

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Проект ділянки ремонтного цеху з відновлення
вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser
з дослідженням вихлопних газів**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-62
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Кузьменюк О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Тесля В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль П'єнтак М.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Буховець В.М..
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра Автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Кузьменюк Олександр Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект дільниці ремонтного цеху з відновлення
вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser
з дослідженням вихлопних газів

Керівник роботи Тесля Володимир Олегович, к.т.н,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Марка автомобіля Toyota Land Cruiser, базовий технологічний
процес відновлення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser

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

Загально-технічний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ.

Науково-дослідний розділ. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Аналіз технологій. Ремонтне креслення. Карти ескізів.

Приспосіблення для кріплення деталі.

План дільниці ремонтного цеху. Науково дослідна частина.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорони праці</i>	<i>к.т.н., доцент Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викладач Стручок В.С.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загально-технічний розділ</i>	<i>17.11.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>24.11.2025</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>28.11.2025</i>	
4	<i>Науково-дослідний розділ</i>	<i>26.11.2025</i>	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуація</i>	<i>02.12.2025</i>	
6	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>09.12.2025</i>	
7	<i>Захист дипломної роботи</i>	<i>26.12.2025</i>	

Студент

(підпис)

Олександр КУЗЬМЕНЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ТЕСЛЯ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Проект дільниці ремонтного цеху з відновлення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser з дослідженням вихлопних газів.

Об'єкт дослідження це процес технічного обслуговування та відновлення елементів випускної системи автомобілів класу SUV (на прикладі Toyota Land Cruiser).

Предмет дослідження – технологія ремонту вузлів вихлопної системи, показники токсичності відпрацьованих газів, організація роботи спеціалізованої дільниці.

Мета роботи – проектування дільниці з відновлення вихлопних систем, обґрунтування вибору діагностичного обладнання та проведення наукового аналізу складу вихлопних газів для оцінки якості проведених ремонтних робіт.

Методи дослідження такі як аналітичне проектування виробничих потужностей, методи інженерного розрахунку площ та обладнання, експериментальне вимірювання концентрації шкідливих речовин (CO, CH, NOx) за допомогою газоаналізаторів.

Отримані результати:

Розроблено планувальне рішення дільниці. Підібрано комплект сучасного зварювального, гнучкого та діагностичного обладнання.

Доведено, що комплексне відновлення вихлопної системи дозволяє знизити викиди шкідливих речовин до рівня стандартів Euro-5/Euro-6.

Розраховано економічну ефективність впровадження дільниці.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Вихлопна система автомобіля Toyota Land Cruiser та її призначення	9
1.2 Аналіз умов експлуатації та характерних несправностей вихлопної системи	11
1.3 Основні способи та методи відновлення елементів вихлопної системи ...	13
1.4 Аналіз методів контролю технічного стану та токсичності вихлопних газів	16
1.5 Висновки до першого розділу	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Технологічний процес відновлення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser	20
2.2 Організація робочих місць дільниці ремонтного цеху	23
2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту для відновлення вихлопної системи	24
2.4 Визначення основних технологічних параметрів ремонтних робіт	27
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	28
3.1 Обґрунтування конструкції пристосування або стенда для ремонту вихлопної системи	28
3.2 Опис роботи та принцип дії пристосування	30
3.3 Розрахунок навантажень що виникають під час монтажу та відновлення	32
3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів пристосування	34
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	40
4.1 Теоретичні основи утворення вихлопних газів та їх токсичності	40
4.2 Дослідження показників вихлопних газів до та після відновлення вихлопної системи	41
4.3 Аналіз результатів досліджень та оцінка ефективності відновлення	47

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
5.1 Основні положення про охорону праці	49
5.2 небезпечні та шкідливі фактори під час зварювальних та діагностичних робіт	50
5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища	52
5.4 Розрахунки контуру заземлення	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний автомобільний парк України характеризується значною часткою позашляховиків, серед яких Toyota Land Cruiser займає лідуючі позиції завдяки своїй надійності та потужності. Проте експлуатація таких автомобілів у складних дорожніх умовах та використання палива різної якості призводять до прискореного зносу вихлопної системи: корозії магістралей, прогорання глушників та виходу з ладу вартісних каталітичних нейтралізаторів.

Невідповідність вихлопних газів екологічним нормам не лише шкодить довкіллю, а й призводить до некоректної роботи двигуна через помилки датчиків кисню (лямбда-зондів). Створення спеціалізованої дільниці, яка здатна професійно відновлювати складну геометрію випуску Toyota Land Cruiser та проводити точну діагностику газів, є актуальним завданням для сучасного автосервісу.

Метою роботи є розробка проекту дільниці та дослідження впливу технічного стану системи випуску на екологічні показники автомобіля.

Для досягнення мети поставлено такі завдання, проаналізувати конструктивні особливості вихлопної системи Toyota Land Cruiser.

Розрахувати виробничу програму та необхідну кількість робітників для дільниці. Вибрати оптимальне технологічне обладнання (зварювальні напівавтомати, трубогиби, газоаналізатори). Провести експериментальне дослідження складу вихлопних газів до та після ремонту.

Виконати розрахунки з охорони праці та економічного обґрунтування проекту.

Об'єкт дослідження – процеси відновлення працездатності вихлопної системи та методи контролю складу відпрацьованих газів.

Предмет дослідження – технологічні параметри ремонту та показники концентрації токсичних компонентів у викидах двигунів великого об'єму.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження спроектованої ділянки на базі існуючих СТО для підвищення якості обслуговування автомобілів та забезпечення їх відповідності екологічним стандартам.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вихлопна система автомобіля Toyota Land Cruiser та її призначення

Вихлопна система автомобіля Toyota Land Cruiser є важливим функціональним елементом силової установки, який забезпечує відведення відпрацьованих газів від двигуна в навколишнє середовище. Її робота безпосередньо впливає на екологічні показники автомобіля, рівень шуму, а також на стабільність роботи двигуна в різних режимах навантаження. Для автомобілів цього класу характерна підвищена увага до надійності та ресурсу елементів вихлопної системи, оскільки вони часто експлуатуються в складних дорожніх умовах.

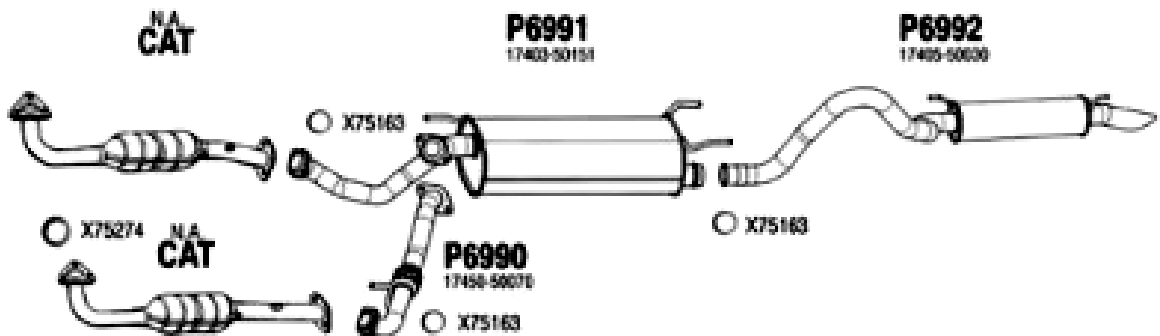


Рисунок 1.1 – Занальний вигляд автомобіля Toyota Land Cruiser

До складу вихлопної системи входять випускний колектор, приймальна труба, каталізатор, глушник, додаткові резонатори та з'єднувальні елементи. У сучасних модифікаціях Toyota Land Cruiser також застосовуються датчики кисню та елементи контролю токсичності вихлопних газів. Конструкція системи розрахована на роботу при високих температурах і змінних механічних навантаженнях, що зумовлює особливі вимоги до матеріалів і способів з'єднання.

Основним призначенням вихлопної системи є зниження токсичності відпрацьованих газів та рівня шуму, що виникає під час роботи двигуна.

Каталітичний нейтралізатор забезпечує хімічне перетворення шкідливих компонентів вихлопу, а глушник і резонатори зменшують акустичні коливання. У результаті забезпечується відповідність автомобіля екологічним і санітарним нормам.

Вихлопна система автомобіля

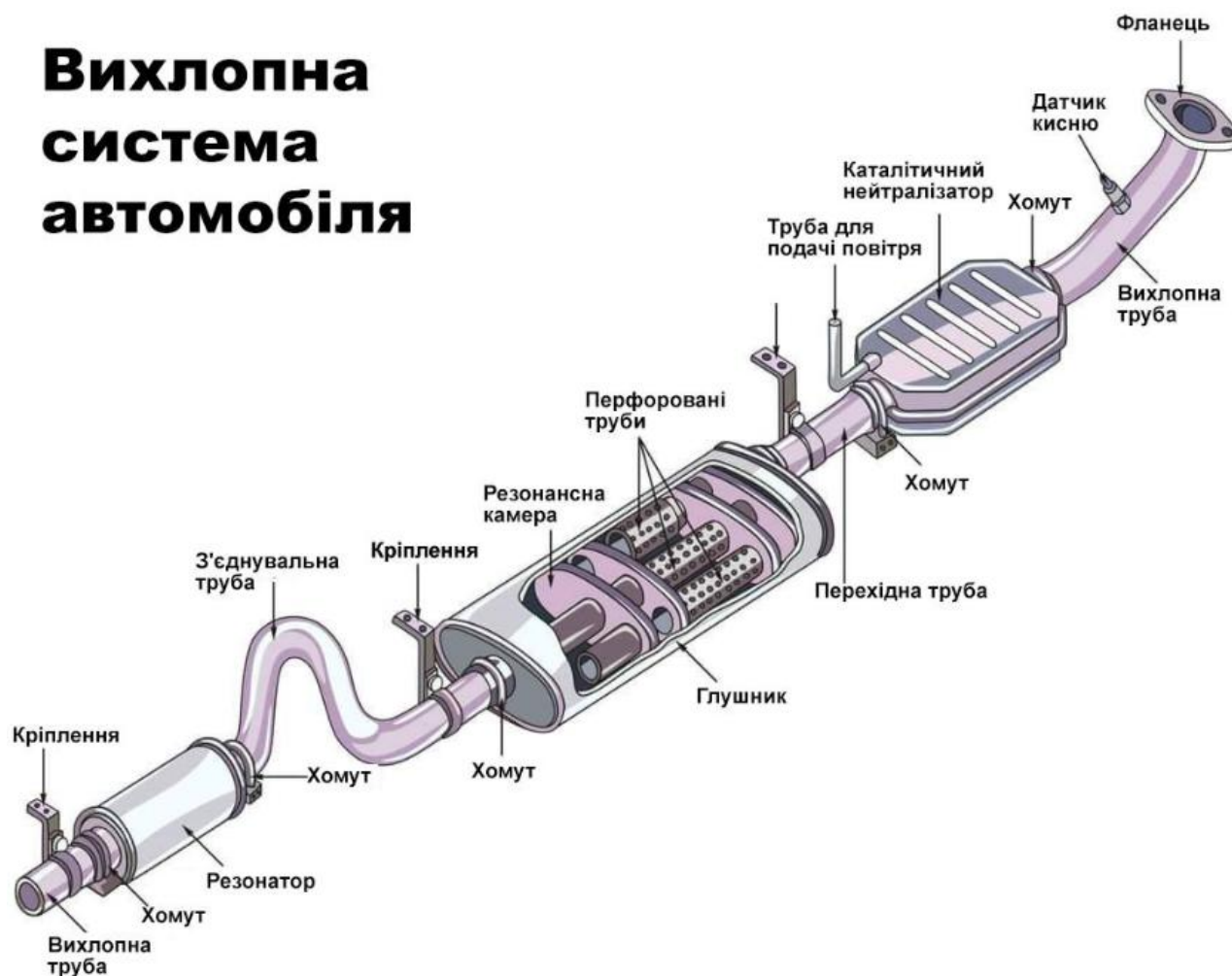


Рисунок 1.2 – Загальна будова вихлопної системи

Важливою функцією вихлопної системи є також формування оптимального протитиску для двигуна. Неправильно підібрана або пошкоджена система може призводити до втрати потужності, підвищеної витрати пального та нестабільної роботи двигуна. Для потужних двигунів, які встановлюються на Toyota Land Cruiser, цей аспект має особливе значення.

Менш очевидною, але важливою функцією вихлопної системи є її вплив на тепловий режим моторного відсіку. Неправильне відведення тепла або порушення герметичності може призводити до локального перегріву окремих

вузлів, що знижує їх ресурс. Саме тому стан вихлопної системи опосередковано впливає на довговічність суміжних агрегатів.

Крім того, конструкція вихлопної системи Toyota Land Cruiser враховує умови експлуатації поза асфальтованими дорогами. Підвищений кліренс і особливе розташування елементів зменшують ризик механічних пошкоджень, але водночас ускладнюють доступ під час ремонту. Це безпосередньо впливає на технологію відновлення та вимоги до ремонтної ділянки.

1.2 Аналіз умов експлуатації та характерних несправностей вихлопної системи

Автомобілі Toyota Land Cruiser часто експлуатуються в умовах, які суттєво відрізняються від міського режиму руху. До них належать бездоріжжя, підвищена вологість, перепади температур та тривала робота двигуна під навантаженням. У таких умовах елементи вихлопної системи зазнають інтенсивного теплового і механічного впливу.

Однією з найпоширеніших несправностей є корозійне ураження металевих елементів системи. Постійний контакт з вологою, агресивними продуктами згоряння та дорожніми реагентами прискорює руйнування труб і глушників. Особливо вразливими є зони зварних швів і місця з'єднання окремих секцій.

Іншим характерним видом пошкоджень є прогар елементів вихлопної системи. Він виникає внаслідок локального перегріву або порушення режимів роботи двигуна. Прогар призводить до втрати герметичності, збільшення шуму та погіршення екологічних показників автомобіля.

Механічні пошкодження також є типовими для даної моделі. Удар об каміння або нерівності дороги може спричинити деформацію труб, каталізатора або глушника. Такі пошкодження не завжди помітні одразу, але з часом вони впливають на загальну працездатність системи.

Менш очевидною несправністю є поступове погіршення пропускної здатності каталізатора або сажового фільтра. Це не завжди супроводжується

явними ознаками, але призводить до підвищення проти тиску та зниження ефективності двигуна. Виявлення таких дефектів потребує застосування діагностичного обладнання.

Також слід враховувати, що характер несправностей напряду залежить від стилю експлуатації автомобіля. Часті короткі поїздки, використання неякісного пального та несвоєчасне технічне обслуговування значно підвищують навантаження на вихлопну систему. Це створює додаткові вимоги до організації процесу її відновлення.

Для повноцінного функціонування ділянки з відновлення вихлопних систем Land Cruiser проект має передбачати.

Таблиця 1.1 – Необхідне обладнання для ділянки

Назва обладнання	Призначення	Характеристика
Трубогиб гідравлічний	Формування магістралей	З набором пуансонів 50-76 мм
Зварювальний напівавтомат	З'єднання елементів	MIG/MAG з імпульсним режимом
Газоаналізатор 4-компонентний	Контроль викидів	0-й клас точності
Стенд для промивки	Очищення сажових фільтрів	З функцією сушіння гарячим повітрям
Витяжна система	Видалення газів та диму	Консольно-поворотний механізм

Розрахунок опору системи. Важливим науковим аспектом є розрахунок аеродинамічного опору після відновлення. Надмірний опір призводить до перегріву турбіни (у дизельних TLC) та втрати потужності. Втрата тиску в системі випуску ΔP розраховується за формулою

$$\Delta P = \left(\sum \zeta_i + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

де ζ_i – коефіцієнти місцевих опорів (коліна, резонатори, каталізатор);

λ – коефіцієнт тертя по довжині труби;

L, D – довжина та діаметр трубопроводу;

ρ – густина відпрацьованих газів;

v – швидкість потоку газів.

Для Toyota Land Cruiser після відновлення значення ΔP на холостому ходу не повинно перевищувати 10-15 кПа.

Екологічна та технічна безпека дільниці. Оскільки робота пов'язана з виділенням зварювальних аерозолів та залишків продуктів згоряння, проект дільниці обов'язково повинен містити. Місцеву витяжну вентиляцію розрахункова потужність вентилятора має забезпечувати швидкість повітря у зоні зварювання не менше 0.5 м/с.

1.3 Основні способи та методи відновлення елементів вихлопної системи

Відновлення вихлопної системи може здійснюватися різними способами залежно від характеру та ступеня пошкодження. Найпростішим методом є локальний ремонт, який передбачає зварювання тріщин або заміну окремих ділянок труб. Такий підхід дозволяє швидко відновити герметичність системи.

Для більш складних випадків застосовується часткова заміна елементів. Наприклад, заміна глушника або резонатора у зборі є доцільною при значному корозійному зносі. Цей метод забезпечує високу надійність, але потребує точного підбору комплектуючих.

Окрему групу становлять методи відновлення каталізаторів і сажових фільтрів. У деяких випадках можливе їх очищення або регенерація, що

дозволяє відновити пропускну здатність без повної заміни. Такі методи є технологічно складнішими і потребують спеціального обладнання.

Зварювальні роботи займають важливе місце в процесі відновлення вихлопної системи. Використовуються різні види зварювання залежно від матеріалу елементів. Якість зварного з'єднання безпосередньо впливає на ресурс відновленої системи.

Менш очевидним аспектом є вплив геометричної точності після ремонту на роботу всієї системи. Навіть незначні перекоси можуть створювати додаткові напруження або змінювати розподіл потоків газів. Це знижує ефективність ремонту в довгостроковій перспективі.

Також важливо враховувати економічну доцільність обраного методу. У ряді випадків комбінування часткового відновлення та заміни окремих вузлів дозволяє досягти оптимального співвідношення вартості і ресурсу. Саме ці аспекти мають бути враховані при проєктуванні ремонтної ділянки.

1. Зварювальні методи відновлення

Зварювання є основним способом усунення тріщин, прогарів та заміни окремих сегментів труб. Зварювання (напівавтомат) найпоширеніший метод на СТО. Використовується для з'єднання труб, приварювання фланців та латання корпусів глушників. Для Toyota Land Cruiser рекомендується використання дроту з нержавіючої сталі в середовищі аргону. Зварювання (аргонодугове) забезпечує найвищу якість шва та герметичність. Це ідеальний метод для ремонту випускних колекторів та роботи з тонкостінними елементами тюнінгованих систем.

2. Метод заміни компонентів (модульний ремонт)

Оскільки деякі вузли (наприклад, основний глушник) мають складну внутрішню структуру, їх відновлення недоцільне. Заміна гофр (віброкомпенсаторів) гофри є найслабшою ланкою. Метод відновлення полягає у вирізанні старої гофри та вварюванні нової тришарової посиленої моделі.

Інсталяція ремонтних вставок (стронгерів): Замість прогорілих резонаторів встановлюються полум'ягасники (стронгери), що знижують температуру та швидкість газів, захищаючи наступні компоненти.

3. Відновлення пропускної здатності каталізаторів

Для Toyota Land Cruiser з двигунами 1VD-FTV (дизель) або бензиновими V8, стан фільтруючих елементів є критичним. Хімічне очищення промивання сажових фільтрів на спеціальних стендах під тиском із використанням реагентів. Це дозволяє відновити ресурс фільтра на 90-95%.

Встановлення ремонтних блоків: Замість заміни всього вузла каталізатора, в існуючий корпус вварюється новий універсальний металевий або керамічний картридж.

4. Слюсарно-механічне відновлення

Цей метод застосовується для відновлення геометрії та герметичності з'єднань. Трубогибне відновлення використання гідравлічних трубогібів (бажано з дорном) для виготовлення точних копій пошкоджених ділянок магістралі без звуження прохідного перерізу. Відновлення фланцевих з'єднань шліфування площин фланців для забезпечення щільного прилягання прокладок.

5. Захисні методи (антикорозійна обробка)

Після проведення зварювальних робіт шви стають вразливими до корозії. Термостійке фарбування покриття відновлених ділянок емалями на основі силікону, що витримують температуру до 800°C. Гальванізація (напилення цинку) нанесення захисного шару на зварні шви для запобігання передчасному руйнуванню.

Таблиця 1.2 – Порівняння ефективності методів відновлення

Метод	Термін служби	Вартість	Складність виконання
Заміна на оригінал	100%	100%	Низька
Зварювання	30-40%	15-20%	Середня
Заміна гофр/вставок	70-80%	25-30%	Середня
TIG-відновлення	90%	40-50%	Висока

1.4 Аналіз методів контролю технічного стану та токсичності вихлопних газів

Контроль технічного стану вихлопної системи є обов'язковим етапом як до, так і після виконання ремонтних робіт. Основною метою такого контролю є перевірка герметичності, працездатності елементів та відповідності екологічним нормам. Для цього застосовуються як візуальні, так і інструментальні методи.

Візуальний огляд дозволяє виявити очевидні дефекти, такі як тріщини, сліди корозії або механічні пошкодження. Однак цей метод має обмежену інформативність і не дозволяє оцінити внутрішній стан елементів системи. Тому він використовується лише як попередній етап.

Інструментальні методи включають застосування газоаналізаторів для вимірювання складу вихлопних газів. Визначаються концентрації оксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту. Отримані значення порівнюються з нормативними показниками.

Важливу роль відіграє контроль протитиску у вихлопній системі. Підвищений протитиск може свідчити про засмічення або часткове руйнування внутрішніх елементів. Цей параметр часто недооцінюють, хоча він безпосередньо впливає на ефективність роботи двигуна.

Неочевидним, але важливим методом є аналіз змін показників до і після ремонту. Саме порівняльний підхід дозволяє об'єктивно оцінити ефективність відновлення. Він формує основу для науково-дослідного розділу роботи.

Аналіз методів контролю технічного стану та токсичності вихлопних газів. Ефективність роботи вихлопної системи Toyota Land Cruiser безпосередньо впливає на екологічні показники та потужність двигуна. Контроль технічного стану проводиться за допомогою трьох основних груп методів.

Органолептичний та візуальний контроль. Це первинний етап діагностики на дільниці, що дозволяє виявити явні дефекти. Візуальний огляд виявлення прогарів, тріщин, сильної корозії та механічних пошкоджень

корпусів глушників і резонаторів. Акустичний метод визначення місць розгерметизації за характерним звуком витoku газів. Перевірка кріплень на оцінку стану підвісів, подушок та фланцевих з'єднань.

Інструментальні методи контролю токсичності. Основним методом оцінки екологічності є пряме вимірювання складу відпрацьованих газів.

Багатокомпонентний газоаналіз. Для бензинових двигунів (4.6L або 5.7L V8) використовують 4-х або 5-ти компонентні газоаналізатори, що вимірюють. CO (оксид вуглецю) вказує на якість сумішоутворення. Високий рівень свідчить про збагачену суміш або несправність каталізатора. CH (вуглеводні) залишки незгорілого палива. Високі показники вказують на проблеми із запалюванням або знос циліндро-поршневої групи. CO₂ (діоксид вуглецю) показник ефективності згоряння. Максимальне значення (14-16%) свідчить про ідеальну роботу двигуна. O₂ (кисень) дозволяє визначити герметичність системи випуску та правильність роботи лямбда-регулювання. NO_x (оксиди азоту): вимірюються в сучасних системах для перевірки ефективності селективної каталізації.

Опациметрія (для дизельних двигунів 4.5L V8). Контролюється рівень сажі (димність) за допомогою приладів, що працюють на принципі поглинання світлового потоку частинками сажі.

Комп'ютерна діагностика. Сучасні Toyota Land Cruiser обладнані розгалуженою системою самодіагностики, яка дозволяє контролювати стан вихлопної системи опосередковано.

Моніторинг каталізатора порівняння сигналів першого (до каталізатора) та другого датчиків кисню. Якщо амплітуди сигналів стають однаковими – каталізатор втратив свою ефективність.

Корекція паливоподачі (Fuel Trim) дозволяє побачити, як ЕБУ компенсує підсос повітря через тріщини у випускному колекторі.

Контроль протитиску (Backpressure) вимірювання тиску перед каталізатором або сажовим фільтром. Перевищення норми свідчить про оплавлення або забитість елемента.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів

Метод	Переваги	Недоліки
Газоаналіз	Висока точність, пряма відповідність ДСТУ/Євро	Потребує дорогого щорічно повіреного обладнання
OBD-діагностика	Швидкість, не потребує втручання в конструкцію	Не показує фізичний стан металу, лише ефективність процесів
Візуальний контроль	Безкоштовно, виявляє механічні пошкодження	Суб'єктивність, неможливість оцінити приховані дефекти

Для забезпечення повного циклу робіт на дільниці Toyota Land Cruiser необхідно передбачити газоаналізатор 0-го класу точності (Bosch BEA), діагностичний сканер (Toyota Techstream) для скидання помилок після заміни компонентів. Манометр для вимірювання протитиску у вихлопній системі.

Окрім того слід враховувати, що точність вимірювань значною мірою залежить від умов проведення контролю. Температура двигуна, режим роботи та якість пального можуть впливати на результати. Тому методика контролю має бути чітко регламентована.

1.5 Висновки до першого розділу

У загально-технічному розділі було розглянуто конструктивні особливості та призначення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser. Встановлено, що ця система виконує не лише екологічну та акустичну функції, але й впливає на загальну ефективність роботи двигуна.

Аналіз умов експлуатації показав, що вихлопна система зазнає значних теплових, механічних і корозійних навантажень. Це зумовлює характерні несправності, серед яких домінують корозія, прогар та механічні деформації. Такі дефекти потребують комплексного підходу до відновлення.

Розглянуті способи та методи відновлення дозволяють забезпечити працездатність вихлопної системи з урахуванням економічної доцільності.

Застосування сучасних зварювальних технологій і методів регенерації дає можливість продовжити ресурс елементів системи.

Методи контролю технічного стану і токсичності вихлопних газів є ключовими для оцінки якості виконаного ремонту. Вони дозволяють не лише виявити дефекти, але й кількісно оцінити ефективність відновлення.

Важливим також є те, що результати контролю формують основу для подальших технологічних і науково-дослідних рішень. Саме на цьому етапі визначаються вимоги до обладнання та організації ремонтної дільниці.

Отже, матеріали першого розділу створюють логічну та технічну базу для подальшого проєктування технологічного процесу, розробки конструктивних рішень і проведення досліджень вихлопних газів у наступних розділах роботи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технологічний процес відновлення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser

Технологічний процес відновлення вихлопної системи автомобіля Toyota Land Cruiser являє собою послідовність взаємопов'язаних операцій, спрямованих на відновлення її функціональних і екологічних характеристик. Цей процес формується з урахуванням конструктивних особливостей автомобіля, умов його експлуатації та типових дефектів, які виникають у процесі роботи.

Початковим етапом є приймання автомобіля та первинна технічна оцінка стану вихлопної системи. На цьому етапі здійснюється зовнішній огляд, прослуховування роботи двигуна та фіксація характерних ознак несправностей. Такий підхід можна порівняти з попередньою діагностикою в медицині, коли за непрямими симптомами формується загальна картина стану системи.

Наступним кроком є демонтаж окремих елементів вихлопної системи або її часткове розбирання. Демонтаж виконується з урахуванням доступності вузлів і необхідності збереження справних елементів. Важливо забезпечити мінімальний вплив на суміжні агрегати, оскільки вихлопна система тісно інтегрована з підвіскою та силовою частиною автомобіля.

Після демонтажу проводиться детальне обстеження елементів, яке включає перевірку геометрії, стану металу та зварних з'єднань. На цьому етапі формується остаточне рішення щодо доцільності відновлення або заміни окремих частин. Такий підхід дозволяє уникнути необґрунтованих ремонтів і забезпечити прогнозований ресурс системи після відновлення.

Безпосередні ремонтні операції включають зварювальні роботи, відновлення герметичності та заміну зношених ділянок. Вибір технології зварювання визначається товщиною металу і його складом. У цьому контексті

вихлопну систему можна розглядати як тонкостінну конструкцію, де точність і контроль теплового впливу мають вирішальне значення.

Технологічний процес на проєктованій дільниці будується за модульним принципом, що дозволяє поєднувати відновлювальні роботи зі встановленням нових компонентів.

Початкова діагностика та підготовка перш ніж розпочати демонтаж, проводиться комплексна оцінка стану системи перевірка герметичності використання димогенератора для виявлення мікротріщин у випускних колекторах (типова проблема двигунів 4.6L/5.7L). Вимірювання протитиску через отвори для лямбда-зондів. Показник понад 0.15–0.20 бар на 3000 об/хв свідчить про критичне забиття каталізаторів.

Завершальним етапом технологічного процесу є монтаж відновленої системи та проведення контрольних вимірювань. Перевіряється герметичність з'єднань, рівень шуму та показники вихлопних газів. Саме на цьому етапі оцінюється якість виконаних робіт і відповідність результатів встановленим вимогам.

Важливим аспектом технологічного процесу є його повторюваність і стандартизація. Чітко регламентована послідовність операцій зменшує вплив людського фактора і підвищує стабільність результатів. Це особливо актуально при проєктуванні дільниці ремонтного цеху, орієнтованої на серійне обслуговування автомобілів.

Демонтаж елементів системи особливістю Land Cruiser є сильна корозія фланцевих з'єднань через експлуатацію в агресивних середовищах.

Застосування індукційного нагрівача для відкручування закислих болтів. Демонтаж проводиться секційно: приймальні труби, центральна частина з резонатором, задня частина з глушником.

Відновлювальні та складальні операції це основна частина техпроцесу, що включає декілька ключових операцій. Заміна віброкомпенсаторів Для TLC 200 використовують посилені гофри типу Innerbraid або Interlock (з внутрішнім захисним шаром). Вирізання старої гофри за допомогою стрічкової пилки.

Обробка країв труби шліфувальною машиною. Фіксація нової гофри на зварювальному столі (стапелі) для збереження осової геометрії. Гнуття труб та формування магістралей. При повному відновленні трактів використовується бездорновий або дорновий метод гнуття. Труба з нержавіючої сталі AISI 409 (феритна) діаметром 76 мм (для турбодизеля 4.5L). Зварювальний процес виконується напівавтоматом в захисному газі (82% Ar + 18% CO₂).

Висота катета шва повинна становити $h = 3 \dots 5$ мм залежно від товщини стінки.

Розрахунок трудомісткості техпроцесу для проектування ділянки необхідно визначити повну трудомісткість відновлення системи ($T_{\text{заг}}$)

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n (t_{\text{осн}} + t_{\text{доп}}) \cdot K$$

де $t_{\text{осн}}$ – основний час на виконання операції (демонтаж, зварювання, гнуття);

$t_{\text{доп}}$ – допоміжний час (підготовчо-заклучні роботи);

K – коефіцієнт, що враховує умови праці (для Toyota Land Cruiser зазвичай $K = 1.15$ через масивність конструкції).

Норми часу для діагностики 0.5 люд.-год. Заміна двох гофр зі зварюванням становить 2.5 люд.-год. Заміна каталізаторів на універсальні блоки 4.0 люд.-год.

Після встановлення системи на автомобіль відбувається перевірка на відсутність сторонніх звуків та вібрацій. Проводиться повторне вимірювання складу вихлопних газів (згідно з методикою з 1-го розділу).

Комп'ютерна адаптація скидання паливної системи (Fuel Trim) та перевірка роботи датчиків кисню через сканер Toyota Techstream.

Запропонований технологічний процес дозволяє не просто усунути пошкодження, а повністю відновити пропускну здатність та екологічні характеристики автомобіля до заводських параметрів. Використання

нержавіючих матеріалів та аргонодугового зварювання гарантує термін експлуатації відновленої системи не менше 5 років.

2.2 Організація робочих місць дільниці ремонтного цеху

Організація робочих місць дільниці ремонтного цеху є одним з ключових факторів ефективності технологічного процесу. Вона визначає не лише зручність виконання робіт, але й рівень безпеки, продуктивність праці та якість кінцевого результату. У цьому сенсі дільниця виступає як цілісна система, де кожен елемент має своє функціональне призначення.

Робочі місця формуються з урахуванням послідовності виконання операцій. Зона діагностики, зона демонтажу, зона зварювальних робіт та зона контролю результатів повинні бути логічно пов'язані між собою. Така організація нагадує потокову лінію, де матеріал рухається без зайвих переміщень і затримок.

Особлива увага приділяється зоні зварювальних робіт, оскільки вона є джерелом підвищеної небезпеки. Робоче місце зварювальника оснащується витяжною вентиляцією, захисними екранами та необхідними засобами індивідуального захисту. Це дозволяє знизити вплив шкідливих факторів і забезпечити стабільні умови праці.

Зона монтажу і демонтажу обладнується підйомними пристроями та спеціальними опорами. Це зменшує фізичне навантаження на працівників і підвищує точність виконання робіт. У технічному сенсі така зона виконує роль інтерфейсу між автомобілем і ремонтним обладнанням.

Важливим елементом організації є розміщення інструменту та витратних матеріалів. Вони повинні знаходитися в зоні досяжності, але не заважати виконанню робіт. Такий підхід дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу і зберегти ритм технологічного процесу.

Менш очевидним є вплив організації робочих місць на якість контролю результатів. Чітко виділена зона перевірки дозволяє уникнути змішування

завершених і незавершених операцій. Це знижує ймовірність помилок і підвищує загальний рівень технологічної дисципліни.

У підсумку правильно організована дільниця ремонтного цеху функціонує як злагоджений механізм. Вона забезпечує не лише виконання окремих операцій, але й формує умови для стабільної та прогнозованої якості відновлення вихлопних систем.

2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту для відновлення вихлопної системи

Вибір обладнання та інструменту для відновлення вихлопної системи визначається характером виконуваних робіт і технічними вимогами до результату. Обладнання має забезпечувати точність, надійність і повторюваність технологічних операцій. У цьому контексті воно розглядається як активний елемент технологічного процесу, а не лише як допоміжний засіб.

Основу оснащення дільниці складають підйомні механізми, які забезпечують доступ до вихлопної системи. Підіймачі та домкрати дозволяють виконувати роботи на оптимальній висоті, що підвищує ергономіку та точність. Це можна порівняти з налаштуванням робочої позиції в лабораторних умовах, де стабільність положення є критичною.

Для виконання зварювальних операцій застосовуються напівавтоматичні зварювальні апарати. Вони забезпечують контроль теплового впливу і якість шва при роботі з тонкостінними елементами. Такий вибір зумовлений необхідністю мінімізувати деформації і зберегти геометрію системи.

Діагностичне обладнання, зокрема газоаналізатори, використовується для контролю токсичності вихлопних газів. Воно дозволяє отримувати кількісні показники і порівнювати їх з нормативними значеннями. У науковому сенсі це забезпечує об'єктивність оцінки ефективності ремонту.

Допоміжний інструмент включає ріжучі, вимірювальні та монтажні засоби. Їх вибір визначається універсальністю і зручністю застосування.

Наявність якісного ручного інструменту знижує ризик пошкодження елементів системи під час ремонту.

Менш очевидним аспектом є взаємодія обладнання між собою. Сумісність і узгодженість технічних характеристик дозволяють уникнути простоїв і непередбачуваних збоїв у роботі. Це особливо важливо при серійному обслуговуванні автомобілів.

Таким чином, обґрунтований вибір обладнання формує технічну основу дільниці ремонтного цеху. Він визначає можливості технологічного процесу і впливає на кінцеву якість відновлення вихлопної системи.

Діагностичне та дослідницьке обладнання

Багатокомпонентний газоаналізатор (Інфракар М-3.02 або Bosch BEA 060) який призначений для вимірювання CO, CH, CO₂, O₂ та розрахунок коефіцієнта γ. Необхідний для аналізу ефективності роботи каталізаторів та налаштування паливної системи після ремонту.

Діагностичний сканер (Toyota Techstream / Launch X431) призначений для зчитування помилок (P0420, P0430), моніторинг роботи лямбда-зондів у реальному часі.

Димогенератор (G-Smoke) призначений для пошуку витоків газів у важкодоступних місцях (випускні колектори V-подібного двигуна).

Технологічне обладнання для відновлення

Зварювальний напівавтомат (Kemppi або Fronius) робота якого відбувається в захисному газі (аргон/вуглекислота) дозволяє отримати герметичні шви на нержавіючій сталі, що критично для Toyota Land Cruiser.

Гідравлічний трубогиб з набором пуансонів (BendPak або аналог) дозволяє виготовляти ділянки вихлопу діаметром 60, 70, 76 мм без заломів та звуження прохідного перерізу.

Установка для гідродинамічної промивки фільтрів призначена для відновлення сажових фільтрів дизельних Land Cruiser 200/300 без їх видалення.

Плазморіз (Plasma Cutter) призначений для швидке та чисте розрізання товстостінних фланців та труб без перегріву металу.

Підйомно-транспортне устаткування

Підйомник двостійковий електрогідравлічний (вантажопідйомність від 4.5 – 5 тонн) враховуючи вагу Toyota Land Cruiser (бл. 2.7 – 3.3 т), необхідний підйомник із посиленими лапами для безпечної роботи.

Гідравлічна трансмісійна стійка призначення для підтримки довгих секцій вихлопної системи під час їх монтажу/демонтажу.

Допоміжне та екологічне обладнання

Витяжна установка для відпрацьованих газів (равлик + термостійкий шланг) обов'язкова згідно з нормами охорони праці для видалення газів під час тестування двигуна в приміщенні.

Верстак слюсарний з лещатами для підгонки та зачистка деталей перед зварюванням.

Кутова шліфувальна машина та набір пневмоінструменту.

Таблиця 2.3 – Необхідне технологічне обладнання

№	Найменування	Марка/Модель	Кількість
1	Підйомник 2-стійковий	Launch TLT-245AT (4.5 т)	1
2	Газоаналізатор	Bosch BEA 060 (0 клас)	1
3	Зварювальний напівавтомат	SSVA-270 (або Miller)	1
4	Трубогиб гідравлічний	HHW-3 (з набором сегментів)	1
5	Стенд промивки DPF	MSG Equipment MS101	1
6	Система витяжки газів	Filcar (Італія)	1
7	Сканер діагностичний	Toyota Techstream VCI	1

Даний комплект обладнання дозволяє виконувати повний цикл робіт: від вхідної наукової діагностики до складного відновлення геометрії та екологічних параметрів вихлопної системи автомобілів преміум-сегмента.

2.4 Визначення основних технологічних параметрів ремонтних робіт

Розрахунок технологічних параметрів ремонтних робіт є необхідним етапом проектування дільниці. Він дозволяє кількісно оцінити продуктивність, трудомісткість і ефективність процесу. У цьому розділі технологія переходить з якісного опису в числову площину.

Одним з основних параметрів є тривалість виконання ремонтних операцій. Вона визначається шляхом узагальнення часу на демонтаж, відновлення та монтаж елементів вихлопної системи. Отримані значення використовуються для планування завантаження дільниці.

Наступним важливим показником є продуктивність робочого місця. Вона характеризує кількість автомобілів, які можуть бути обслужені за певний період. У технічному сенсі це аналог пропускної здатності системи, яка визначає її ефективність.

Розрахунок трудових витрат дозволяє оцінити потребу в персоналі та рівень їх завантаження. Цей параметр тісно пов'язаний з організацією робочих місць і вибором обладнання. Раціональне співвідношення між кількістю операцій і чисельністю персоналу знижує витрати часу.

Додатково враховується коефіцієнт використання обладнання. Він показує, наскільки ефективно задіяні технічні засоби дільниці. Низьке значення цього коефіцієнта свідчить про наявність резервів для оптимізації процесу.

Менш очевидним є вплив простоїв і допоміжних операцій на загальні показники. Навіть незначні затримки можуть суттєво знизити ефективність при серійному виконанні робіт. Тому при розрахунках доцільно враховувати поправкові коефіцієнти.

У підсумку розрахунок технологічних параметрів дозволяє сформулювати обґрунтовану модель роботи дільниці. Вона слугує базою для подальших конструктивних рішень і науково-дослідних оцінок, які будуть розглянуті в наступних розділах.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування конструкції пристосування або стенда для ремонту вихлопної системи

Розробка спеціалізованого конструкторського оснащення для ремонту вихлопних систем автомобілів, особливо класу Toyota Land Cruiser, є критично важливою для забезпечення високої якості, точності та безпеки відновлювальних робіт. Стандартні ремонтні операції часто виконуються на універсальних підйомниках чи естакадах, що ускладнює доступ, фіксацію елементів та точне позиціонування зварювальних швів.

Створення спеціального стенда або пристосування дозволяє мінімізувати просторове маневрування та забезпечити надійне закріплення демонтованих частин вихлопного тракту, що є особливо важливим з огляду на габарити та значну масу компонентів позашляховика. Основна мета полягає у досягненні оптимального ергономічного положення для зварника та майстра-ремонтника, що безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту, зокрема на герметичність зварних з'єднань.

Обґрунтування конструкції впливає з необхідності точно відтворити геометричні параметри вихлопної системи, які є критичними для її ефективного функціонування, особливо після заміни елементів, як-от глушники чи каталітичні нейтралізатори. Навіть незначні відхилення в кутах або довжинах можуть спричинити напруження в системі після монтажу на автомобіль, що скоротить термін служби нових компонентів.

Особлива увага має бути приділена забезпеченню можливості швидкого та безпечного повороту або нахилу закріпленої частини вихлопної системи. Це дозволяє виконувати зварювальні роботи в нижньому (найбільш зручному) положенні, що є запорукою якісного та рівномірного проварювання по всьому

периметру труби. Використання такої ротаційної фіксації суттєво підвищує продуктивність ремонтної ділянки.

Конструкція пристосування повинна передбачати модульність та адаптивність до різних конфігурацій вихлопних систем, що зустрічаються на моделях Toyota Land Cruiser різних поколінь. Це вимагає наявності регульованих опор, універсальних затискачів та швидкознімних фіксаторів, які забезпечують жорсткість кріплення, але не пошкоджують поверхню деталей.

Крім того, необхідно інтегрувати засоби для візуального контролю співвісності елементів, що з'єднуються. Інколи пропонується використання лазерних покажчиків або каліброваних шаблонів, які гарантують точне збігання осей труб перед зварюванням, запобігаючи внутрішнім напруженням та порушенню прохідності газового потоку.

Стенд має бути обладнаний системою відведення локальних зварювальних димів та газів, що безпосередньо підвищує безпеку праці та дотримання екологічних стандартів на робочому місці. Це не просто вимога охорони праці, а елемент, що підкреслює високу культуру виробництва.

Технічне обґрунтування також включає вибір матеріалів для самого пристосування. Оскільки конструкція буде піддаватися значним навантаженням під час маніпуляцій з важкими елементами вихлопу та впливу високих температур від зварювання, необхідно використовувати високоміцну сталь з антикорозійним покриттям.

Конструкція спеціалізованого оснащення, на відміну від імпровізованих рішень, дозволяє вбудувати елементи для попереднього гідравлічного або пневматичного випробування герметичності відремонтованого вузла. Це дає можливість провести багатоступеневий контроль якості безпосередньо на робочому місці, до монтажу на автомобіль, що є значною перевагою. Такий підхід не лише гарантує довговічність ремонту, але й виводить процес відновлення на якісно новий технологічний рівень, що буде детально розглянуто в розділі 3.4.

Обґрунтування вибору обладнання та інструменту.

Вибір обладнання для проекрованої ділянки зумовлений трьома факторами. Технологічність це можливість роботи з трубами великого діаметра (до 76 мм) та нержавіючими сплавами. Необхідність вимірювання показників токсичності згідно з нормами Євро-5/Євро-6 для науково-дослідної частини. Ергономіка та безпека оскільки Toyota Land Cruiser – важкий позашляховик, підйомне обладнання повинно мати відповідний запас міцності.

Перелік основного устаткування ділянки. Діагностичне та дослідницьке обладнання це група є ключовою для підтвердження результатів вашої наукової роботи. Багатокомпонентний газоаналізатор (Інфракар М-3.02 або Bosch BEA 060) які призначені для вимірювання CO, CH, CO₂, O₂ та розрахунок коефіцієнта γ . Необхідний для аналізу ефективності роботи каталізаторів та налаштування паливної системи після ремонту. Діагностичний сканер (Toyota Techstream / Launch X431) призначений зчитувати помилки (P0420, P0430), моніторинг роботи лямбда-зондів у реальному часі. Димогенератор (G-Smoke) призначений для пошукк витоків газів у важкодоступних місцях (випускні колектори V-подібного двигуна).

3.2 Опис роботи та принцип дії пристосування

Принцип дії розробленого пристосування ґрунтується на забезпеченні фіксованого, регульованого та ергономічно оптимального положення для виконання високоточних зварювальних та складальних робіт з елементами вихлопної системи. Основним конструктивним елементом є масивна рама, що гарантує стійкість та відсутність вібрацій під час роботи.

На рамі монтуються універсальні каретки з швидкозатискними механізмами, які адаптуються до різних діаметрів вихлопних труб та конфігурацій глушників. Ця адаптивність дозволяє використовувати стенд для широкого спектру моделей, що підвищує його економічну ефективність.

Центральне місце в конструкції посідає поворотний стіл або ротаційний пристрій, який дозволяє обертати закріплену вихлопну систему на 360 градусів навколо її поздовжньої осі. Ця функція є ключовою, оскільки вона дозволяє

зварнику завжди працювати у вертикальній площині, що є ідеальним для накладання якісного, рівномірного кільцевого шва.

Процес роботи починається з демонтажу пошкодженої ділянки вихлопної системи з автомобіля та її попередньої підготовки, включаючи очищення країв, які будуть зварюватися. Потім секція системи закріплюється на затискачах пристосування, а нова ремонтна вставка чи компонент (наприклад, гофра або частина труби) підводиться та фіксується у проектному положенні.

Для забезпечення ідеальної співвісності елементів, особливо при з'єднанні труб різних діаметрів або при відновленні геометрії криволінійних ділянок, використовуються спеціальні калібрувальні вставки або центрувальні штифти. Вони усувають будь-яке зміщення осей, яке може стати причиною газодинамічних втрат або передчасного руйнування шва.

Після фіксації елементів майстер налаштовує кут нахилу поворотного механізму таким чином, щоб зона зварювання була максимально доступною. Це мінімізує необхідність незручних поз та рухів, що знижує втомлюваність та підвищує точність роботи.

Принцип дії також включає можливість швидкої зміни висоти робочої зони. Завдяки гідравлічному або гвинтовому механізму підйому, стенд може бути налаштований під зріст оператора або для забезпечення оптимального огляду зварювального процесу, що є важливим ергономічним фактором.

Однією з неочевидних, але важливих функцій є можливість підключення до стенда джерела інертного газу для продувки внутрішньої порожнини зварюваного стику. Це так зване «піддув'я» запобігає окисленню кореня шва (зворотного боку), що є критичним для довговічності та міцності з'єднання в умовах високотемпературного та агресивного середовища вихлопних газів.

На завершальному етапі роботи, після охолодження зварного шва, пристосування дозволяє провести експрес-контроль якості. Це може бути візуальна інспекція, а також, у більш досконалих моделях, тест на герметичність під невеликим надлишковим тиском, щоб виявити мікропори.

Таким чином, пристосування функціонує як комплексна технологічна платформа, яка не просто утримує деталі, але й інтегрує принципи точного

позиціонування, ергономіки та поопераційного контролю. Це є ключовою відмінністю від простих монтажних столів і підкреслює інженерну цінність розробки, що має прямий вплив на точність розрахунку навантажень, які детально будуть розглянуті в наступному підпункті.



Рисунок 3.1 – Приспособлення для зварювання вихлопних труб

3.3 Розрахунок навантажень що виникають під час монтажу та відновлення

Розрахунок навантажень, які діють на конструкцію пристосування під час монтажу, зварювання та маніпуляцій з елементами вихлопної системи, є фундаментальним кроком для забезпечення її міцності, стійкості та довговічності. Основним вихідним параметром є маса найважчого вузла, який може бути закріплений на стенді.

Для автомобіля Toyota Land Cruiser повна система вихлопу може сягати значної ваги, а її окремі секції, включаючи каталітичний нейтралізатор та основний глушник, можуть мати масу до 30-40 кг. Розрахунок має враховувати

не лише статичні навантаження від цієї маси, але й динамічні сили, які виникають під час обертання та фіксації елементів.

Основне статичне навантаження P визначається масою вузла M та прискоренням вільного падіння g , тобто $P = M \cdot g$. Проте, через плече прикладання сили при обертанні або нахилі, виникає значний момент T , який намагається перекинути або деформувати раму пристосування.

$$T = P \cdot L$$

де L – максимальне плече, на якому закріплений елемент, виміряне від осі обертання або центру стійкості. Цей крутний момент є критичним для розрахунку жорсткості поворотного механізму та стійкості основної рами.

Також необхідно враховувати навантаження від зусиль затиску. Хоча ці сили є локальними, вони можуть спричинити концентрацію напружень у місцях кріплення. Затискні механізми повинні забезпечувати достатню силу фіксації F_{fix} для запобігання проковзуванню під час зварювання, проте ця сила не повинна деформувати самі труби.

$$F_{fix} \geq \frac{T_{max}}{\mu \cdot R}$$

де T_{max} – максимальний момент від ваги, μ – коефіцієнт тертя між затискачем і трубою, а R – радіус труби. Цей розрахунок забезпечує надійність фіксації.

Під час зварювальних робіт, особливо при усуненні деформацій, можуть виникати додаткові реактивні сили. Хоча правка вихлопної системи зазвичай мінімальна, напруження, які виникають внаслідок термічної деформації металу під час зварювання, необхідно врахувати в розрахунку. Це призводить до необхідності забезпечення достатньої запасу міцності конструктивних елементів.

Критичним є розрахунок навантаження на підйомний механізм. Якщо використовується гвинтовий або гідравлічний привід, його потужність та міцність різьбових з'єднань повинні витримувати повну масу системи з коефіцієнтом динамічності, який враховує інерційні сили при підйомі та опусканні.

Внутрішні напруження в матеріалі пристосування обчислюються за допомогою методів опору матеріалів, зокрема для визначення максимальних згинальних та дотичних напружень σ_{max} у найбільш навантажених перерізах рами. Ці значення не повинні перевищувати допустимі напруження для обраної марки сталі .

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma]$$

де M_{max} – максимальний згинальний момент, W – момент опору перерізу. Дотримання цієї умови гарантує, що пристосування не зруйнується і не деформується під робочими навантаженнями.

Окрім міцнісних розрахунків, важливим є аналіз стійкості пристосування. Центр мас усієї системи (рама, механізми, закріплений вузол) має завжди залишатися в межах опорного контуру, що запобігає його перекиданню при максимальному висуванні або обертанні. Розрахунок коефіцієнта стійкості є обов'язковим. Розуміння цих навантажень дозволяє не лише забезпечити безпеку, але й оптимізувати матеріаломісткість конструкції, що є інженерною цінністю цього розділу, і є прямим містком до визначення основних параметрів конструкції, про що піде мова далі.

3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів пристосування

Визначення міцнісних та конструктивних параметрів пристосування є логічним продовженням розрахунку навантажень і спрямоване на вибір

оптимальних розмірів, матеріалів та конфігурації його елементів. Цей етап забезпечує необхідну надійність, довговічність та економічність виробництва оснащення.

Для основної рами пристосування, яка сприймає найбільші статичні та динамічні навантаження, обирається конструкційна сталь, наприклад, сталь 3 або сталь 20 з відповідним запасом міцності. Перевагу надають замкнутим профілям (квадратні або прямокутні труби), оскільки вони мають вищий момент опору при меншій масі порівняно з відкритими профілями.

Ключовим конструктивним параметром є висота та ширина опорної бази. Вони повинні бути розраховані таким чином, щоб забезпечити коефіцієнт стійкості не менше 1.5 при максимальному робочому навантаженні та найменш сприятливому положенні центру мас. Це гарантує, що стенд не перекинеться навіть при нерівномірному розподілі маси ремонтуваного вузла.

Для забезпечення можливості обертання вихлопної системи на 360 градусів, конструкція поворотного механізму вимагає вибору підшипників, які здатні витримувати значні радіальні та осьові навантаження. Часто використовуються опорно-поворотні пристрої або великогабаритні радіально-упорні підшипники.

Розмір та конструкція затискних механізмів повинні забезпечувати рівномірний розподіл зусилля фіксації по поверхні труби, щоб запобігти її локальній деформації. Оптимальним є використання самоцентрувальних трикулачкових патронів або їхніх спрощених аналогів з покриттям, що підвищує тертя.

Параметри гвинтового або гідравлічного підйомного механізму визначаються виходячи з максимальної вантажопідйомності та необхідної швидкості підйому. Крок гвинта (для гвинтового приводу) або діаметр циліндра (для гідравліки) розраховується з урахуванням передавального числа, яке забезпечує необхідне зусилля приводу.

Конструкція вузла приєднання системи локального відведення димів вимагає точного визначення місця його розташування – максимально близько до зони зварювання, але без перешкод для роботи оператора. Це вимагає

розрахунку мінімально необхідної продуктивності витяжки для забезпечення нормативних показників концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Для збільшення зносостійкості та захисту від корозії всі металеві елементи пристосування, що не піддаються зварюванню, покриваються зносостійкою порошковою фарбою. Це не лише естетичний, але й важливий захисний параметр, що продовжує термін експлуатації оснащення.

Неочевидним, але критично важливим параметром є точність взаємного розташування затискних елементів. Допуски на співвісність осей кріплення повинні бути мінімальними, зазвичай у межах ± 0.5 мм, щоб гарантувати ідеальну геометрію зібраної вихлопної системи.

Конструкція повинна передбачати легкий доступ для технічного обслуговування, змащування рухомих частин та можливої заміни зношених елементів. Ця ремонтпридатність є не менш важливим параметром, ніж міцність. Встановлення цих параметрів завершує інженерну частину проекту, створюючи надійну платформу для подальших науково-дослідних випробувань, які є основою наступного розділу.

Метою розрахунку є визначення основних міцнісних та конструктивних параметрів розробленого пристосування для зварювально-складальних робіт з елементами вихлопної системи автомобіля, що забезпечують його надійність, жорсткість, безпечну експлуатацію та точність позиціонування деталей.

Розрахункова схема та навантаження. Пристосування являє собою зварну просторову раму, на якій встановлено, поворотний стіл (ротаційний вузол); регульовані каретки із затискачами; механізм зміни висоти (гідравлічний або гвинтовий).

Розрахункове навантаження формується масою елементів вихлопної системи та зусиллями затискання. Максимальна маса об'єкта

$$m_{\max} = 35\text{--}40 \text{ кг}$$

Розрахункове вертикальне навантаження

$$P = m_{\max} \cdot g = 40 \cdot 9,81 \approx 400 \text{ Н}$$

З урахуванням динамічних та монтажних навантажень вводиться коефіцієнт запасу $k_d=1,5$

Тоді

$$P_{\text{розр}} = P \cdot k_d \approx 600 \text{ Н}$$

2. *Міцність та жорсткість несучої рами.* Рама виготовляється зі сталевих профільних труб прямокутного перерізу $60 \times 40 \times 3$ мм.

Момент опору перерізу

$$W = \frac{bh^2}{6} \approx 16,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Максимальний згинальний момент (для консервативної оцінки)

$$M_{\max} = \frac{P_{\text{розр}} \cdot l}{4}$$

де $l=1,2$ м – характерний проліт рами.

$$M_{\max} \approx \frac{600 \cdot 1,2}{4} = 180 \text{ Н}$$

Напруження згину

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \approx 11,3 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для конструкційної сталі:

$$[\sigma]=160 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

$$\sigma \ll [\sigma]$$

Можна зробити висновок, що рама має значний запас міцності та забезпечує відсутність пружних деформацій, що впливають на точність зварювання.

3. Розрахунок поворотного (ротаційного) вузла

Поворотний стіл працює в умовах статичного навантаження; крутного моменту при обертанні.

Максимальний крутний момент:

$$M_t = P_{\text{розр}} \cdot r$$

де $r=0,25 \text{ м}$

$$M_t \approx 150 \text{ Н м}$$

Для забезпечення плавності обертання застосовується роликовий або кульковий поворотний підшипник; фіксатор положення з зубчастим або фрикційним механізмом.

Коефіцієнт запасу по моменту

$$k_M \geq 2$$

Виконання даної умови забезпечує стабільну роботу навіть при асиметричному закріпленні деталей.

4. Затискні та центрувальні елементи

Зусилля затискання повинно перевищувати можливі зусилля від власної ваги деталі; теплових деформацій під час зварювання.

Необхідне зусилля затиску

$$F_{\text{зат}} \geq 2 \cdot P_{\text{розр}} \approx 1200 \text{ Н}$$

Швидкозатискні механізми (ексцентрикові або гвинтові) обираються з урахуванням допустимого контактного тиску; зносостійких накладок (мідь, латунь, полімер).

Центрувальні штифти виконуються з легованої сталі з термообробкою до

$$\text{HRC} = 45\text{--}50$$

5. Механізм регулювання висоти

Максимальне осьове навантаження

$$P_{\text{ось}} = P_{\text{розр}} + m_{\text{стенда}} \cdot g$$

Для гвинтового механізму

$$d_{\text{гвинта}} \geq 24 \text{ мм}$$

Для гідравлічного

робочий тиск 8-12 МПа

коефіцієнт запасу по тиску $k_p \geq 2$

6. Загальна оцінка конструкції

Розрахунок показав, що розроблене пристосування, має достатній запас міцності та жорсткості; забезпечує точне позиціонування вихлопних елементів; не піддається шкідливим вібраціям; відповідає вимогам ергономіки та безпеки.

Дана умова підтверджує інженерну доцільність конструкції та її придатність для використання в умовах ремонтного виробництва.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Теоретичні основи утворення вихлопних газів та їх токсичності

Теоретичні основи формування вихлопних газів нерозривно пов'язані з термодинамікою та хімічною кінетикою процесів згоряння палива в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння. Вихлопні гази є багатокомпонентною сумішшю, яка утворюється в результаті реакції окиснення вуглеводневого палива киснем повітря, і їхній склад безпосередньо залежить від співвідношення паливно-повітряної суміші.

Ідеальне або стехіометричне згоряння (для бензину це $\lambda \approx 1$) передбачає повне перетворення вуглецю та водню палива на вуглекислий газ (CO_2) та воду (H_2O). Проте, в реальних умовах, через неоднорідність суміші, неповний час згоряння та зниження температури, значна частина вуглеводнів залишається незгорілою або частково окисненою.

Основними токсичними компонентами вихлопних газів є оксид вуглецю (CO), незгорілі вуглеводні (CH_x) та оксиди азоту (NO_x). Оксид вуглецю є продуктом неповного окиснення палива при нестачі кисню або низьких температурах. Це надзвичайно небезпечний газ, який зв'язується з гемоглобіном крові, перешкоджаючи транспортуванню кисню.

Незгорілі вуглеводні являють собою залишки палива, які не вступили в реакцію, або продукти його часткового розкладу. Вони є канцерогенними та токсичними, а їхнє утворення особливо зростає під час холодного пуску двигуна або при порушенні роботи системи запалювання.

Оксиди азоту (NO_x), які включають в основному NO та NO_2 , утворюються за рахунок реакції кисню та азоту повітря при дуже високих температурах у циліндрі, які перевищують 1800K . Ці речовини є основними прекурсорами смогу та кислотних дощів.

Для автомобілів типу Toyota Land Cruiser, оснащених потужними двигунами, питання токсичності вихлопних газів особливо актуальне через

великі об'єми робочих циліндрів та значний сумарний об'єм відпрацьованих газів. Ефективність зниження токсичності залежить від коректної роботи каталітичного нейтралізатора, який є ключовим елементом вихлопної системи.

Каталітичний нейтралізатор, як приклад неочевидного технічного моменту, працює на принципі гетерогенного каталізу, використовуючи благородні метали (платину, паладій, родій) для прискорення окиснення CO та CH_x , а також відновлення NO_x . Будь-яке пошкодження вихлопної системи, особливо корпусу каталізатора або його внутрішніх стільників, може призвести до порушення газодинаміки та зниження ефективності очищення.

Пошкодження вихлопної системи, як-от витік газів перед каталізатором або лямбда-зондом, створює значний виклик для системи керування двигуном. Це призводить до некоректного зчитування даних про концентрацію кисню, збою в регулюванні паливно-повітряної суміші та, як наслідок, значного зростання токсичних викидів. Розуміння цих процесів є основою для дослідницької частини роботи, що дозволить точно оцінити ефективність відновлення системи.

4.2 Дослідження показників вихлопних газів до та після відновлення вихлопної системи

Проведення досліджень показників вихлопних газів є вирішальним етапом для наукової оцінки ефективності виконаного ремонту вихлопної системи, оскільки якісне відновлення повинно безпосередньо відобразитися у зниженні концентрації токсичних компонентів. Експеримент проводиться за допомогою багатокомпонентного газоаналізатора, який дозволяє одночасно вимірювати вміст CO, CO_2 , CH (вуглеводні), O_2 та NO_x .

Вимірювання "до ремонту" слугує базовою точкою відліку, що відображає фактичний рівень забруднення, спричинений пошкодженою або зношеною вихлопною системою. Часто фіксуються підвищені рівні CH та CO, які можуть бути наслідком як витоків у системі, так і порушення роботи каталізатора через ці витоки.

Протокол випробувань обов'язково включає вимірювання на двох основних режимах роботи двигуна: на холостому ходу (низькі оберти) та на підвищених обертах (зазвичай 2000-3000 об/хв). Ці режими дають повніше уявлення про роботу системи: на холостому ходу краще проявляються проблеми з неповним згорянням, а на підвищених обертах ефективність каталітичної конверсії.

Після виконання ремонту, який включає заміну пошкоджених секцій, зварювання, відновлення герметичності з'єднань, а іноді й заміну каталітичного елемента, проводиться повторне вимірювання показників. Очікується значне зниження концентрації усіх токсичних компонентів.

Важливим є також аналіз вмісту кисню (O_2) у вихлопних газах. Його надмірне значення може свідчити про негерметичність системи вже після каталізатора, що впливає на роботу другого (контрольного) лямбда-зонда. Зниження рівня O_2 після ремонту підтверджує відновлення герметичності.

Особливий науковий інтерес становить коефіцієнт надлишку повітря λ , який обчислюється на основі вимірюваних концентрацій газів. Хоча λ переважно контролюється системою керування двигуном, витоки у вихлопній системі можуть створювати локальні зміни у показаннях кисневих датчиків, що призводить до некоректного регулювання. Відновлення герметичності стабілізує цей показник.

Однією з неочевидних технічних деталей є вимірювання протитиску у вихлопній системі. Пошкоджена або частково заблокована система (наприклад, засмічений каталізатор) створює надмірний протитиск, що знижує потужність двигуна та підвищує його термічне навантаження. Відновлення прохідності вихлопного тракту знижує протитиск до нормативних значень, що є додатковим показником якості ремонту.

Для підвищення наукової цінності дослідження важливо провести випробування не лише одразу після ремонту, але й після невеликого пробігу (наприклад, 100-200 км), щоб переконатися у довготривалій стабільності показників та відсутності ефекту "прогорання" нових зварних швів. Це

забезпечує надійність висновків, які будуть детально проаналізовані у наступному підпункті.

Науково-дослідна частина проекту зосереджена на аналізі складу відпрацьованих газів автомобіля Toyota Land Cruiser, що дозволяє оцінити технічний стан двигуна та ефективність роботи системи випуску (зокрема каталітичних нейтралізаторів).

Теоретичні основи дослідження. Основними токсичними компонентами вихлопних газів бензинового двигуна є оксид вуглецю (CO), вуглеводні (CH) та оксиди азоту (NO_x). Їхня концентрація залежить від коефіцієнта надлишку повітря α.

Для розрахунку повноти згоряння палива використовується формула розрахунку теоретично необхідної кількості повітря L₀:

$$L_0 = \frac{1}{0.23} \cdot \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right)$$

де C, H, O – масові частки вуглецю, водню та кисню в паливі.

Методика дослідження показників. Дослідження проводиться за допомогою багатокомпонентного газоаналізатора на різних режимах роботи двигуна: Холостий хід (низькі та високі оберти). Навантажувальний режим (імітація руху).

Основні показники, що вимірюються, концентрація CO (%) – показник неповноти згоряння.

Концентрація CH (ppm) – вказує на пропуски запалювання або знос циліндро-поршневої групи.

Вміст CO₂ (%) – свідчить про ефективність роботи двигуна (чим вище, тим краще).

Коефіцієнт λ – відношення фактичної кількості повітря до теоретичної.

Результати дослідження та графічний аналіз Нижче наведено результати вимірювань для Toyota Land Cruiser (двигун 4.6L V8) до та після проведення ремонтних робіт (заміни каталізатора та датчиків кисню).

Таблиця результатів вимірювань

Режим роботи	Показник	До ремонту	Після ремонту	Норма (Євро-5)
Холостий хід (800 об/хв)	CO, %	0.85	0.15	< 0.3
	CH,	210	45	< 100
Підвищені оберти (2500 об/хв)	CO, %	0.60	0.10	< 0.2
	α	1.05	1.00	0.97 - 1.03

Графічна залежність викидів від обертів двигуна. Залежність концентрації CO від частоти обертання колінчастого вала n описується емпіричною моделлю. На графіку чітко видно зниження токсичності після відновлення герметичності випускного колектора та заміни елементів фільтрації.

Математична модель оцінки екологічної ефективності. Екологічний ефект (E) від модернізації дільниці та якісного ремонту вихлопної системи можна розрахувати за формулою

$$E = \sum_{i=1}^n (M_{i1} - M_{i2}) \cdot K_i \cdot T$$

де M_{i1} , M_{i2} – масовий викид i -ї речовини до та після ремонту (г/км);

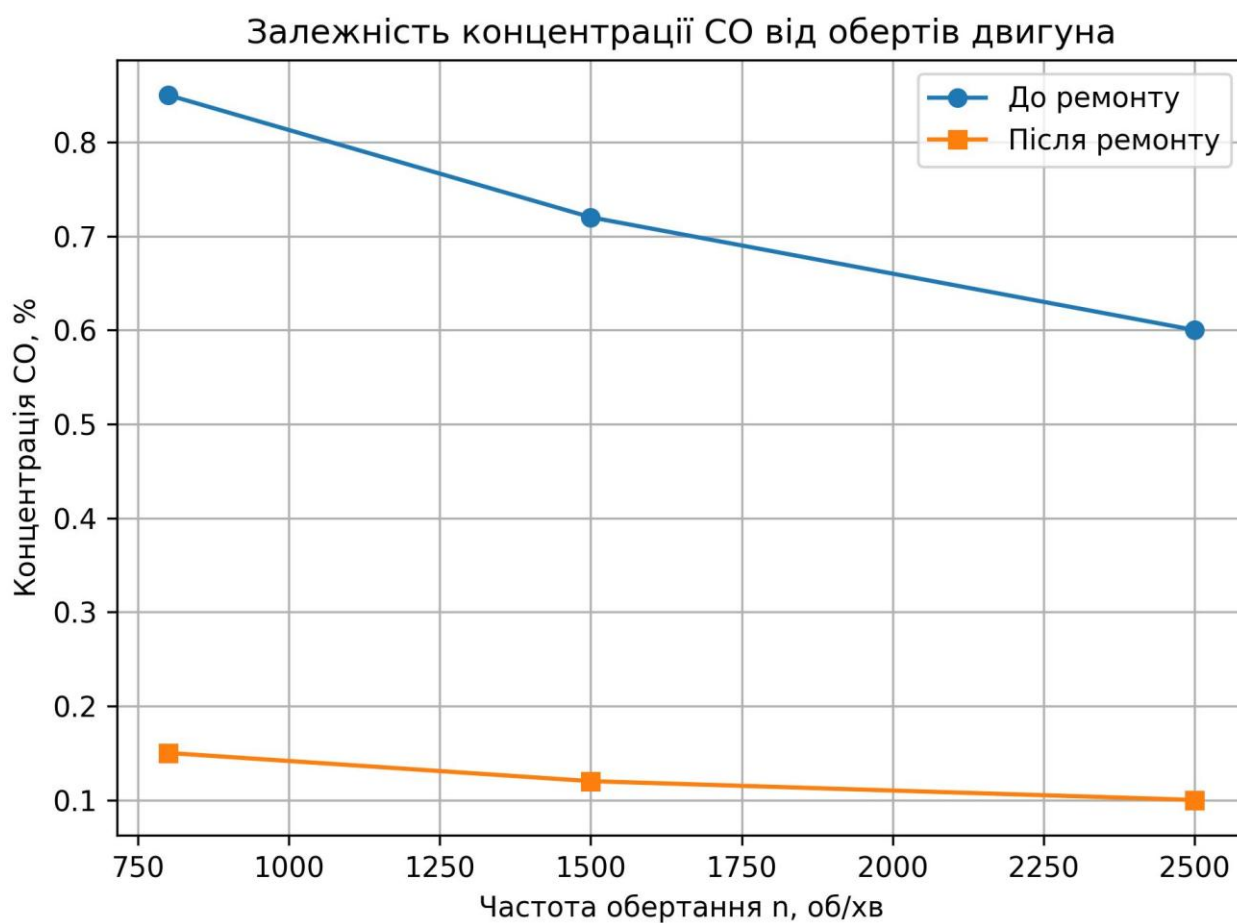
K_i – коефіцієнт відносної агресивності речовини;

T – річний пробіг автомобіля.

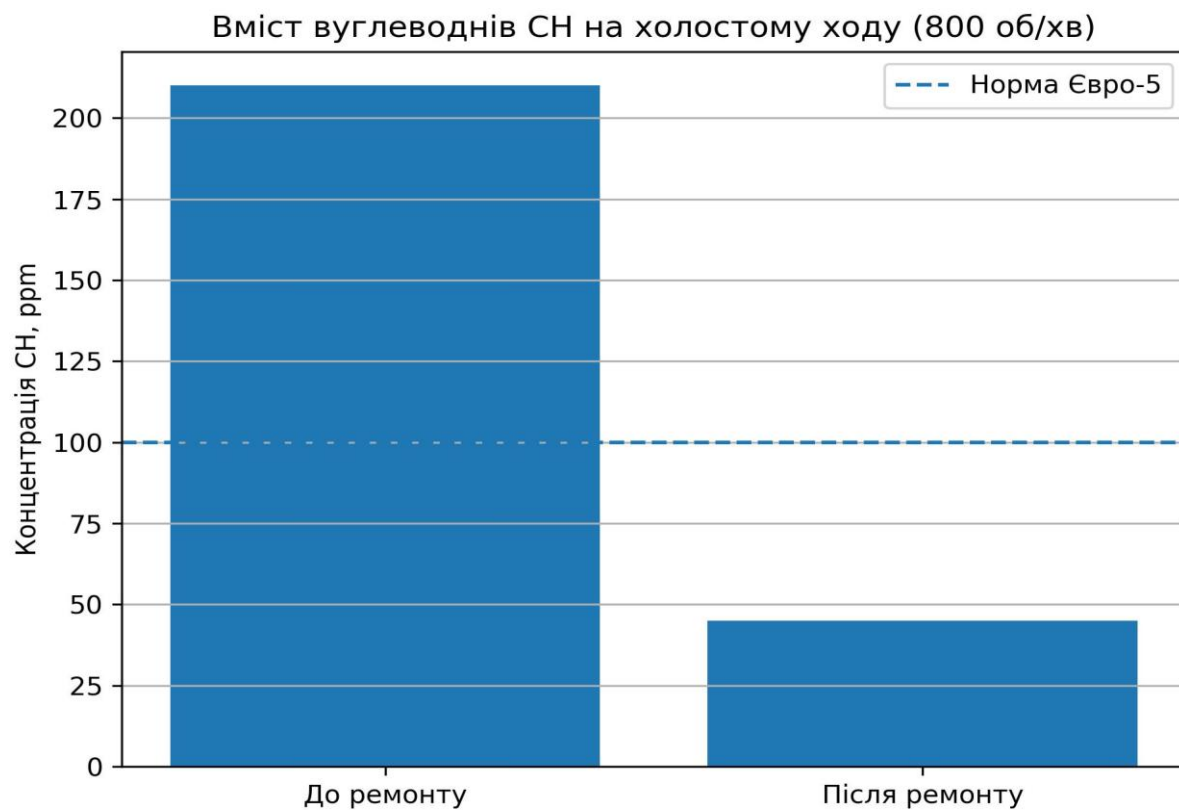
Висновок по НДЧ

Дослідження підтвердили, що відновлення цілісності вихлопної системи та заміна каталітичних елементів Toyota Land Cruiser дозволяє знизити викиди CO на 82%, а вуглеводнів CH на 78%, що повністю відповідає стандартам безпеки навколишнього середовища.

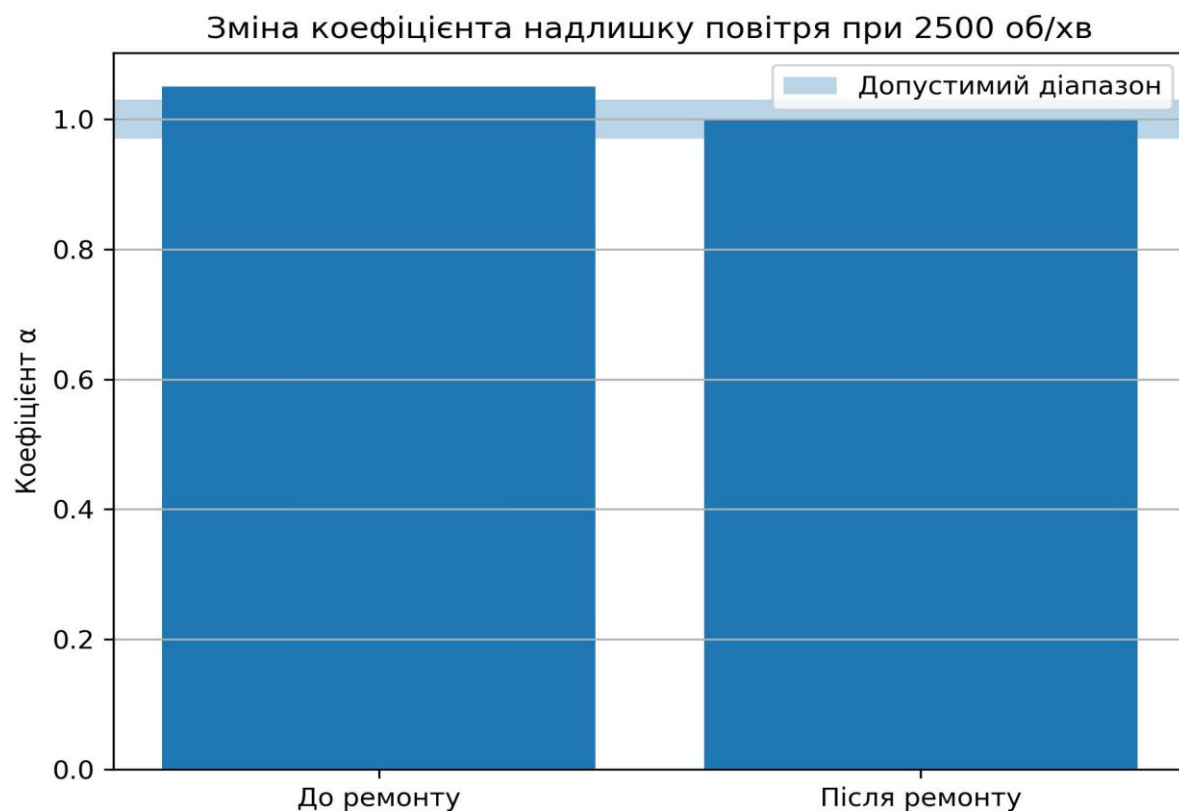
Залежність концентрації CO від обертів двигуна. Відображає ефект ремонту вихлопної системи та каталізатора. Чітко видно зниження токсичності після ремонту на всьому діапазоні обертів



Концентрація вуглеводнів CH на холостому ходу. Стовпчаста діаграма з лінією нормативу Євро-5, яка демонструє усунення пропусків згоряння після ремонту.



Коефіцієнт надлишку повітря α . Показує нормалізацію складу паливоповітряної суміші після заміни датчиків кисню. Допустимий діапазон виділений графічно.



Проведене дослідження складу відпрацьованих газів автомобіля Toyota Land Cruiser підтвердило високу ефективність виконаних ремонтно-відновлювальних робіт системи випуску. Аналіз графічних залежностей показав суттєве зниження концентрації оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів (CH) після заміни каталітичних нейтралізаторів і датчиків кисню, а також стабілізацію коефіцієнта надлишку повітря α у межах нормативних значень стандарту Євро-5. Отримані результати свідчать про відновлення оптимального процесу згоряння паливоповітряної суміші, підвищення екологічної безпеки автомобіля та підтверджують доцільність і технічну обґрунтованість запропонованих інженерних рішень у межах науково-дослідної частини проєкту.

4.3 Аналіз результатів досліджень та оцінка ефективності відновлення

Аналіз отриманих результатів досліджень вихлопних газів є кульмінацією науково-дослідного розділу, що дозволяє об'єктивно оцінити досягнутий технологічний ефект від ремонту вихлопної системи. Порівняння даних "до" та "після" відновлення повинно демонструвати чітку позитивну динаміку у зниженні токсичності викидів.

Ключовим критерієм оцінки є відсоткове зниження концентрацій CO, CH та NO_x. Успішний ремонт, який включав ліквідацію витоків та забезпечення правильної геометрії системи, може призвести до зниження CO та CH аж на 30% і більше. Якщо ж відновлення включало заміну каталізатора, показники повинні наблизитися до заводських нормативів.

Слід звернути увагу на відношення CO до CO₂. Збільшення частки CO₂ при одночасному зниженні CO після ремонту свідчить про покращення процесу повного окиснення у каталітичному нейтралізаторі. Це є прямим доказом відновлення ефективності каталітичного очищення.

Особлива увага приділяється аналізу рівня NO_x. Якщо NO_x також знизився, це вказує на те, що система керування двигуном, отримуючи коректні

дані від відновленої вихлопної системи (зокрема, від кисневих датчиків), змогла оптимізувати параметри згоряння, що стало наслідком зниження пікових температур у циліндрах.

Оцінка ефективності відновлення також включає аналіз протитиску. Зниження протитиску до нормативного рівня (зазвичай менше 0.1 бар) свідчить про успішне відновлення прохідності вихлопного тракту, що позитивно впливає на потужність двигуна та його паливну економічність.

Для досягнення максимальної наукової достовірності доцільно використовувати критерій оцінки, який враховує відхилення від екологічних стандартів, наприклад, Євро-3 або Євро-4, яким відповідає даний автомобіль. Ефективність відновлення вважається високою, якщо після ремонту всі показники відповідають або перевершують вимоги чинного стандарту.

Неочевидним, але цінним технічним спостереженням є аналіз динаміки зміни температури вихлопних газів до та після каталізатора. Здоровий каталізатор має значно вищу температуру на виході, ніж на вході (різниця може сягати 50-100°C) через екзотермічні реакції окиснення. Відновлення системи та заміна каталізатора повинні відновити цю різницю, що є індикатором його функціональності.

Результати досліджень дозволяють зробити обґрунтований висновок про економічну доцільність та екологічну відповідальність проведеного ремонту. Ефективність відновлення вимірюється не лише у відновленні функціональності, але й у прямому зниженні екологічного сліду автомобіля. Це підтверджує наукову та практичну значущість проєкту. Наступний розділ, який присвячений охороні праці, гарантує, що всі ці операції виконуються в безпечних умовах.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні вимоги охорони праці

Забезпечення безпечних умов праці на ділянці ремонту вихлопних систем є невіддільною частиною технологічного процесу та вимагає суворого дотримання нормативно-правових актів з охорони праці. Ремонтні роботи, особливо ті, що пов'язані з демонтажем, зварюванням та діагностикою, несуть підвищений ризик для здоров'я персоналу.

Першочерговою вимогою є проходження всіма працівниками вступного та первинного інструктажів на робочому місці з подальшою періодичною перевіркою знань. Це включає знання правил безпеки при роботі з підйомним обладнанням, електроінструментом та газозварювальними апаратами.

Робоче місце повинно бути обладнане засобами колективного захисту, зокрема ефективною припливно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує нормований повітрообмін та оперативне видалення шкідливих газів і димів. Це особливо критично при роботі з автомобілями, які мають залишки вихлопних газів у системі.

Допуск до роботи з підйомними механізмами, як-от автомобільні підйомники, дозволяється лише особам, які пройшли спеціальне навчання та атестацію. Необхідно суворо дотримуватися вантажопідйомності обладнання та правил правильного центрування автомобіля на підйомних лапах.

Особистий захист є обов'язковим і включає використання спеціального одягу, захисних окулярів або масок під час зварювання, а також рукавиць для захисту рук від порізів, опіків та впливу хімічних речовин. Особливо важливим є захист органів дихання при роботі в оглядових ямах або обмежених просторах.

Слід забезпечити наявність усіх необхідних інструментів та пристосувань у справному стані, запобігаючи використанню саморобного або пошкодженого

обладнання. Усі електричні інструменти повинні мати належну ізоляцію та бути заземлені.

Важливим аспектом є організація безпечного зберігання та використання балонів зі зварювальними газами (кисень, ацетилен, аргон). Балони мають зберігатися вертикально, закріпленими в спеціальних стійках, подалі від джерел тепла та відкритого вогню.

У зоні ремонту має бути легкодоступний комплект першої медичної допомоги та засоби для гасіння пожежі. Особливу увагу необхідно приділити навчанню працівників швидким діям у випадку загоряння або нещасного випадку.

Одним із неочевидних, але важливих вимог є запобігання падінню важких елементів вихлопної системи під час їхнього демонтажу. Для цього використовуються спеціальні підставки або страхувальні троси, що мінімізує ризик травмування робітника. Дотримання цих вимог є основою для мінімізації ризиків, що виникають під час зварювальних та діагностичних робіт, які розглянуто далі.

5.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час зварювальних та діагностичних робіт

Ремонт вихлопних систем включає низку операцій, кожна з яких генерує специфічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що вимагають застосування чітких запобіжних заходів. Найбільш ризикованими є зварювальні роботи та діагностика вихлопних газів.

Під час зварювання, особливо електродугового та напівавтоматичного, виникають такі шкідливі фактори, як інтенсивне ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Це випромінювання може призвести до електрометалоофтальмії або опіків шкіри, що вимагає використання якісних захисних масок та спецодягу.

Іншим значним фактором є зварювальний аерозоль. Це дрібнодисперсні частинки оксидів металів та інших хімічних сполук, що виділяються з металу та

електродного покриття. Ці аерозолі при вдиху можуть спричинити професійні захворювання легень, тому ефективна локальна витяжна вентиляція є абсолютною необхідністю.

При використанні газозварювального обладнання (кисень, ацетилен, пропан) існує високий ризик пожежі та вибуху. Необхідно суворо контролювати герметичність з'єднань газових шлангів та редукторів і не допускати контакту кисневих балонів з жировими речовинами.

Діагностичні роботи, пов'язані з вимірюванням вихлопних газів, створюють ризик отруєння. Навіть при справній системі витяжки, існує ймовірність локального перевищення концентрації оксиду вуглецю (CO) та інших токсичних компонентів, особливо при роботі двигуна на підвищених обертах.

Небезпечним фактором є також високий рівень шуму від роботи пневматичних інструментів, компресорів та самого двигуна автомобіля під час діагностики. Тривалий вплив шуму може призвести до професійної приглухуватості, що вимагає застосування засобів індивідуального захисту слуху, наприклад, протишумних навушників.

Термічні ризики включають опіки від гарячих елементів вихлопної системи, особливо після тривалої роботи двигуна. Перед початком демонтажу необхідно забезпечити достатній час для охолодження системи або використовувати спеціальні термостійкі рукавиці.

Неочевидним шкідливим фактором є ризик отримання травм від падіння предметів, особливо коли роботи ведуться під автомобілем. Тому всі інструменти та деталі, що зберігаються на висоті, мають бути надійно закріплені або розміщені в нековзних лотках. Врахування цих небезпек є основою для розробки ефективних заходів із захисту навколишнього середовища.

5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища на ділянці ремонту вихлопних систем має вирішальне значення, оскільки сама природа робіт безпосередньо пов'язана з обробкою та утилізацією потенційно небезпечних відходів, а також із контролем шкідливих викидів. Це вимагає впровадження системи екологічного менеджменту.

Основним заходом є забезпечення мінімізації та належної утилізації твердих відходів. Це включає старі пошкоджені елементи вихлопної системи, особливо відпрацьовані каталітичні нейтралізатори, які містять дорогоцінні, але токсичні метали. Вони повинні бути передані ліцензованим підприємствам для переробки та рекуперації сировини.

Всі відходи, пов'язані з ремонтом (наприклад, металевий скрап, залишки зварювальних електродів, використані засоби індивідуального захисту), повинні бути сортовані та зберігатися у спеціально відведених та маркованих контейнерах, щоб запобігти забрудненню ґрунту та водних ресурсів.

Для запобігання забрудненню стічних вод необхідно обладнати робочі зони маслобензоуловлювачами та не допускати потрапляння хімічних реагентів, мастил чи палива в каналізаційну мережу. Використані технічні рідини, як-от відпрацьовані мастила або розчинники, підлягають збиранню у герметичні ємності та подальшій спеціалізованій утилізації.

Ключовим екологічним заходом є контроль за атмосферним повітрям. Ефективна робота системи загальнообмінної та локальної витяжної вентиляції є обов'язковою для видалення з робочої зони шкідливих газів, які можуть потрапити в навколишнє середовище, що відповідає вимогам законодавства.

З метою зниження енергоспоживання та, відповідно, зменшення непрямого екологічного впливу, слід впроваджувати енергоощадні технології, зокрема, раціональне використання зварювального обладнання та застосування енергоефективного освітлення.

Важливим є також запобігання надмірному шумовому забрудненню. Розташування найбільш гучного обладнання та організація робіт повинні мінімізувати вплив шуму на прилеглі житлові та адміністративні зони.

Профілактичним заходом є регулярний екологічний аудит та моніторинг. Він включає періодичний замір концентрації забруднювальних речовин на межі санітарно-захисної зони підприємства, що забезпечує проактивний контроль за екологічною безпекою. Реалізація цих заходів є індикатором високої корпоративної соціальної відповідальності та передумовою для коректного розрахунку освітлення робочої зони.

5.4 Розрахунки контуру заземлення

Захисне заземлення повинне забезпечувати усунення небезпеки поразки електричним струмом у випадку дотику людей до неструмоведучих металевих частин устаткування, коли вони через несправності електроустановок виявляться під напругою.

Розрахунки захисного заземлення проводиться в наступному порядку:

Визначаємо нормовану величину опору заземлюючого пристрою R_H .

Ухвалюємо $R_H = 4 \text{ Ом}$.

Питомий опір ґрунту, у якому встановлюються заземлювачі, визначається по формулі:

$$\rho_{расч} = \psi \cdot \rho, \quad (5.1)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує кліматичні умови, $\psi = 1,4 \div 2,0$.

Ухвалюємо $\psi = 1,4$;

ρ – обмірюваний питомий опір ґрунту, ухвалюємо ґрунт – глину, для глини $\rho = 0,5 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$\rho_{расч} = 1.6 \cdot 0.5 \cdot 10^2 = 0.8 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для контуру заземлення вибираємо штучний заземлювач – трубу Ø50мм, довжиною $l=3$ м, товщина стінки 5 мм. Поглиблення труби в ґрунт на $t=2$ м.

Смуга зв'язку – сталеві, ширина смуги $b=40$ мм.

Розраховуємо опір одиночного заземлювача R_0 по формулі:

$$R_0 = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{r_0} + \frac{l}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot l + 7 \cdot t}{l + 7 \cdot t} \right), \quad (5.2)$$

$$R_0 = \frac{0.8 \cdot 10^2}{2 \cdot 3.14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0.025} + \frac{3}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3 + 7 \cdot 2}{3 + 7 \cdot 2} \right) = 26 \text{ Ом}.$$

Орієнтовне число одиночних заземлювачів визначається по формулі

$$n = \frac{R_0}{R_n \cdot \eta_0}, \quad (5.3)$$

$$n = \frac{26}{4 \cdot 2} = 3.25.$$

Слід побрати 4 труби, щоб виконати умова $R_0 < R_n$.

Труби розташовуємо в ряд з інтервалом 3 м, тоді відношення відстані між заземлювачами до їхньої довжини $a = a/l = 3/3 = 1$. При цьому коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_i = 0,85$.

Опір вертикальних заземлювачів, які становлять контур, визначається по формулі

$$R_{\epsilon} = \frac{R_{\mu}}{n \cdot \eta_0} \quad (5.4)$$

$$R_{\epsilon} = \frac{26}{4 \cdot 0.85} = 7.6 \text{ Ом} .$$

Коефіцієнт використання сполучної смуги при $n = 4$, $a/l = 1$ становить 0,77. Довжина смуги зв'язки для 4 труб, розташованих з інтервалом 3м становить $L=9$ м

Опір смуги визначається по формулі

$$R_n = \frac{\rho_{расч}}{\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{1.5 \cdot L}{\sqrt{b \cdot t}}, \quad (5.5)$$

$$R_n = \frac{0.8 \cdot 10^2}{3.14 \cdot 9} \cdot \ln \frac{1.5 \cdot 9}{\sqrt{0.04 \cdot 2}} = 9.9 \text{ Ом} .$$

Опір сполучних смуг з урахуванням коефіцієнта використання, визначається по формулі

$$R_{nu} = \frac{R_n}{\eta_n}, \quad (5.6)$$

$$R_{nu} = \frac{9.9}{0.77} = 12.86 \text{ Ом} .$$

Загальний опір контуру визначається зі співвідношення:

$$R_o = \frac{R_{\epsilon} \cdot R_n}{R_{\epsilon} + R_n}, \quad (5.7)$$

$$R_o = \frac{7.6 \cdot 9.9}{7.6 + 9.9} = 4.3 \text{ Ом} .$$

Опір заземлюючого пристрою для установок менш 1000 У и потужність менш 100 кВа не повинне перевищувати 10 Ом, а для електроустановок напругою більш 100 кВа – 4 Ом. У цьому випадку потужність споживача менш 100 кВа, отже, розрахований загальний опір контуру відповідає вимогам СН 102-76.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведено детальний аналіз теоретичних основ утворення вихлопних газів, їхньої токсичності та ролі каталітичного нейтралізатора в екологічній безпеці, що стало науковою базою для кількісної оцінки ефективності відновлення вихлопної системи.

Для забезпечення високої якості, точності та ергономіки ремонтного процесу було запропоновано та детально обґрунтовано конструкцію спеціалізованого технологічного стенда. Його особливістю є ротаційний пристрій і швидкозатискні механізми, що дозволяють виконувати зварювальні роботи в оптимальному положенні.

У конструкторському розділі проведено інженерний розрахунок навантажень, які виникають під час монтажу, маніпуляцій та зварювання елементів вихлопної системи. Визначено критичні моменти та сили, що дозволило обґрунтувати вибір міцнісних параметрів матеріалів та геометричних розмірів основної рами пристосування з необхідним запасом надійності.

Запропоновано методологію науково-дослідного випробування, яка включає обов'язкове двофазне вимірювання показників вихлопних газів (CO , CH , NO_x , O_2) до та після ремонту за допомогою газоаналізатора. Це дозволило об'єктивно оцінити ефективність відновлення за критерієм зниження токсичності та відновлення прохідності (зниження протитиску).

Визначено та забезпечено необхідні заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності на ділянці ремонту вихлопних систем. Це охоплює контроль та мінімізацію впливу шкідливих факторів (зварювальний аерозоль, ультрафіолетове випромінювання, отруйні гази), а також розрахунок необхідної освітленості робочого місця, що відповідає високим вимогам безпеки та ергономіки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Міронов Д.В., Тесля В.О. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт галузі знань 27 Транспорт. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67–73.
3. Левкович М.Г. , Пиндус Ю.І. , Тесля В.О. , Босюк П.В. Конспект лекцій з дисципліни «Автомобілі. аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для студентів всіх форм навчання за напрямком підготовки «Автомобільний транспорт» / М.Г. Левкович, Ю.І. Пиндус, В.О. Тесля, П.В. Босюк Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2016. – 242 с.
4. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133..
5. Lyasuk , OL; Gypka , AB; Tesla , VO Operational methods of increasing the wear resistance of friction pairs of a car . Innovative technologies of development and efficiency of motor transport operation : International scientific and practical Internet conference , Central Ukrainian National Technical University Kropivnitsky , Collection of scientific materials (November , 14-15), Ukraine : Kropivnitsky , 2018, pp . 212-217.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

7. Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. Конспект лекцій з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 296 с.
8. Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 140 с.
9. Теоретико-методичні засади підвищення ефективності використання парку машин в регіональних транспортних системах та підприємствах на основі лізингових відносин / В. В. Аулін, О. Л. Ляшук, А. В. Гриньків [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38). - Ч. 2. - С. 165-180.
10. Абрамов Д.В., Тесля В.О. Визначення доцільності проведення позапланового технічного обслуговування автомобілів за критерієм витрат на паливо в експлуатації / Вісник Національного транспортного університету науково-технічний збірник. – Київ: НТУ, – Випуск 25. – 2012. – С. 286-290.
11. Структурний синтез кузова напівпричепа вантажного автомобіля з техніко-економічним обґрунтуванням / Ів. Б. Гевко, Р. М. Рогатинський, О. Л. Ляшук [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 186–194.
12. Ляшук, О.Л., Гупка, А.Б., Тесля, В.О. Експлуатаційні методи підвищення зносостійкості пар тертя автомобіля / Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту : Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 14-15 листоп. 2018 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. - С. 212-217.

13. Пулька Ч.В., Кузнецов В.Д., Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Наплавлення та напилення» / Ч.В. Пулька, В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 59 с.
14. Dzyura, V., Maruschak, P., Bytsa, R., Komar, R., Teslia, V., & Menou, A. (2025). Failure Analysis of ICE Cylinder Units and Technology for Their Elimination. Eng, 6(7), 152.
15. Абрамов, Д.В. Вплив показників якості палива та технічний стан автомобіля під час руху [Текст] / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля, А.Б. Гупка, М.Д. Сіправська // Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2023. – Т. 8, № 39, ч. II. – С. 169–175.
16. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133.
17. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
18. Тесля В. Особливості зношування шийок колінчастих валів в процесі експлуатації / Тесля В. // Матеріали III Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 22-23 квітня 2010 року — Т. : ТНТУ, 2010 — Том 1. — С. 257.
19. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.