пального регулюється електронним блоком керування [1; 2].

Особливістю дизельних двигунів є те, що паливо виконує не лише енергетичну, а й частково змащувальну функцію для елементів паливної апаратури. Тому наявність води, механічних домішок, парафінових відкладень або смолистих забруднень може спричинити прискорене зношування паливного насоса високого тиску, форсунок, регуляторів тиску та зворотних клапанів. Для двигунів із системою Common Rail навіть незначне забруднення може викликати нестабільну роботу форсунки, порушення форми факела розпилення, збільшення витрати палива та появу помилок у системі керування [2; 3]. У сучасних рекомендаціях з монтажу форсунок Common Rail окремо наголошується, що ущільнювальні шайби та інші елементи герметизації після демонтажу не повинні використовуватися повторно, оскільки це може призвести до витоків і втрати компресії.

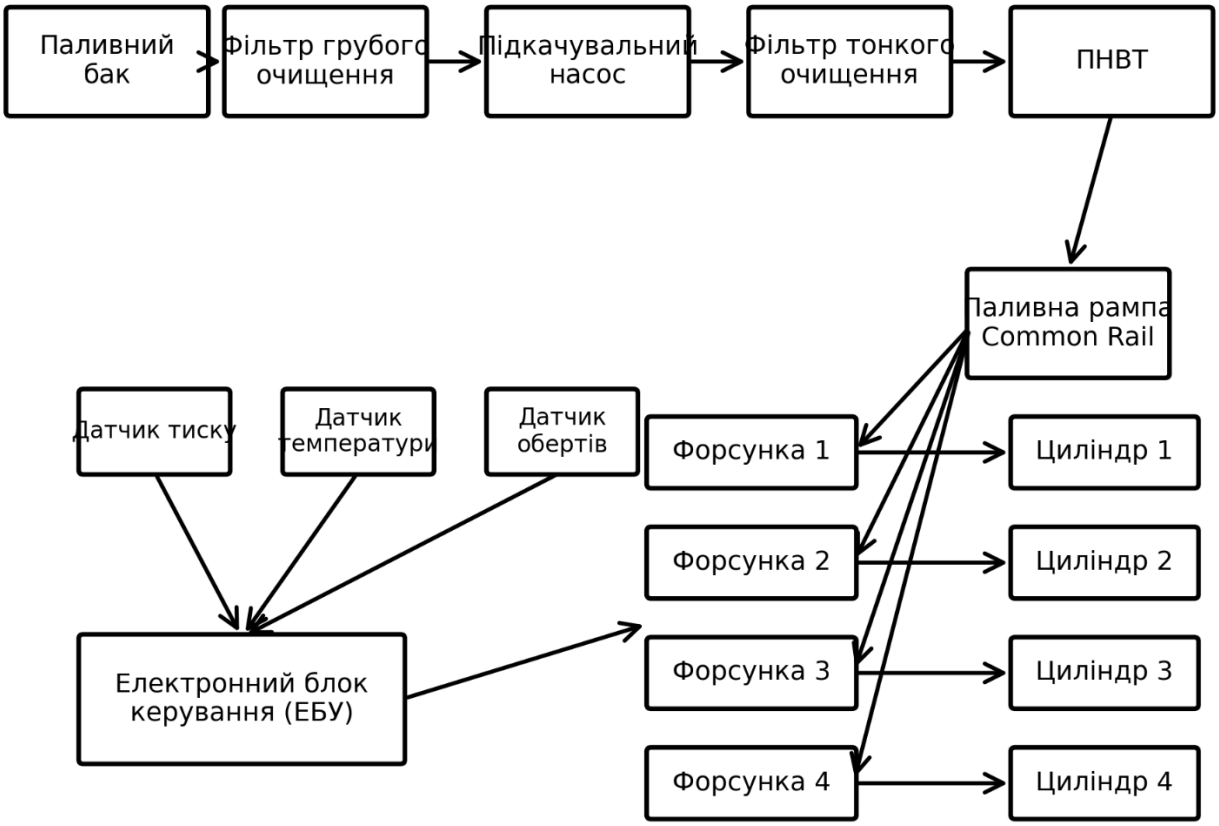


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема системи живлення дизельного двигуна Common Rail

Технічне обслуговування системи живлення дизельного двигуна доцільно розглядати як комплекс робіт, спрямованих на підтримання справності паливної апаратури, запобігання забрудненню системи, своєчасне виявлення несправностей і забезпечення якісного згоряння паливоповітряної суміші. За періодичністю виконання ці роботи можна поділити на щоденні перевірки, планові регламентні операції та обслуговування, що виконується за потребою.

2.2. Особливості технічного обслуговування дизельної системи живлення

2.2.1. Щоденні перевірки технічного стану

Щоденне обслуговування дизельного двигуна має профілактичний характер і виконується перед початком експлуатації або після завершення робочої зміни. Його основне завдання полягає у швидкому виявленні зовнішніх ознак несправностей, які можуть вплинути на безпечність і надійність роботи двигуна.

Насамперед проводять зовнішній огляд двигуна, паливопроводів, шлангів, фільтрів, штуцерів і з’єднань. Особливу увагу звертають на наявність підтікання дизельного пального, моторної оливи або охолоджувальної рідини. Порушення герметичності паливної магістралі може спричинити підсмоктування повітря, падіння тиску палива, утруднений запуск і нестабільну роботу двигуна.

Також перевіряють рівень моторної оливи, охолоджувальної рідини та, за необхідності, гальмівної рідини. Недостатній рівень оливи призводить до погіршення змащування деталей кривошипно-шатунного й газорозподільного механізмів, а недостатня кількість охолоджувальної рідини може викликати перегрівання двигуна та деформацію деталей головки блока циліндрів.

Після запуску двигуна контролюють показники контрольно-вимірювальних приладів: тиск оливи, температуру охолоджувальної рідини, частоту обертання колінчастого вала, залишок палива та наявність сигнальних повідомлень на панелі приладів. Нерівномірна робота на холостому ходу, сторонні шуми, стукіт, вібрації або підвищена димність можуть свідчити про порушення паливоподачі, несправність форсунок, підсмоктування повітря або зниження компресії.

2.2.2. Планове технічне обслуговування за пробігом або мотогодинами

Планове технічне обслуговування виконується відповідно до регламенту виробника двигуна або транспортного засобу. Періодичність робіт залежить від конструкції двигуна, умов експлуатації, якості пального, типу моторної оливи, режиму навантаження та загального технічного стану машини.

До основних планових операцій належать:

– заміна моторної оливи та масляного фільтра.

Дизельні двигуни працюють в умовах високих температур, тиску та підвищеного утворення сажі. Через це моторна олива поступово втрачає мийні, протизношувальні та антиокиснювальні властивості. Для дизельних двигунів необхідно застосовувати оливи, що відповідають вимогам виробника та мають відповідні класи якості API або ACEA. API поділяє моторні оливи на категорії, де серія «C» використовується для дизельних двигунів, а сучасні категорії мають

вимоги щодо захисту від зношування, відкладень і впливу сажі [4]. ACEA C3/C4 належать до малозольних олив, призначених для двигунів із системами нейтралізації відпрацьованих газів, зокрема DPF [5].

– заміна паливного фільтра.

Паливний фільтр виконує ключову роль у захисті паливної апаратури від води та механічних частинок. Для систем Common Rail забруднення пального є особливо небезпечним, оскільки високоточні пари тертя паливного насоса та форсунок мають мінімальні зазори. Під час заміни фільтра необхідно не лише встановити новий фільтрувальний елемент, а й видалити повітря з паливної системи.

– заміна повітряного фільтра.

Забруднений повітряний фільтр зменшує надходження повітря в циліндри, погіршує сумішоутворення та сприяє збільшенню витрати пального. В умовах аграрного виробництва, руху ґрунтовими дорогами або роботи в запиленому середовищі інтервал контролю повітряного фільтра доцільно скорочувати.

– перевірка системи охолодження.

Охолоджувальна рідина забезпечує підтримання стабільного температурного режиму двигуна. Під час ТО перевіряють рівень, колір, щільність, наявність домішок, стан патрубків, радіатора, термостата та кришки розширювального бачка.

– контроль приводних ременів і ременя ГРМ.

Зношування, розшарування або неправильний натяг ременя може спричинити порушення роботи допоміжних агрегатів або газорозподільного механізму. Несвоєчасна заміна ременя ГРМ є особливо небезпечною, оскільки може призвести до зіткнення клапанів із поршнями.

– діагностика системи Common Rail.

Під час діагностики перевіряють тиск у паливній рампі, корекції паливоподачі по циліндрах, зворотний злив форсунок, роботу регуляторів тиску та наявність кодів несправностей. Практика сервісного обслуговування передбачає

перевірку зворотного зливу форсунок у разі появи помилок, нестабільного тиску в рампі або відхилення корекцій упорскування [6].

– перевірка системи турбонаддуву, EGR і DPF.

Турбокомпресор впливає на наповнення циліндрів повітрям, а системи EGR і DPF — на екологічні показники двигуна. Засмічення клапана EGR або сажового фільтра може призвести до зниження тяги, збільшення димності, підвищення витрати пального та появи помилок у системі керування.

2.3. Ущільнювальні мідні шайби форсунок та їх вплив на роботу двигуна

Мідна ущільнювальна шайба форсунки є невеликою за розмірами, але важливою деталлю дизельного двигуна. Вона встановлюється між корпусом форсунки та посадковою поверхнею головки блока циліндрів і забезпечує герметичність камери згоряння. Основне її призначення полягає у запобіганні прориву гарячих газів із циліндра, а також у забезпеченні теплового контакту між форсункою та головкою блока.

Під час монтажу форсунки шайба деформується під дією зусилля затягування, завдяки чому щільно прилягає до контактних поверхонь. Саме тому така шайба належить до деталей одноразового використання. Після демонтажу форсунки повторне встановлення старої шайби не допускається, оскільки вона вже втратила початкову геометрію і не може гарантувати герметичність з’єднання [1; 7]. У сервісних інструкціях Renault також зазначається необхідність установлення нової мідної шайби під час зворотного монтажу форсунки; при цьому конкретний момент затягування залежить від моделі двигуна та повинен уточнюватися за технічною документацією.



Рисунок 2.2 – Схема ущільнення дизельної форсунки в головці блока циліндрів

У разі пошкодження або зношування шайби виникає прорив газів із камери згоряння. Це супроводжується появою сажі навколо форсунки, запахом відпрацьованих газів у моторному відсіку, характерним шипінням або цоканням, зниженням компресії, нерівномірною роботою двигуна та підвищеною димністю. Тривалий прорив газів може пошкодити посадкову поверхню головки блока циліндрів, що значно ускладнює ремонт.

Крім втрати герметичності, несправна шайба погіршує відведення тепла від форсунки. Перегрівання форсунки призводить до зміни параметрів упорскування, утворення нагару на розпилювачі, зниження ресурсу внутрішніх деталей і можливого виходу форсунки з ладу. Тому під час кожного демонтажу форсунки необхідно обов’язково замінювати мідну шайбу, навіть якщо зовні вона не має очевидних дефектів.

До основних ознак несправності ущільнювальних шайб належать:

1. поява чорного нагару біля основи форсунки;
2. запах вихлопних газів у моторному відсіку;
3. нерівномірна робота двигуна на холостому ходу;
4. зниження потужності та погіршення динаміки;
5. підвищена витрата палива;
6. сірий, чорний або сизий дим із вихлопної труби;
7. характерне цокання або шипіння біля форсунки;
8. ускладнений запуск двигуна.

2.4. Обґрунтування вдосконалення технологічного процесу

У традиційній практиці під час заміни мідних шайб часто обмежуються демонтажем форсунок, очищенням посадкового місця та встановленням нового ущільнювача. Проте такий підхід не завжди забезпечує повне усунення причин погіршення роботи паливної системи, оскільки на корпусі форсунки, розпилювачі та в зоні контакту з шайбою можуть залишатися сажа, смолисті відкладення та продукти згоряння.

Запропоноване вдосконалення полягає в тому, що операцію заміни мідних шайб доцільно поєднувати з ультразвуковим очищенням демонтованих форсунок. Ультразвукова ванна створює в мийному розчині кавітаційні процеси, завдяки яким забруднення видаляються навіть із важкодоступних ділянок без грубого механічного впливу на поверхню деталі. Такий метод особливо корисний для очищення зовнішньої частини розпилювача, ущільнювальної поверхні та ділянок, де накопичуються продукти згоряння.



Рисунок 2.3 – Схема вдосконаленого технологічного процесу обслуговування форсунок

Застосування ультразвукового очищення дозволяє підвищити якість технічного обслуговування, зменшити ризик повторного забруднення посадкового місця, покращити форму факела розпилення палива та стабілізувати корекції паливоподачі. Для автосервісного підприємства така операція створює додаткову послугу, яка підвищує конкурентоспроможність і дає економічний ефект за рахунок збільшення вартості комплексного обслуговування.

2.5. Технологічна карта заміни мідних шайб форсунок з ультразвуковим

очищенням

Технологічний процес розглянуто на прикладі дизельного двигуна Renault F9Q 803, який встановлювався на автомобілі Renault Megane II, Scenic II, Trafic II та інші моделі. Під час виконання робіт необхідно дотримуватися чистоти робочої зони, оскільки потрапляння пилу або частинок нагару в паливну систему може призвести до пошкодження форсунок або паливного насоса.

Таблиця 2.1 – Технологічна карта заміни мідних ущільнювальних шайб під форсунками

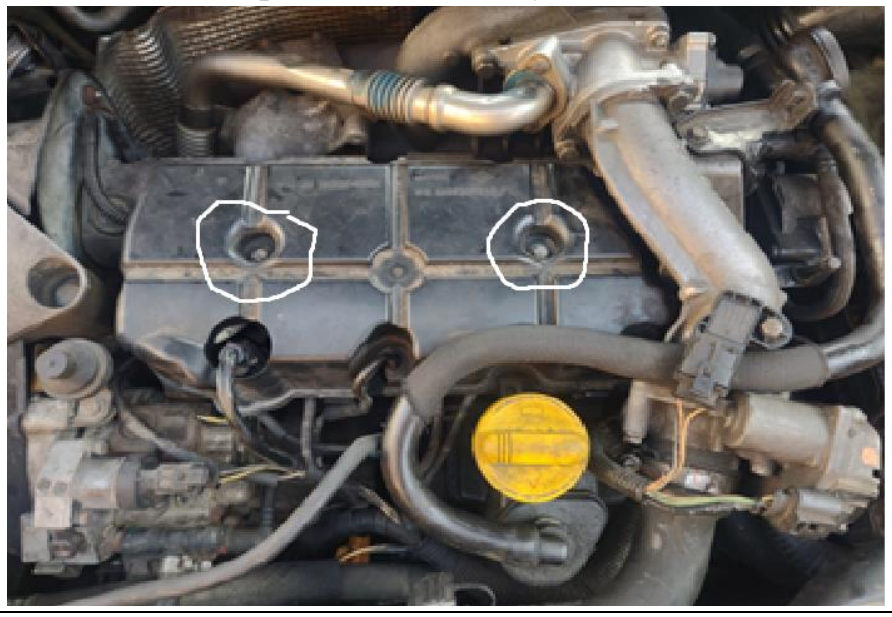
№	Зміст операції	Обладнання, інструмент і матеріали
005	Зчитування кодів несправностей через діагностичний роз’єм та корекцій паливоподачі по форсункам. 	Мотор-тестер, або сканер
010	Відключаємо акумуляторну батарею, знявши клему "-" (мінус).	Ключ ріжковий 10 мм
015	Забезпечуємо доступ до форсунок	Головка 10 мм, ріжково-накидний ключ 13 мм, шліцева викрутка
	Демонтуємо болти кріплення проміжного патрубка до клапану ЕГР (13 мм М8) та кріплення патрубку до головки блоку циліндрів	

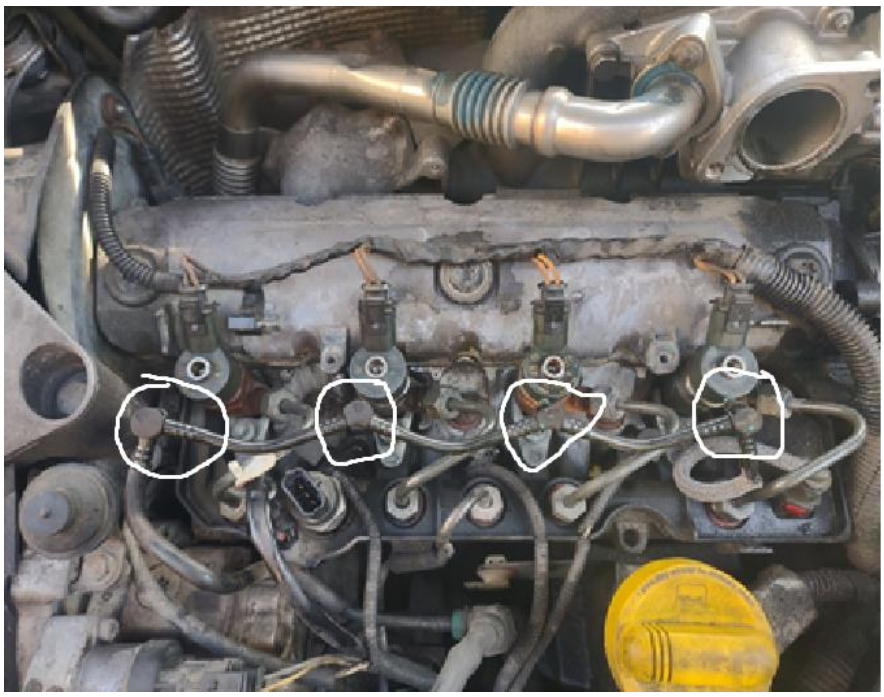


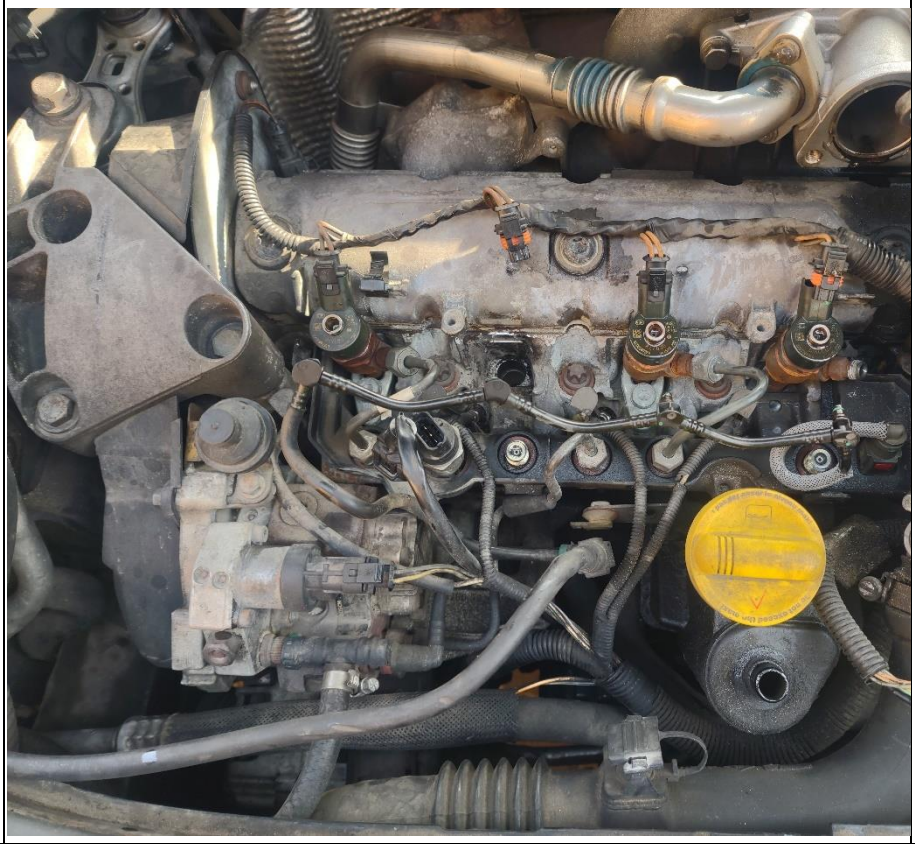
Від’єднуємо роз’єм із сенсора високого тиску



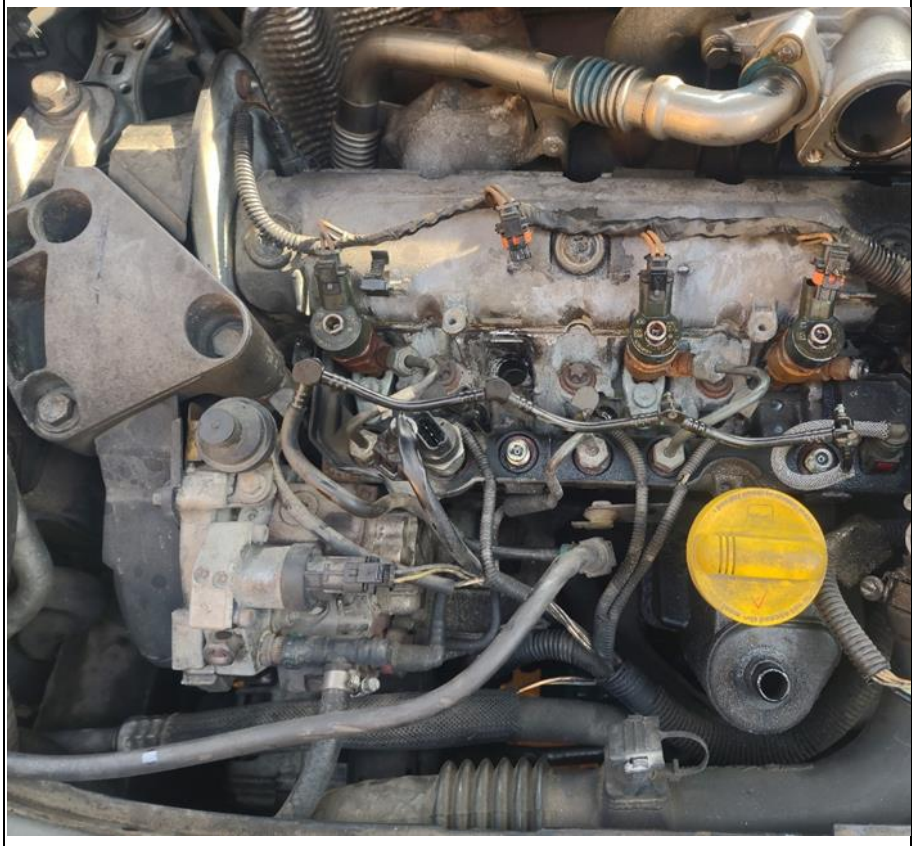
Від’єднуємо роз’єми із сенсора тиску надуву та електронної дросельної заслінки та відкручуємо сенсор тиску надуву (болт 10мм М6). Відкручуємо хомут від патрубка інтеркулера шліцевою викруткою.

	 Відкручуємо болти кріплення захисної пластикової кришки та демонтуємо її. 	
020	Демонтаж форсунок	Головка Е14, ключ ріжковий 15 мм, пінцет,

		шліцева викрутка
	Від’єднуємо лінії зворотки палива із форсунок за допомогою пінцета, знімаючи металеві скоби.  Від’єднуємо електричні роз’єми із форсунки 	
	Відкручуємо паливопроводи до форсунки, відкручуємо болт кріплення форсунки. Обережно витягніть форсунки з посадкових отворів. У деяких випадках	

	форсунки можуть "закиснути" і потребуватимуть спеціального знімача або обережного розхитування. 	
025	Заміна мідних шайб	
	Огляньте посадковий отвір форсунки в головці блоку циліндрів. Стара мідна шайба часто залишається в отворі. Видаліть стару шайбу. Можна використовувати тонкий гачок, викрутку або спеціальний інструмент для вилучення ущільнювачів. Будьте дуже обережні, щоб не подряпати та не пошкодити посадкове місце. Переконайтесь, що в отворі не залишилося жодних фрагментів старої шайби або бруду.	
030	Очищення форсунок	Ультразвукова ванна та миюча рідина

	Помістіть дизельну форсунку в ультразвукову ванну, температура миючого розчину при цьому має становити 70°C, тривалість мийки не менше 30 хв. 	
035	Встановлення форсунок	Динамометричний ключ, фрези для посадкових місць

	Використовуйте спеціальні розвертки (фрези) для чищення та калібрування посадкових місць форсунок у головці блоку циліндрів. Це забезпечує рівну та чисту поверхню для нової шайби. Під час чищення розверткою регулярно очищайте її від нагару та стружки. Після фрезерування продуйте отвори стисненим повітрям, щоб видалити всі залишки. Стружка не повинна потрапити в циліндр, тому використовуйте пилосос для видалення залишків під час продувки. Перевірте чистоту та рівність поверхні посадкового місця візуально. Використовуйте тільки нові мідні шайби. Вони є одноразовими.  Затягніть форсунки моментом 70 Нм.	
035	Всі решту елементів встановіть у зворотній послідовності.	

Під час очищення форсунки занурюють в ультразвукову ванну з підготовленим мийним розчином. Рекомендована температура очищення становить приблизно 70 °C, а тривалість процедури — не менше 30 хвилин. Після очищення форсунки необхідно промити, висушити та перевірити стан розпилювача.

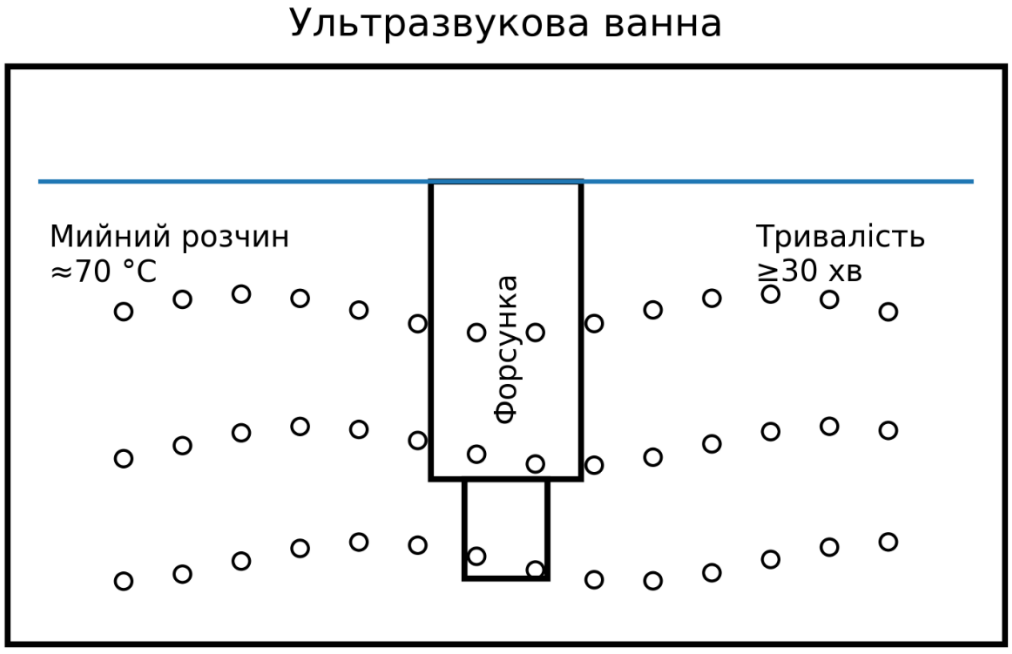


Рисунок 2.4 – Схема ультразвукового очищення форсунки

Після монтажу форсунок обов’язково виконують прокачування паливної системи. Двигун запускають і залишають працювати на холостому ходу, після чого перевіряють місця встановлення форсунок, штуцери, паливопроводи та зворотні магістралі на відсутність підтікання або прориву газів.

2.6. Методика експериментального дослідження

Для оцінювання ефективності запропонованого вдосконалення було використано автомобіль Renault Megane II 1.9 dCi з дизельним двигуном F9Q803 потужністю 130 к. с. Діагностичні параметри визначалися за допомогою сканера Thinkdiag, а візуальний контроль стану форсунок і отворів розпилювача здійснювався електронним USB-мікроскопом.

Діагностичний сканер Thinkdiag дозволяє зчитувати коди несправностей, переглядати поточні параметри роботи двигуна, контролювати корекції паливоподачі, тиск у паливній рампі, температуру, частоту обертання колінчастого вала та інші параметри електронного блока керування [8].

Експеримент проводився у два етапи:

1. первинна діагностика форсунок до очищення;
2. повторна діагностика після ультразвукового очищення, заміни мідних шайб і монтажу форсунок.



Рисунок 2.5 – Схема проведення експерименту

2.7. Результати експериментального дослідження

До проведення ультразвукового очищення на поверхні форсунок спостерігалися сліди нагару, сажі та експлуатаційних забруднень. Такі відкладення можуть погіршувати тепловідведення, ускладнювати демонтаж форсунки, порушувати щільність прилягання ущільнювальної шайби та впливати на якість розпилення пального.



Рисунок 2.6 – Стан форсунки до очищення

Початкові параметри роботи форсунок наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники роботи форсунок до ультразвукового очищення

Форсунка	Миттєва витрата палива, л/год	Короткострокова корекція, %	Довгострокова корекція, %	Оберти холостого ходу, RPM
1	0,85	+3,2	+2,5	820
2	0,92	-2,1	-1,5	815
3	0,88	+1,5	+1,0	825
4	0,95	-4,5	-3,0	810
Середнє	0,90	-0,48	-0,25	818

Після ультразвукового очищення та встановлення нових мідних шайб поверхня форсунок стала чистішою, зменшилася кількість сажових і смолистих відкладень, а отвори розпилювача набули більш правильної форми.



Рисунок 2.7 – Стан форсунки після очищення

Результати повторної діагностики наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Показники роботи форсунок після ультразвукового очищення

Форсунка	Миттєва витрата палива, л/год	Короткострокова корекція, %	Довгострокова корекція, %	Оберти холостого ходу, RPM
1	0,78	+0,5	+0,8	822
2	0,81	-0,2	-0,5	818
3	0,79	+0,2	+0,3	827
4	0,83	-0,8	-1,2	815
Середнє	0,80	-0,08	-0,15	820

2.8. Розрахункова оцінка ефективності очищення форсунок

Для кількісного оцінювання результатів експерименту визначимо зменшення миттєвої витрати палива на холостому ходу:

$$\Delta Q = Q_{\text{до}} - Q_{\text{після}} \tag{2.1}$$

де ΔQ — зменшення витрати палива, л/год;

$Q_{\text{до}}$ — середня витрата палива до очищення, л/год;

$Q_{\text{після}}$ — середня витрата палива після очищення, л/год.

Підставляємо експериментальні дані:

$$\Delta Q = 0{,}90 - 0{,}80 = 0{,}10 \text{ л/год}$$

Відносне зменшення витрати палива визначаємо за формулою:

$$E_Q = \frac{Q_{\text{до}} - Q_{\text{після}}}{Q_{\text{до}}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

$$E_Q = \frac{0{,}90 - 0{,}80}{0{,}90} 100\% = 11{,}1\%$$

Отже, після ультразвукового очищення форсунок середня миттєва витрата палива на холостому ходу зменшилася на 0,10 л/год, або приблизно на 11,1 %.

Для оцінки рівномірності роботи форсунок доцільно використовувати не лише середнє арифметичне значення корекції, а й середнє абсолютне відхилення корекцій:

$$\text{К}_{\text{ср}} = \frac{|\text{К}_1| + |\text{К}_2| + |\text{К}_3| + |\text{К}_4|}{n} \quad (2.3)$$

де $\text{К}_{\text{ср}}$ — середнє абсолютне значення корекції, %;

$\text{К}_1, \text{К}_2, \text{К}_3, \text{К}_4$ — корекції паливоподачі по форсунках, %;

n — кількість форсунок.

Для короткострокової корекції до очищення:

$$\text{К}_{\text{до}} = \frac{3{,}2 + 2{,}1 + 1{,}5 + 4{,}5}{4} = 2{,}83\%$$

Після очищення:

$$\text{К}_{\text{після}} = \frac{0{,}5 + 0{,}2 + 0{,}2 + 0{,}8}{4} = 0{,}43\%$$

Зменшення середнього абсолютного відхилення короткострокової корекції:

$$\text{Е}_{\text{К}} = \frac{\text{К}_{\text{до}} - \text{К}_{\text{після}}}{\text{К}_{\text{до}}} 100\% \quad (2.4)$$

$$\text{Е}_{\text{К}} = \frac{2{,}83 - 0{,}43}{2{,}83} 100 = 84{,}8\%$$

Отже, середнє абсолютне відхилення короткострокової корекції паливоподачі після очищення зменшилося приблизно на 84,8 %, що свідчить про суттєве вирівнювання роботи форсунок.

Таблиця 2.4 – Порівняння середніх показників до та після очищення

Показник	До очищення	Після очищення	Зміна
Середня витрата палива, л/год	0,90	0,80	-11,1 %
Середня короткострокова корекція, %	-0,48	-0,08	наближення до 0
Середня довгострокова корекція, %	-0,25	-0,15	наближення до 0
Середнє абсолютне відхилення короткострокової корекції, %	2,83	0,43	-84,8 %
Оберти холостого ходу, RPM	818	820	практично без змін

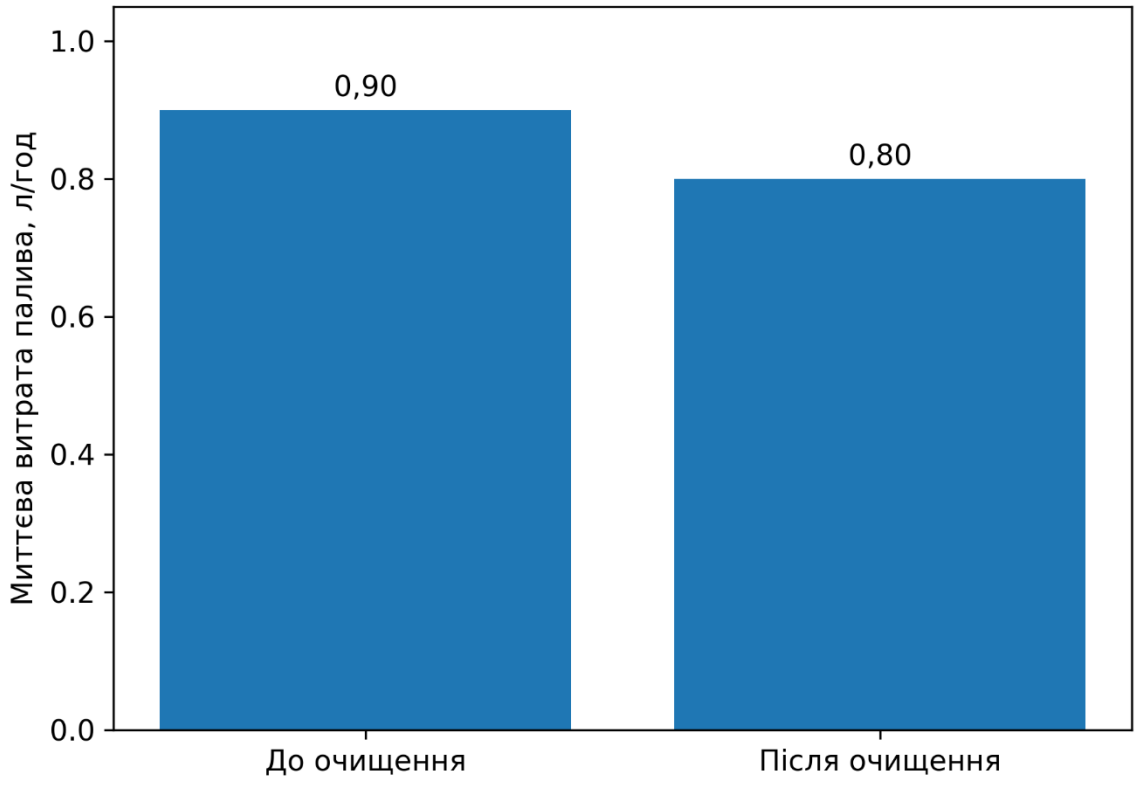


Рисунок 2.8 – Діаграма зміни середньої витрати палива

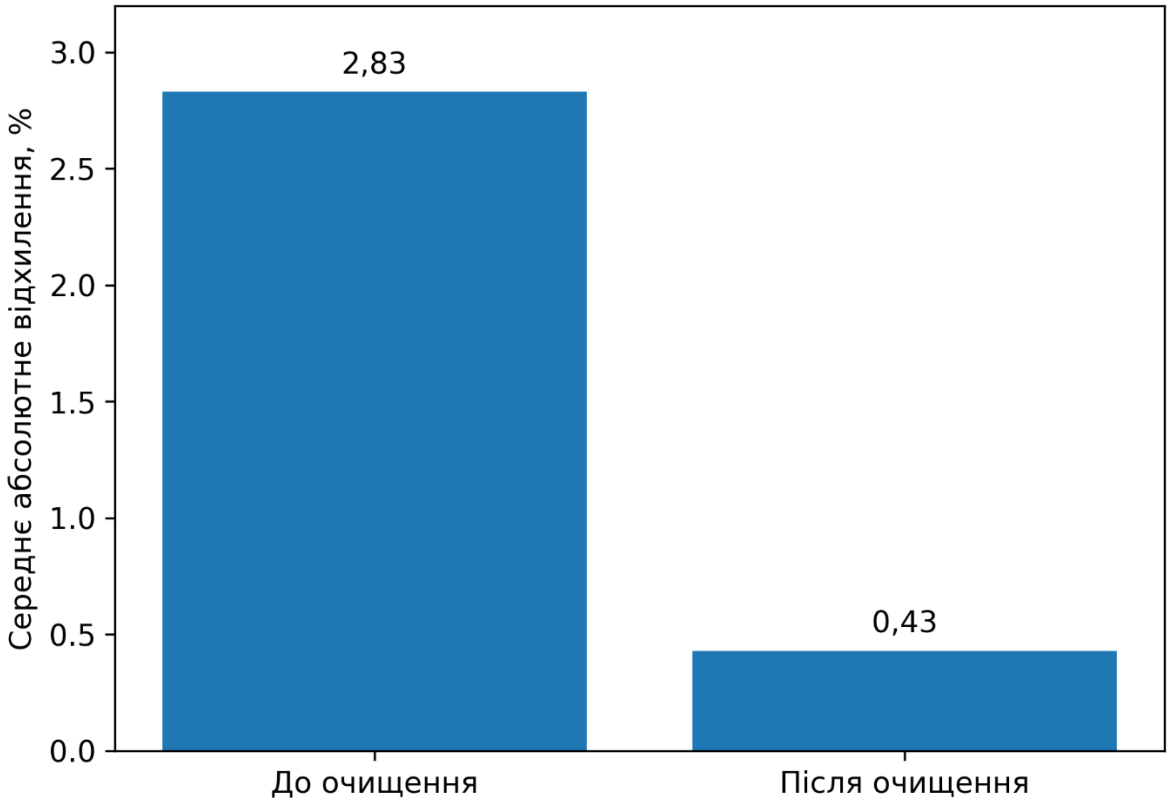


Рисунок 2.9 – Діаграма зменшення середнього абсолютного відхилення корекцій

У цьому розділі розглянуто особливості технічного обслуговування системи живлення дизельного двигуна та обґрунтовано доцільність удосконалення процесу заміни мідних ущільнювальних шайб форсунок. Встановлено, що мідна шайба є відповідальним елементом герметизації, який забезпечує щільне прилягання форсунки до посадкового місця головки блока циліндрів і сприяє відведенню тепла від форсунки.

Пошкодження або повторне використання мідної шайби може призвести до прориву газів, зниження компресії, утворення нагару, перегрівання форсунки, підвищення витрати палива та пошкодження посадкового місця в головці блока циліндрів. Тому під час кожного демонтажу форсунки ущільнювальна шайба повинна замінюватися на нову.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні вимоги безпеки під час обслуговування форсунок Common Rail

Під час технічного обслуговування форсунок дизеля з паливною системою Common Rail працівник має справу з дизельним паливом, високим тиском, електричними приладами, мийними рідинами, стисненим повітрям, нагрітими деталями та стендовим обладнанням. Тому організація робіт повинна відповідати вимогам правил охорони праці на автомобільному транспорті та вимогам безпеки під час технічного обслуговування машин і обладнання [11], [12].

До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, знають будову паливної системи Common Rail, правила безпечного користування стендом, порядок дій у разі аварійної ситуації та правила пожежної безпеки. Роботи з паливною апаратурою необхідно виконувати в добре освітленому, вентильованому та чистому приміщенні.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Небезпечні та шкідливі фактори під час обслуговування форсунок

№	Фактор	Можливий наслідок	Заходи захисту
1	Високий тиск палива	Травмування шкіри струменем палива	Заборона перевірки руками, використання захисних екранів
2	Пари дизельного палива	Подразнення органів дихання	Вентиляція, герметичні ємності
3	Мийні рідини	Подразнення шкіри, очей	Рукавиці, окуляри, спецодяг
4	Електричне обладнання	Ураження електричним струмом	Заземлення, справна ізоляція
5	Рухомі частини стенда	Механічні травми	Захисні кожухи, блокування

6	Пожежонебезпечні речовини	Загоряння або вибух	Вогнегасники, заборона відкритого вогню
7	Недостатнє освітлення	Помилки під час складання	Нормоване робоче освітлення
8	Забруднення робочого місця	Ковзання, падіння, повторне забруднення деталей	Регулярне прибирання

3.2. Вимоги до робочого місця

Робоче місце слюсаря-діагноста повинно бути організоване так, щоб усі операції виконувалися без зайвих переміщень і з мінімальним ризиком забруднення деталей. На робочому столі мають розміщуватися лише ті інструменти та деталі, які використовуються під час конкретної операції. Для дрібних деталей форсунок необхідно застосовувати окремі лотки або касети.

Приміщення дільниці повинно мати припливно-витяжну вентиляцію, місцеве освітлення робочих зон, пожежний інвентар, аптечку першої допомоги, засоби індивідуального захисту та інструкції з охорони праці. Параметри мікроклімату виробничих приміщень нормуються ДСН 3.3.6.042-99, де мікроклімат визначається поєднанням температури, вологості, швидкості руху повітря та теплового випромінювання [13].

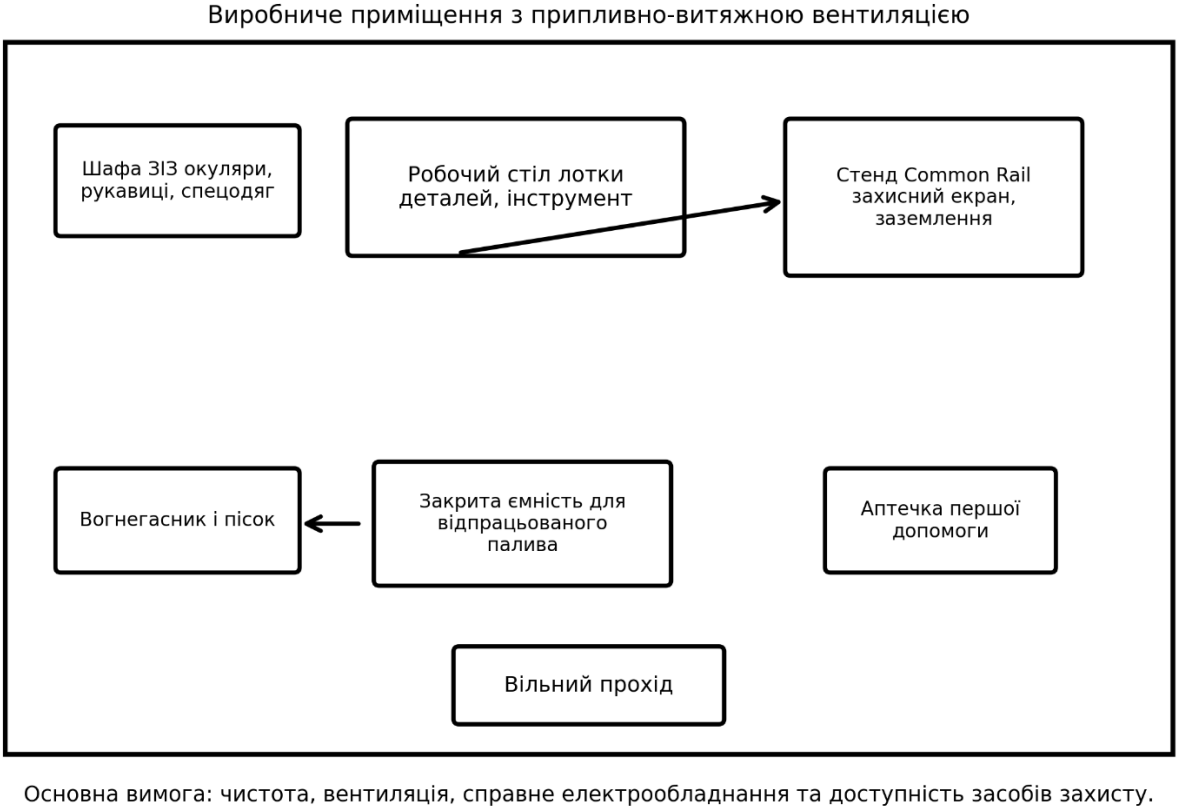


Рисунок 3.1 – Схема безпечної організації робочого місця

Для зниження ризику травмування забороняється залишати на підлозі паливні шланги, інструмент, тару з паливом або мийними рідинами. Паливо, що пролилося, необхідно негайно прибрати за допомогою абсорбенту або піску, а забруднені матеріали помістити у спеціальну металеву тару.

3.3. Безпека під час демонтажу та перевірки форсунок

Перед демонтажем форсунок необхідно зупинити двигун, дочекатися зниження температури деталей, скинути тиск у паливній системі відповідно до інструкції виробника та від’єднати акумуляторну батарею. Забороняється відкручувати трубопроводи високого тиску одразу після зупинки двигуна, оскільки в системі може залишатися небезпечний тиск.

Під час перевірки форсунок на стенді працівник повинен використовувати захисні окуляри, рукавиці та спецодяг. Не допускається наближати руки до зони можливого виходу струменя палива. Паливо під високим тиском може проникати під шкіру та спричиняти тяжкі травми, тому всі випробування необхідно виконувати лише із захисним кожухом або екраном.

Таблиця 3.2 – Засоби індивідуального захисту

Вид робіт	**Засоби індивідуального захисту**
Демонтаж форсунок	Рукавиці, спецодяг, захисні окуляри
Очищення деталей	Хімічностійкі рукавиці, окуляри, фартух
Стендова перевірка	Окуляри, рукавиці, захисний екран
Робота з електрообладнанням	Сухі рукавиці, справний інструмент з ізоляцією
Прибирання пального	Рукавиці, абсорбент, закрита тара

3.4. Пожежна безпека

Дизельне паливо належить до горючих речовин, тому на дільниці технічного обслуговування форсунок необхідно суворо дотримуватися правил пожежної безпеки. У приміщенні забороняється паління, використання відкритого вогню, зберігання зайвої кількості пального, виконання зварювальних робіт без спеціального дозволу та залишення забрудненого ганчір’я на робочому місці.

Для забезпечення пожежної безпеки дільниця повинна бути обладнана порошковими або вуглекислотними вогнегасниками, ящиком із піском, пожежним щитом, знаками безпеки та планом евакуації. Електрообладнання повинно бути справним, заземленим і захищеним від короткого замикання.

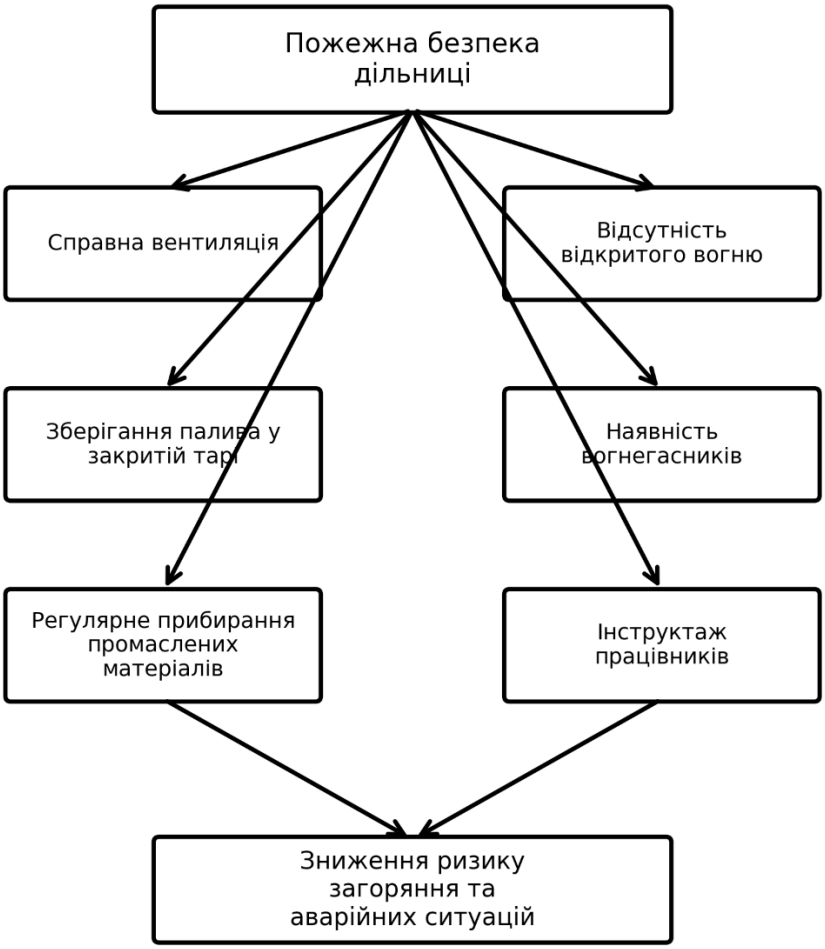


Рисунок 3.2 – Основні заходи пожежної безпеки на дільниці

3.5. Електробезпека

Стенди для перевірки форсунок, ультразвукові ванни, діагностичні прилади та освітлювальне обладнання живляться від електромережі, тому необхідно забезпечити їх справний технічний стан. Перед початком роботи працівник повинен перевірити цілісність кабелів, вилок, розеток, наявність заземлення та відсутність пошкоджень корпусу обладнання.

Забороняється працювати з електроприладами вологими руками, самостійно ремонтувати електричні частини стенда без відповідної кваліфікації, використовувати пошкоджені подовжувачі або перевантажувати електромережу. У разі появи запаху горілої ізоляції, іскріння або нестабільної роботи обладнання його необхідно негайно вимкнути.

3.6. Заходи щодо поліпшення умов праці

Для підвищення безпеки праці на дільниці обслуговування форсунок Common Rail пропонується впровадити такі заходи:

- організувати окрему чисту зону для розбирання та складання форсунок;
- обладнати стенд захисним прозорим екраном;
- використовувати лише справні шланги високого тиску;
- встановити місцеву витяжну вентиляцію біля зони очищення деталей;
- забезпечити працівників окулярами, рукавицями та спецодягом;
- розмістити інструкції з безпеки біля стенда;
- впровадити журнал обліку перевірки обладнання;
- проводити регулярний інструктаж працівників;
- забезпечити зберігання пального та мийних рідин у закритій тарі;
- підтримувати належне освітлення та чистоту робочого місця.

Таблиця 3.3 – План заходів з охорони праці

№	Захід	Мета	Очікуваний результат
1	Встановлення захисного екрана на стенді	Захист від струменя палива	Зменшення ризику травмування
2	Використання місцевої вентиляції	Видалення парів палива	Покращення повітря робочої зони
3	Організація чистої зони складання	Запобігання забрудненню деталей	Підвищення якості ремонту
4	Застосування ЗІЗ	Захист очей, рук і шкіри	Зменшення виробничого травматизму
5	Регулярний контроль обладнання	Запобігання аваріям	Підвищення надійності робіт
6	Проведення інструктажів	Підвищення дисципліни праці	Зменшення порушень безпеки

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час технічного обслуговування форсунок дизеля з паливною системою Common Rail. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять високий тиск палива, контакт із дизельним паливом і мийними речовинами, електрообладнання, пожежонебезпечні матеріали та недостатня організація робочого місця. Запропоновані заходи безпеки дозволяють знизити ризик травмування працівників, підвищити якість ремонту та забезпечити безпечні умови праці на спеціалізованій дільниці.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1. Мета економічного обґрунтування

Економічна частина роботи спрямована на визначення доцільності впровадження вдосконаленої операції технічного обслуговування дизельних форсунок, яка передбачає не лише заміну мідних ущільнювальних шайб, а й додаткове ультразвукове очищення форсунок. Такий підхід дає змогу підвищити якість ремонту, зменшити ризик повторного прориву газів через ущільнення, покращити роботу паливної апаратури та розширити перелік послуг автосервісного підприємства.

У звичайній технології заміни шайб форсунки демонтують, очищують посадкові місця, встановлюють нові ущільнювальні елементи та монтують форсунки назад. Проте якщо зовнішня частина форсунки, розпилювач або зона контакту з шайбою залишаються забрудненими, це може зменшити якість виконаного ремонту. Саме тому доцільно поєднати заміну шайб з ультразвуковим очищенням, яке дає змогу ефективніше видалити сажу, нагар, смолисті відкладення та залишки продуктів згоряння.



Рисунок 4.1 – Схема економічної доцільності впровадження ультразвукового очищення

4.2. Вихідні дані для економічного розрахунку

Для розрахунку приймається середнє автосервісне підприємство, яке виконує технічне обслуговування дизельних автомобілів із системами живлення типу Common Rail. Передбачається, що протягом місяця сервіс обслуговує 20 автомобілів, на яких виконується демонтаж форсунок, заміна мідних ущільнювальних шайб і, у вдосконаленому варіанті, ультразвукове очищення.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показник	Позначення	Значення	Показник
Кількість автомобілів, що обслуговуються за місяць	N	20 авто	Кількість автомобілів, що обслуговуються за місяць
Вартість нормо-години механіка	$C_{\text{нг}}$	500 грн/год	Вартість нормо-години механіка
Вартість комплекту мідних шайб на 4 форсунки	$C_{\text{ш}}$	200 грн	Вартість комплекту мідних шайб на 4 форсунки
Витрати на мийну рідину для 1 форсунки	$C_{\text{р}}$	100 грн	Витрати на мийну рідину для 1 форсунки
Кількість форсунок на автомобілі	n	4 шт.	Кількість форсунок на автомобілі
Час демонтажу та монтажу 4 форсунок	t_1	2,0 год	Час демонтажу та монтажу 4 форсунок
Час очищення посадкових місць і заміни шайб	t_2	0,5 год	Час очищення посадкових місць і заміни шайб
Додатковий час на ультразвукове очищення	t_3	1,0 год	Додатковий час на ультразвукове очищення
Вартість ультразвукової ванни	$C_{\text{в}}$	20 000 грн	Вартість ультразвукової ванни
Вартість додаткового інструменту	$C_{\text{і}}$	5 000 грн	Вартість додаткового інструменту
Загальні початкові інвестиції	$C_{\text{інв}}$	25 000 грн	Загальні початкові інвестиції

Загальна сума початкових інвестицій визначається за формулою:

$$C_{\text{інв}} = C_{\text{в}} + C_{\text{і}} \tag{4.1}$$

де $C_{\text{інв}}$ — загальна сума початкових інвестицій, грн;

$C_{\text{в}}$ — вартість ультразвукової ванни, грн;

$C_{\text{і}}$ — вартість додаткового інструменту, грн.

Підставимо значення:

$$C_{\text{інв}} = 20000 + 5000 = 25000 \text{ грн}$$

Отже, для впровадження вдосконаленої операції автосервісу необхідно інвестувати приблизно 25 000 грн.

4.3. Розрахунок витрат за базовим варіантом

Базовий варіант передбачає виконання стандартної операції: демонтаж форсунок, очищення посадкових місць, заміна мідних ущільнювальних шайб і зворотний монтаж форсунок. У цьому випадку ультразвукове очищення не застосовується.

Витрати на оплату праці за базовим варіантом визначаються за формулою:

$$\text{С}_{\text{п1}} = (t_1 + t_2) \cdot \text{С}_{\text{нг}} \quad (4.2)$$

де $\text{С}_{\text{п1}}$ — вартість праці за базовим варіантом, грн;

t_1 — час демонтажу та монтажу форсунок, год;

t_2 — час очищення посадкових місць і встановлення шайб, год;

$\text{С}_{\text{нг}}$ — вартість нормо-години механіка, грн/год.

Підставимо значення:

$$\text{С}_{\text{п1}} = (2{,}0 + 0{,}5) \cdot 500 = 2{,}5 \cdot 500 = 1250 \text{ грн}$$

Загальні прямі витрати на один автомобіль за базовим варіантом:

$$\text{С}_1 = \text{С}_{\text{ш}} + \text{С}_{\text{п1}} \quad (4.3)$$

$$\text{С}_1 = 200 + 1250 = 1450 \text{ грн}$$

Отже, прямі витрати на обслуговування одного автомобіля без ультразвукового очищення становлять 1450 грн.

4.4. Розрахунок витрат за вдосконаленим варіантом

Вдосконалений варіант передбачає виконання повнішого комплексу робіт: демонтаж форсунок, очищення посадкових місць, ультразвукове очищення форсунок, заміну мідних шайб, монтаж форсунок, прокачування системи та контрольну перевірку.

Витрати на мийну рідину для одного автомобіля визначаються за формулою:

$$\text{С}_{\text{м}} = n \cdot \text{С}_{\text{р}} \quad (4.4)$$

де $С_м$ — витрати на мийну рідину, грн;

n — кількість форсунок;

$С_р$ — вартість мийної рідини на одну форсунку, грн.

$$С_м = 4 \cdot 100 = 400 \text{ грн}$$

Витрати на оплату праці за вдосконаленим варіантом:

$$С_{п2} = (t_1 + t_2 + t_3) \cdot С_{нг} \quad (4.5)$$

де $С_{п2}$ — вартість праці за вдосконаленим варіантом, грн;

t_3 — додатковий час на ультразвукове очищення, год.

$$С_{п2} = (2{,}0 + 0{,}5 + 1{,}0)500 = 3{,}5 \cdot 500 = 1750 \text{ грн}$$

Загальні прямі витрати на один автомобіль за вдосконаленим варіантом:

$$С_2 = С_ш + С_м + С_{п2} \quad (4.6)$$

$$С_2 = 200 + 400 + 1750 = 2350 \text{ грн}$$

Отже, прямі витрати на один автомобіль із застосуванням ультразвукового очищення становлять 2350 грн.

Таблиця 4.2 – Порівняння витрат за двома варіантами обслуговування

Стаття витрат	Базовий варіант, грн	Вдосконалений варіант, грн
Комплект мідних шайб	200	200
Мийна рідина	—	400
Оплата праці	1250	1750
Загальні прямі витрати	1450	2350

4.5. Розрахунок додаткового доходу автосервісу

Різниця між витратами за вдосконаленим і базовим варіантом становить:

$$\Delta C = C_2 - C_1 \quad (4.7)$$

де ΔC — додаткова вартість послуги, грн;

C_2 — витрати за вдосконаленим варіантом, грн;

C_1 — витрати за базовим варіантом, грн.

$$\Delta C = 2350 - 1450 = 900 \text{ грн}$$

Отже, впровадження ультразвукового очищення збільшує вартість комплексного обслуговування одного автомобіля на 900 грн. Ця сума може

розглядатися як додаткова вартість послуги, яку клієнт сплачує за покращену якість ремонту.

Додатковий місячний дохід автосервісу визначається за формулою:

$$D_{\text{міс}} = N \cdot \Delta C \tag{4.8}$$

де $D_{\text{міс}}$ — додатковий місячний дохід, грн;

N — кількість автомобілів, які обслуговуються за місяць;

ΔC — додаткова вартість послуги, грн.

$$D_{\text{міс}} = 20 \cdot 900 = 18000 \text{ грн}$$

Таким чином, за умови обслуговування 20 автомобілів на місяць додатковий місячний дохід становить 18 000 грн.

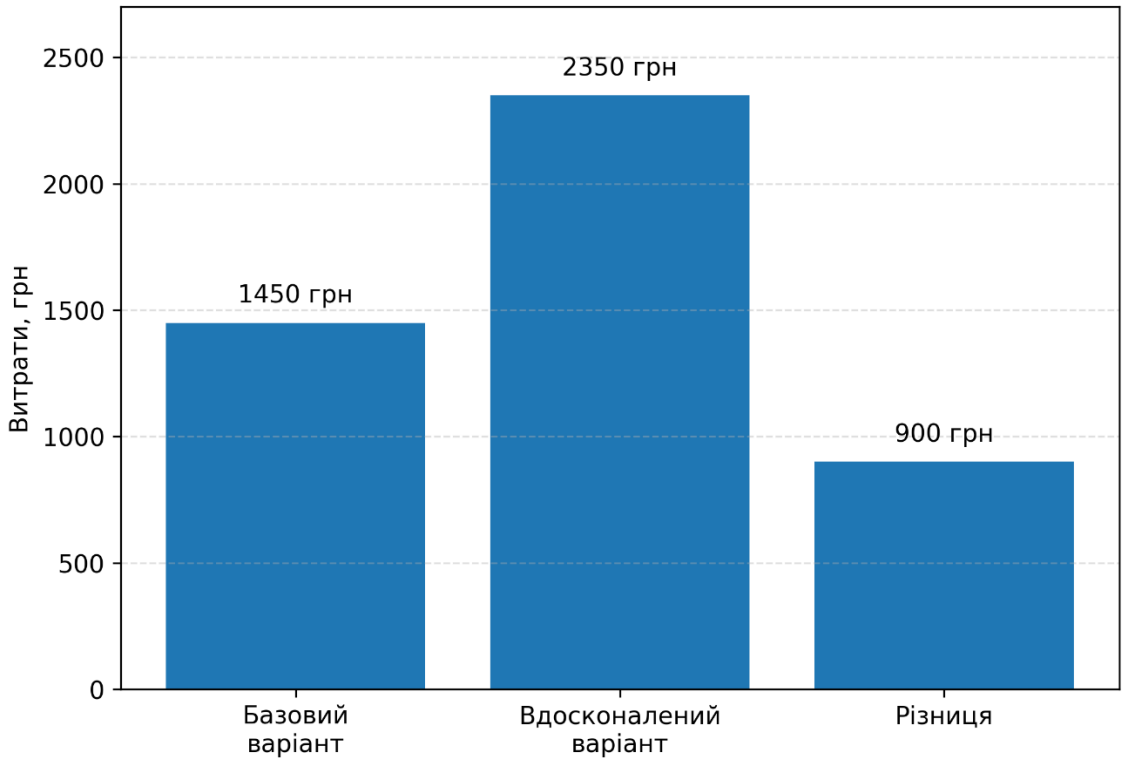


Рисунок 4.2 – Порівняння вартості обслуговування одного автомобіля

4.6. Економічне обґрунтування впровадження вдосконаленої операції

Упровадження ультразвукового очищення форсунок під час заміни мідних ущільнювальних шайб має комплексний економічний ефект. З одного боку, збільшується трудомісткість робіт і з’являються додаткові витрати на мийну рідину, електроенергію та обладнання. З іншого боку, автосервіс отримує

можливість надавати якіснішу послугу, підвищувати її вартість і швидко повертати вкладені кошти.

Термін окупності обладнання визначається за формулою:

$$T = C_{\text{інв}} / D_{\text{міс}} \tag{4.9}$$

де T — термін окупності, міс.;

$C_{\text{інв}}$ — сума початкових інвестицій, грн;

$D_{\text{міс}}$ — додатковий місячний дохід, грн.

Підставимо значення:

$$T = 25000/18000 = 1{,}39 \text{ міс}$$

Отже, термін окупності обладнання становить приблизно: $T \approx 1{,}4$ міс.

Це означає, що за умови стабільного попиту на послугу початкові вкладення можуть окупитися менш ніж за два місяці. Такий результат свідчить про високу економічну привабливість запропонованого вдосконалення.

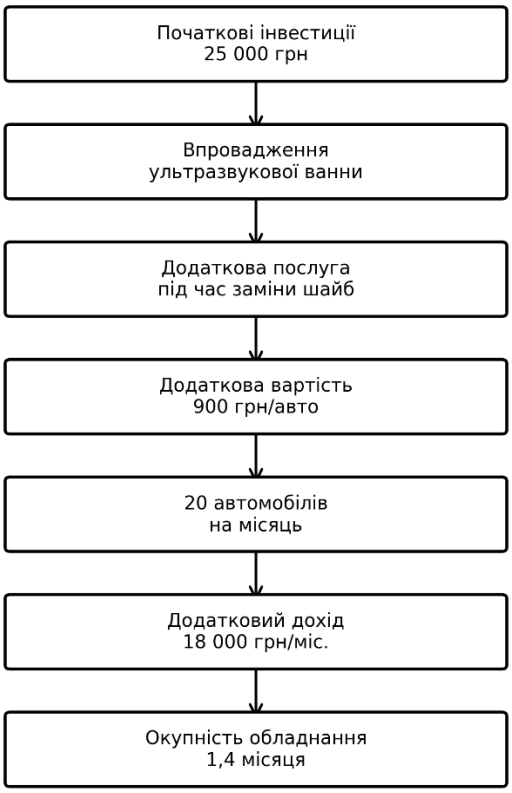


Рисунок 4.3 – Схема формування економічного ефекту від упровадження ультразвукового очищення

Крім прямого фінансового результату, вдосконалена операція створює додаткові переваги для сервісу. Чисті форсунки забезпечують кращу якість розпилення палива, стабільнішу роботу двигуна, меншу димність і нижчу ймовірність повторного утворення нагару. Це підвищує задоволеність клієнтів і зменшує кількість повторних звернень після ремонту.

4.7. Оцінка економії палива для клієнта

Важливою перевагою ультразвукового очищення є не лише дохід автосервісу, а й потенційна економія коштів для власника автомобіля. Якщо після очищення форсунок витрата палива зменшується хоча б на 0,5 л/100 км, то для автомобіля з місячним пробігом 2000 км економія палива становитиме:

$$Q_{\text{ек}} = \frac{L}{100} \cdot q \tag{4.10}$$

де $Q_{\text{ек}}$ — економія палива за місяць, л;

L — місячний пробіг автомобіля, км;

q — зменшення витрати палива, л/100 км.

$$Q_{\text{ек}} = 2000100 \cdot 0{,}5 = 10 \text{ л}$$

Грошова економія клієнта:

$$E_{\text{кл}} = Q_{\text{ек}} \cdot C_{\text{п}} \tag{4.11}$$

де $E_{\text{кл}}$ — економія коштів клієнта, грн;

$C_{\text{п}}$ — ціна дизельного палива, грн/л.

За ціни палива 55 грн/л:

$$E_{\text{кл}} = 10 \cdot 55 = 550 \text{ грн/міс}$$

Отже, клієнт може заощаджувати приблизно 550 грн на місяць лише за рахунок зниження витрати палива. Це підвищує привабливість послуги, оскільки додаткова оплата за очищення частково компенсується економією під час подальшої експлуатації автомобіля.

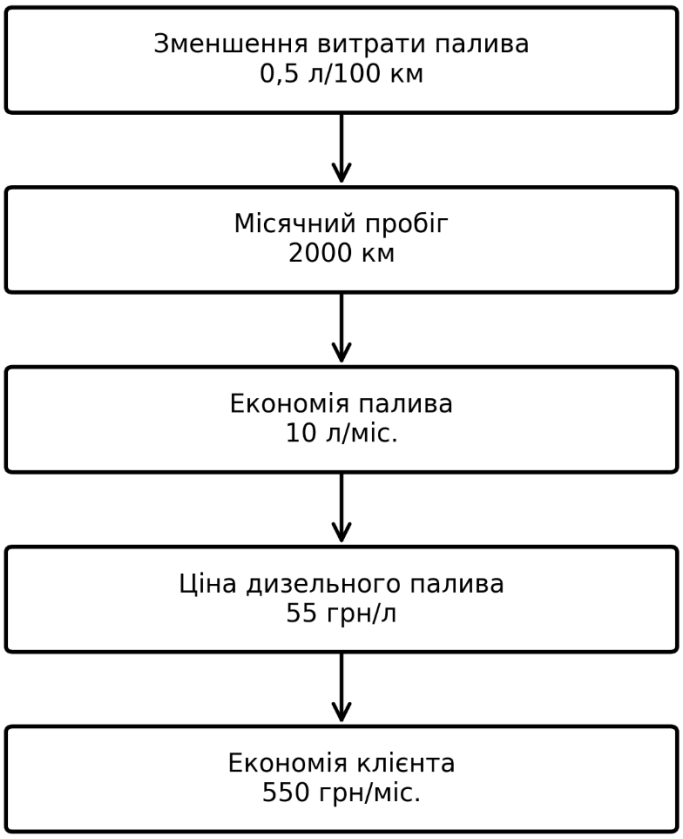


Рисунок 4.4 – Економічний ефект для клієнта

4.8. Аналіз непрямих економічних переваг

Крім прямих розрахункових показників, упровадження ультразвукового очищення форсунок має низку непрямих економічних переваг. Вони не завжди одразу виражаються у грошовій формі, однак суттєво впливають на стабільність роботи автосервісу та його конкурентні позиції.

До основних непрямих переваг належать:

1. Зменшення повторних звернень клієнтів.

Якісне очищення форсунок і правильна заміна шайб знижують ризик повторного прориву газів, підтікання палива або нерівномірної роботи двигуна.

2. Підвищення репутації автосервісу.

Клієнти краще оцінюють сервіс, якщо після ремонту автомобіль працює стабільніше, має меншу димність і нижчу витрату палива.

3. Розширення переліку послуг.

Ультразвукову ванну можна використовувати не лише для форсунок, а й для очищення дрібних деталей двигуна, елементів паливної апаратури та інших вузлів.

4. Зниження гарантійних витрат.

Якщо після стандартної заміни шайб виникає повторний дефект, сервіс може втрачати час і матеріали на переробку. Якісніше очищення зменшує ймовірність таких ситуацій.

5. Підвищення кваліфікації персоналу.

Використання сучасного обладнання сприяє професійному розвитку працівників і підвищує технологічний рівень підприємства.

Орієнтовну економію від зменшення повторних звернень можна визначити за формулою:

$$E_{\text{г}} = N \cdot P \cdot C_{\text{г}} \tag{4.12}$$

де $E_{\text{г}}$ — економія на гарантійних випадках, грн/міс.;

N — кількість обслуговуваних автомобілів за місяць;

P — імовірність зменшення повторних звернень;

$C_{\text{г}}$ — середня вартість одного гарантійного випадку, грн.

Якщо прийняти, що ультразвукове очищення знижує ризик повторного звернення на 5 %, а один гарантійний випадок коштує сервісу приблизно 1000 грн, тоді:

$$E_{\text{г}} = 20 \cdot 0{,}05 \cdot 1000 = 1000 \text{ грн/міс}$$

Отже, додаткова економія на зменшенні гарантійних випадків може становити приблизно 1000 грн на місяць.

4.9. Загальна оцінка економічної ефективності

Загальний місячний економічний результат для автосервісу можна визначити як суму додаткового доходу від послуги та орієнтовної економії на зменшенні гарантійних випадків:

$$E_{\text{заг}} = D_{\text{міс}} + E_{\text{г}} \tag{4.13}$$

де $E_{\text{заг}}$ — загальний місячний економічний ефект, грн;

$D_{\text{міс}}$ — додатковий дохід від послуги, грн;

$E_г$ — економія на гарантійних випадках, грн.

$$E_{заг} = 18000 + 1000 = 19000 \text{ грн/міс}$$

Уточнений термін окупності з урахуванням непрямої економії:

$$T_{уточ} = \frac{C_{інв}}{E_{заг}} \quad (4.14)$$

$$T_{уточ} = 25000/19000 = 1{,}32 \text{ міс}$$

Отже, з урахуванням зменшення повторних звернень термін окупності може скоротитися до 1,3 місяця.

Таблиця 4.3 – Підсумкові економічні показники впровадження вдосконаленої операції

Показник	Значення
Прямі витрати за базовим варіантом	1450 грн/авто
Прямі витрати за вдосконаленим варіантом	2350 грн/авто
Додаткова вартість послуги	900 грн/авто
Кількість автомобілів на місяць	20 авто
Додатковий місячний дохід	18 000 грн
Початкові інвестиції	25 000 грн
Орієнтовна економія на гарантійних випадках	1000 грн/міс.
Загальний місячний економічний ефект	19 000 грн/міс.
Термін окупності без урахування непрямих переваг	1,4 міс.
Термін окупності з урахуванням непрямих переваг	1,3 міс.
Орієнтовна економія клієнта на паливі	550 грн/міс.

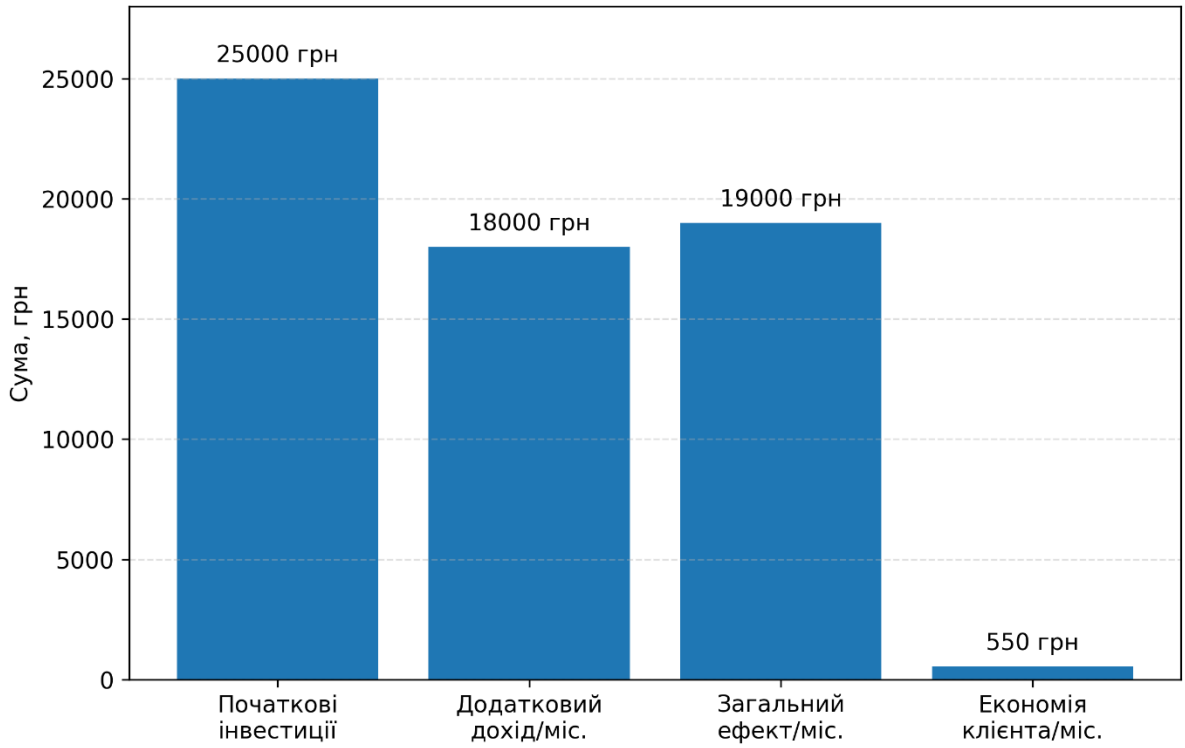


Рисунок 4.5 – Порівняння основних економічних показників

У результаті виконаних розрахунків установлено, що впровадження ультразвукового очищення форсунок під час заміни мідних ущільнювальних шайб є економічно доцільним для автосервісного підприємства. Базова операція без очищення має прямі витрати 1450 грн на один автомобіль, тоді як вдосконалений варіант із застосуванням ультразвукової ванни потребує 2350 грн. Різниця становить 900 грн, що може бути використано як додаткова вартість комплексної послуги.

За умови обслуговування 20 автомобілів на місяць додатковий місячний дохід сервісу становить 18 000 грн. Початкові інвестиції в обладнання та інструменти оцінено у 25 000 грн, тому термін окупності становить приблизно 1,4 місяця. З урахуванням зменшення повторних звернень і гарантійних випадків термін окупності може скоротитися до 1,3 місяця.

Для клієнта перевага вдосконаленої операції проявляється у стабільнішій роботі двигуна, зменшенні димності, покращенні розпилення палива та потенційній економії пального. За умови зменшення витрати палива на 0,5 л/100 км і місячного пробігу 2000 км економія може становити близько 550 грн на місяць.

Отже, запропоноване вдосконалення має подвійний позитивний ефект: для автосервісу воно забезпечує швидку окупність обладнання, додатковий прибуток і підвищення конкурентоспроможності, а для клієнта — якісніше обслуговування, кращу роботу дизельного двигуна та зниження експлуатаційних витрат.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто питання вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок дизельного двигуна з паливною системою Common Rail. Актуальність теми зумовлена тим, що сучасні дизельні системи живлення працюють під високим тиском, мають високоточні елементи та є дуже чутливими до якості палива, чистоти деталей і правильності виконання сервісних операцій.

У першому розділі було проаналізовано будову та принцип роботи акумуляторної паливної системи Common Rail, визначено основні елементи системи, зокрема паливний насос високого тиску, паливну рампу, електронний блок керування та форсунки. Встановлено, що саме форсунки є одним із найвідповідальніших вузлів системи, оскільки вони забезпечують точне дозування та якісне розпилення дизельного палива. Також було розглянуто типові несправності форсунок, серед яких найбільш поширеними є збільшена зворотна подача палива, засмічення розпилювача, порушення факела розпилення, підтікання форсунки та електричні несправності.

У конструкторсько-технологічному розділі було детально розглянуто особливості технічного обслуговування дизельної системи живлення. Особливу увагу приділено мідним ущільнювальним шайбам форсунок, які забезпечують герметичність між корпусом форсунки та посадковим місцем головки блока циліндрів. Встановлено, що повторне використання таких шайб після демонтажу форсунок є недопустимим, оскільки це може призвести до прориву газів, зниження компресії, утворення нагару, перегрівання форсунки та пошкодження посадкового місця.

Запропоноване вдосконалення полягає у поєднанні операції заміни мідних ущільнювальних шайб із ультразвуковим очищенням форсунок. Такий підхід дозволяє не лише відновити герметичність посадкового місця, а й видалити сажу, нагар, смолисті відкладення та інші забруднення з поверхні форсунок і зони розпилювача. У результаті підвищується якість технічного обслуговування,

зменшується ризик повторного забруднення та покращується стабільність роботи паливної апаратури.

Експериментальна частина підтвердила ефективність запропонованого рішення. Після ультразвукового очищення середня миттєва витрата палива на холостому ходу зменшилася з 0,90 до 0,80 л/год, тобто приблизно на 11,1 %. Крім того, середнє абсолютне відхилення короткострокових корекцій паливоподачі зменшилося з 2,83 % до 0,43 %, що свідчить про більш рівномірну роботу форсунок після очищення. Отримані результати підтверджують, що ультразвукове очищення позитивно впливає на якість розпилення палива, стабільність роботи двигуна та економічність його експлуатації.

У розділі охорони праці було визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час обслуговування форсунок Common Rail. До них належать високий тиск палива, контакт із дизельним паливом і мийними речовинами, використання електрообладнання, пожежонебезпечні матеріали та ризик травмування під час демонтажу деталей. Запропоновано заходи безпеки: використання засобів індивідуального захисту, організація вентиляції, застосування захисних екранів, підтримання чистоти робочого місця, дотримання правил електробезпеки та пожежної безпеки.

В економічній частині було обґрунтовано доцільність упровадження ультразвукового очищення форсунок у процес заміни мідних ущільнювальних шайб. Встановлено, що прямі витрати за базовим варіантом становлять 1450 грн на один автомобіль, а за вдосконаленим варіантом — 2350 грн. Додаткова вартість послуги становить 900 грн на автомобіль. За умови обслуговування 20 автомобілів на місяць додатковий місячний дохід автосервісу становить 18 000 грн, а термін окупності обладнання — приблизно 1,4 місяця. З урахуванням зменшення повторних звернень і гарантійних випадків термін окупності може скоротитися до 1,3 місяця.

Отже, у роботі доведено, що впровадження ультразвукового очищення форсунок під час заміни мідних ущільнювальних шайб є технічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням. Запропонована технологія дозволяє підвищити

якість технічного обслуговування дизельної системи Common Rail, покращити експлуатаційні показники двигуна, знизити витрату палива, зменшити ризик повторних несправностей і підвищити конкурентоспроможність автосервісного підприємства. Робота присвячена саме темі вдосконалення процесу технічного обслуговування форсунок дизеля з паливною системою Common Rail, що підтверджується змістом завдання та структурою дипломного проєкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.м. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник. / Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.
2. Denton T. Advanced Automotive Fault Diagnosis. 5th ed. / New York: Routledge, 2021. 412 pp.
3. Halderman J.D. Automotive technology. Boston: Prentice Hall, 2011. Electonic Book.
4. Kiencke U., Nielsen L. Automotive Control Systems. 2nd ed. Springer-Verlag, 2005. 512 pp.
5. Reif K. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer, 2014. 277 pp.
6. Robert Bosch GmbH. Bosch Automotive Electrics. 5th ed. / Plochingen: Springer Vieweg, 2007. 530 pp.
7. Сирота В.І. Основи конструкції автомобілів. / Київ: Арістей, 2006. 280 с.
8. Sean B. Modern Diesel Technology: Diesel Engines. / Delmar: Cengage Learning, 2010. 339 pp.
9. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є. Автомобільні двигуни. / Київ: Арістей, 2005. 476 с.
10. Tschöke H., Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines. Springer, 2010. 636 pp.
11. Delphi. COMMON RAIL MANUAL. PRINCIPLES OF OPERATION. Delphi France SAS, 2007. 83 pp.
12. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.

13. McCord K. Automotive Diagnostic Systems: Understanding OBD I and OBD II. CarTech Inc, 2011. 144 pp.

14. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. / Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440 с.

15. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. / Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.

16. Diesel Fuel-Injection System Common Rail: Bosch Technical Instruction. Robert Bosch GmbH, 2005. 94 pp.

17. Best practice advice for servicing Common Rail injectors [Електронний ресурс] / Delphi Technologies: [сайт]. URL: https:// www.delphiautoparts.com/resource-center/article/best-practice-advice-for-servicing-common-rail-injectors.

18. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування" №ДБН В.2.5-67:2013 [Електронний ресурс] URL: https://e-construction.gov.ua/ laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2.

19. Городецький І.М., Пістун І.П., Березовецький А.П. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник. / Львів: Тріада плюс, 2009. 320 с.

20. Вентс ВУТ 3500 ПБ ЕС - ПВУ комерційні протиточні - VENTS Україна [Електронний ресурс] / VENTS Україна: [сайт]. URL: https://vents.ua/ product/vut-3500-pb-ec/.