

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 для ремонту
двигуна автомобіля Ford Kuga
з дослідженням стійкості роботи**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Костик І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тесля В.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

П'єнтак М.Д.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Буховець В.М..

(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 Костик Ігор Миронович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект дільниці цеху з ремонту двигуна
автомобіля Ford Kuga з дослідженням стійкості роботи

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 № 4/7-970.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Марка автомобіля Ford Kuga, базовий технологічний
процес ремонту двигуна автомобілів

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 і базування 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>23.12.2025</i>	

Студент

(підпис)

Ігор КОСТИК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ТЕСЛЯ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема даної роботи проект дільниці ремонтного цеху для ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga з дослідженням стійкості роботи.

Дипломна робота присвячена вирішенню актуального завдання створення сучасної, спеціалізованої ремонтної дільниці для двигунів Ford Kuga, що відповідає високим технологічним та економічним вимогам. Основний акцент зроблено на забезпеченні стійкості (стабільності, якості та надійності) як самого технологічного процесу, так і експлуатаційних характеристик відремонтованого агрегату. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Проведено огляд конструктивних особливостей двигунів Ford, проаналізовано статистику їхніх типових відмов та несправностей. На основі аналізу обґрунтовано виробничу програму дільниці та визначено номенклатуру ремонтних робіт.

Розроблено детальний технологічний процес ремонту двигуна від приймання та первинного дефектування до фінального випробування. Обрано прогресивні методи відновлення деталей таких як плазмове напилення. Визначено необхідний склад обладнання (стенди для миття, хонінгування, шліфування, балансування) та розраховано кількість робочих постів. Складено перелік технічної документації.

У конструкторському розділі проведено ключове дослідження. Розглянуто вплив основних технологічних параметрів на показники надійності відремонтованого двигуна. Використано методики статистичного контролю процесу для забезпечення стабільності та мінімізації відхилень у ремонтних операціях. Надано рекомендації щодо забезпечення гарантованого ресурсу після капітального ремонту, що підтверджує стійкість відновлювальних робіт.

Виконано розрахунки капітальних вкладень, необхідних для створення дільниці, розраховано річний економічний ефект, собівартість ремонту та термін окупності проекту. Підтверджено економічну доцільність створення спеціалізованої дільниці.

Розроблено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, промислової санітарії та протипожежної безпеки на дільниці.

В результаті роботи була досягнута поставлена мета – розроблено технологічний проект спеціалізованої дільниці, який забезпечує високоякісний ремонт двигунів Ford Kuga. Проведене дослідження підтвердило можливість досягнення високих показників стійкості технологічного процесу та довговічності відремонтованого агрегату. Проект є економічно ефективним та рекомендований до впровадження.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Двигуни автомобіля Ford та його призначення	10
1.2 Аналіз умов експлуатації для двигунів автомобілів Ford	13
1.3 Основні способи та методи відновлення	16
1.4 Аналіз методів контролю технічного стану двигуна автомобіля	18
1.5 Висновки до першого розділу	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Технологічний процес ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga	21
2.2 Організація робочих місць дільниці ремонту двигунів	26
2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту	28
2.4 Розрахунок основних технологічних параметрів ремонту	30
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Обґрунтування конструкції стенда для розбирання та складання двигуна	34
3.2 Опис роботи та принцип дії стенда	36
3.3 Розрахунок навантажень, що виникають під час фіксації двигуна	39
3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів стенда	42
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	43
4.1 Теоретичні основи стійкості роботи двигуна та методи її оцінки	43
4.2 Дослідження показників стійкості роботи двигуна до та після ремонту ..	44
4.3 Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності ремонту	46

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
5.1 Основні вимоги охорони праці при ремонті двигунів внутрішнього згоряння	53
5.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час механообробки та діагностичних робіт	54
5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища	55
5.4 Розрахунок освітлення робочого місця ділянки ремонту двигунів	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасний автомобільний парк України постійно оновлюється, і значну частку в ньому займають автомобілі класу SUV, зокрема Ford Kuga. Ці автомобілі оснащені високотехнологічними двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), які вимагають специфічних умов та високої кваліфікації для проведення ремонтних робіт. Неналежний ремонт призводить до зниження ресурсу двигуна, збільшення експлуатаційних витрат та погіршення екологічних показників.

Актуальність теми полягає у необхідності створення спеціалізованих дільниць, здатних забезпечити повний цикл ремонту двигунів Ford Kuga з гарантованою якістю, що відповідає заводським стандартам. Це вимагає не лише оснащення сучасним обладнанням, але й розробки технологічних процесів, які забезпечують стійкість роботи як самої дільниці (стабільність якості та продуктивності), так і стійкість функціонування відремонтованого агрегату (його довговічність і надійність).

Мета роботи розробити технологічний проект дільниці цеху з ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga та провести дослідження, яке обґрунтовує стійкість роботи двигуна після проведенні ремонту.

Основним завданням роботи є: проаналізувати технічні характеристики та найбільш поширені експлуатаційні несправності двигунів, що встановлюються на автомобілі Ford; розробити оптимальний технологічний процес відновлення основних вузлів двигуна; спроектувати дільницю, включаючи підбір технологічного та діагностичного обладнання, розрахунок площі та розробку планувального рішення; провести дослідження роботи двигуна на стійкість. виконати економічне обґрунтування проекту, розрахувати основні економічні показники ефективності створення дільниці; розробити заходи з охорони праці та заходи безпеки на спроектованій дільниці.

Об'єкт дослідження є технологічний процес ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga.

Методи дослідження системний аналіз, техніко-економічні розрахунки, методи технологічного проектування, методи статистичного контролю якості та оцінки надійності, графічні методи.

Практична цінність роботи полягає в розробці готового до впровадження проекту ділянки, який дозволить підвищити якість та зменшити собівартість ремонту двигунів Ford Kuga, а також забезпечити їхню подальшу надійну експлуатацію

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Двигуни автомобіля Ford та його призначення

Основне призначення будь-якого двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) в автомобілях є перетворення енергії згоряння палива на механічну енергію, необхідну для руху транспортного засобу.

Двигун виробляє крутний момент, який через трансмісію передається на колеса, забезпечуючи рух. Двигун також приводить у дію допоміжні системи (генератор для живлення електрообладнання, компресор кондиціонера, насос гідропідсилювача керма тощо). Забезпечення необхідних динамічних характеристик, двигун має забезпечувати певний рівень потужності та економічності, що відповідає класу автомобіля (SUV) – як для міської їзди, так і для подолання бездоріжжя (особливо у версіях 4x4).

Двигуни Ford Kuga (переважно рядні 3-х, 4-х, або 5-циліндрові) є типовими представниками сучасних високотехнологічних ДВЗ (бензинових EcoBoost та дизельних TDCi/EcoBlue).

Системи та механізми з яких складається двигун приведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Системи та механізми ДВЗ автомобілів Ford

Механізм/Система	Призначення
Кривошипно-шатунний механізм (КШМ)	Перетворення зворотно-поступального руху поршнів на обертальний рух колінчастого вала. Це основний механізм, який виконує механічну роботу.
Газорозподільний механізм (ГРМ)	Забезпечення своєчасного відкриття/закриття впускних та випускних клапанів для подачі суміші/повітря та виведення вихлопних газів. У двигунах Ford часто використовується ланцюговий привід або ремінний привід.

Система живлення	Подача палива (бензин або дизель) до камер згоряння. У сучасних версіях (EcoBoost, TDCi) це, як правило, безпосереднє (пряме) впорскування та турбонаддув.
Система охолодження	Підтримка оптимального теплового режиму двигуна (зазвичай $90-105^{\circ}\text{C}$), запобігання перегріву та зносу.
Масильна система	Зниження тертя, охолодження та очищення деталей шляхом циркуляції моторної оливи.
Система запалювання	У бензинових двигунах – своєчасне запалювання паливно-повітряної суміші.
Система випуску	Виведення відпрацьованих газів, зниження їх токсичності (каталізатор, сажовий фільтр DPF) та рівня шуму.

Залежно від покоління (Kuga I, Kuga II, Kuga III) та ринку, Ford Kuga оснащувався різними типами ДВЗ, кожен з яких має свої конструктивні особливості, що впливають на ремонт наведено у таблиці 1.2.

Табличка 1.2 – Типові двигуни Ford Kuga та їхні особливості

Тип двигуна	Клас / об'єм	Ключові технології	Особливості	Типові проблеми для ремонту
EcoBoost (Бензин)	1.5 L / 1/6L (1-4)	Турбонаддув, пряме впорскування (GDI), Змінні фази ГРМ (Ti-VCT)	Висока потужність при малому об'ємі, добра паливна економічність	Нагароутворення на впускних клапанах (через GDI), чутливість до перегріву (1.6L EcoBoost), знос турбокомпресора.

EcoBoost (Бензин)	2.0L (1-4)	Турбонаддув, Пряме впорскування, Посилений блок, Низькоінерційна турбіна.	Висока продуктивність, збалансована робота.	Складність ремонту ГБЦ, підвищені вимоги до системи охолодження та мастила, знос ланцюга ГРМ (у деяких версіях).
TDCi / EcoBlue (Дизель)	2.0L (1-4) Duratorq	Система Common Rail високого тиску, Турбіна зі змінною геометрією, Фільтр сажі DPF, Система EGR.	Високий крутний момент, відмінна паливна економічність, надійність блоку.	Чутливість паливної апаратури до неякісного палива, засмічення DPF та EGR, проблеми з турбіною, знос двомасового маховика (у МКПП).
TDCi / EcoBlue (Дизель)	1.5L (1-4)	Common Rail, Турбонаддув, DPF, Низький рівень викидів.	Відповідає останнім екологічним стандартам (Euro 6).	Типові проблеми дизельних систем (DPF, форсунки), складність ремонту через компактність розміщення в моторному відсіку.

Таблиця 1.2 допомагає визначити наступні параметри. Спеціалізацію дільниці що вказує на необхідність відповідного обладнання якщо ви зосереджуєтеся на EcoBoost, потрібно інвестувати у пристрої для чищення клапанів від нагару та високоточне обладнання для ремонту головки блоку циліндрів ГБЦ.

Визначити який перелік обладнання є необхідним, якщо переважають TDCi, необхідні стенди для діагностики та ремонту форсунок Common Rail, а також обладнання для обслуговування DPF.

Дослідження стійкості роботи двигуна, може бути зосереджене на методах, які мінімізують вплив цих типових проблем (наприклад, розробка технологічного процесу відновлення герметичності ГБЦ для EcoBoost або забезпечення точності ремонту паливної апаратури для TDCi).

1.2 Аналіз умов експлуатації для двигунів автомобілів Ford

Умови експлуатації сучасних двигунів Ford Kuga (EcoBoost та TDCi) значно відрізняються від умов, на які вони були розраховані в ідеальних лабораторних умовах. Ці умови є головною причиною зносу та виникнення типових несправностей.

Таблиця 1.3 – Кліматичні та дорожні умови

Фактор	Вплив на двигун та його системи	Значення для ремонтної дільниці
Низькі температури (зима)	Збільшення в'язкості оливи, що ускладнює "холодний пуск" та посилює знос КШМ до прогріву. Агресивна дія солей та реагентів на зовнішні елементи та патрубки.	Необхідність ремонту систем пуску (стартер, свічки) та усунення течії сальників через підвищений тиск у картерних газах.

Високі температури (літо)	Ризик перегріву, особливо у заторах. Підвищене теплове навантаження на турбіну та систему охолодження.	Збільшення ймовірності пошкодження прокладок ГБЦ, деформації ГБЦ, потреба у ревізії радіаторів та насосів.
Пил та бруд (українські дороги)	Прискорене засмічення повітряних та паливних фільтрів. Абразивний знос циліндро-поршневої групи (ЦПГ) у разі порушення герметичності системи впуску.	Ремонт ЦПГ, потреба у високоякісному чищенні та промиванні двигуна перед дефектуванням.
Висока вологість	Корозія електронних компонентів та роз'ємів, утворення конденсату в паливному баку (особливо у дизельних TDCi).	Діагностика електроніки, ремонт паливної системи (для дизелів).

Режим, у якому використовується автомобіль, є вирішальним фактором, що визначає тип несправностей.

Міський цикл (Stop-and-Go)

Особливостями такого режиму є часті запуски, тривала робота на холостому ходу, короткі поїздки, постійні розгони та гальмування. Як наслідки для двигуна EcoBoost збільшене нагароутворення на впускних клапанах (через неповне прогрівання двигуна та низькі оберти). А для двигуна TDCi Передчасне засмічення сажового фільтра (DPF) та системи EGR через недостатню температуру для самоочищення (регенерації). Як наслідок спрацювання системи запалювання та швидке "старіння" оливи.

Режим траса (високі швидкості)

Особливостями такого режиму є тривала робота на високих обертах та під високим навантаженням. Як наслідки для двигуна EcoBoost/TDCi підвищене теплове та механічне навантаження на турбокомпресор та КШМ.

Ризик термічного руйнування оливи, що призводить до відкладень. Ризик перегріву двигуна та пов'язані з цим проблеми з ГБЦ.

Якість витратних матеріалів

Незважаючи на високу технологічність двигунів Ford, вони надзвичайно чутливі до якості палива та мастильних матеріалів таблиця 1.4

Таблиця 1.4 – Якість витратних матеріалів

Матеріал	Вплив неналежної якості	Зв'язок з ремонтом
Паливо (бензин/ дизель)	Низьке октанове/цетанове число, вміст сірки, води. Для TDCi – пошкодження прецизійних елементів паливної апаратури Common Rail. Для EcoBoost – детонація та нагари.	Потреба у складному ремонті паливної апаратури (форсунки, ТНВД), шліфування ГБЦ.
Моторна олива	Неналежна специфікація (наприклад, відсутність допуску Ford WSS-M2C948-B для EcoBoost), рідкісна заміна.	Утворення лакових відкладень, забивання оливних каналів, передчасний знос турбокомпресора та гідрокомпенсаторів.

Вплив на стійкість роботи

Аналіз умов експлуатації підводить нас до висновку, що стійкість роботи (тобто довговічність і надійність) відремонтованого двигуна безпосередньо залежить від того, наскільки якісно були відновлені вузли, найбільш схильні до зносу в складних умовах. Тому потрібно забезпечити точні зазори в (для компенсації теплових режимів), відновити герметичність системи впуску (для захисту від абразиву) та забезпечити ідеальну роботу паливної системи (для захисту від поганого палива).

Програму ремонту слід формувати з урахуванням найбільш поширених робіт: ремонт ГБЦ (EcoBoost), ремонт паливної системи та DPF (TDCi), ремонт турбокомпресорів.

Технологічний процес має включати операції, що мінімізують вплив агресивних умов, наприклад, високоякісне ультразвукове чищення деталей та стендове випробування двигуна в режимах, що імітують навантаження (для перевірки стійкості до перегріву).

1.3 Основні способи та методи відновлення

Цей розділ присвячений аналізу та вибору найбільш ефективних методів відновлення ключових деталей двигуна Ford Kuga (EcoBoost, TDCi), зважаючи на їхню високу технологічність, вимоги до точності та необхідність забезпечення стійкості роботи після ремонту.

Вибір методу відновлення залежить від характеру зносу, матеріалу деталі, її конструкції та вимог до точності (допусків). Основні способи, що застосовуються в умовах спеціалізованої ремонтної дільниці показано на рисунку 1.5.

Таблиця 1.5 – Класифікація методів відновлення

Спосіб відновлення	Призначення	Приклади деталей
Відновлення розмірів	Нарощування втраченого матеріалу для повернення номінального або ремонтного розміру.	Шийки колінчастого вала, розподільні вали, посадочні місця.
Усунення дефектів	Видалення тріщин, деформацій, раковин та пошкоджень поверхні.	Головка блоку циліндрів (ГБЦ), блок циліндрів.
Заміна деталей	Використання ремонтних комплектів або нових деталей.	Втулки, кільця, вкладиші, клапани, гільзи (при значному зносі).

Детальний огляд основних методів. Відновлення колінчастого вала (КШМ). Колінчастий вал є однією з найвідповідальніших деталей. Знос його шийок усувається наступними методами. Шліфування під ремонтний розмір який є найпоширеніший метод. Полягає у знятті шару металу з корінних та шатунних шийок до найближчого ремонтного розміру, встановленого виробником (наприклад, -0.25 мм, -0.50 мм). Після шліфування обов'язково проводиться полірування для досягнення необхідної чистоти поверхні та динамічне балансування валу. Відновлення Нарощуванням: Застосовується рідше, переважно для шийок, зношених понад максимально допустимий ремонтний розмір. Використовується вібродугове наплавлення або хромування з наступним шліфуванням.

Відновлення головки блоку циліндрів (ГБЦ) у двигунах EcoBoost та TDCi є складною, багатоканальною деталлю, схильною до перегріву та деформації.

Видалення деформації (фрезерування / шліфування): відновлення площини прилягання до блоку циліндрів. Критично важливо дотримуватися мінімально допустимої висоти ГБЦ, щоб не порушити ступінь стиснення.

Ремонт сідел та клапанів за допомогою відновлення герметичності клапанного механізму. Проводиться притирання клапанів до сідел або заміна сідел (з подальшою обробкою на спеціалізованих верстатах, наприклад, методом трикутної фрези).

Ремонт нарізних отвортів за допомогою відновлення пошкоджених різьбових з'єднань (наприклад, для кріплення свічок, болтів ГБЦ) за допомогою футорок (різьбових вставок).

Відновлення блоку циліндрів допомогою розточування та хонінгування циліндрів видалення еліптичності та конусності циліндрів до ремонтного розміру. Після розточування проводиться хонінгування фінішна обробка, що створює спеціальний мікрорельєф (хон-сітку) для утримання оливи та прискореного притирання нових поршневих кілець.

Гільзування застосовується при критичному зносі або пошкодженні (тріщини, задири), коли розточування під наступний ремонтний розмір

неможливе. Встановлюються нові "мокрі" або "сухі" гільзи, які потім розточуються до номінального розміру.

Відновлення площини прилягання: Як і ГБЦ, блок циліндрів може потребувати фрезерування/шліфування площини.

Спеціалізовані методи для систем TDCi та EcoBoost. Очищення від нагару (EcoBoost) у зв'язку з прямим впорскуванням палива, на впускних клапанах утворюється нагар. Використовується бластинг (очищення м'якими гранулами) або ультразвукове чищення.

Ремонт паливної апаратури (TDCi) вимагає стерильної чистоти. Форсунки та ТНВД діагностуються на спеціальних стендах. Відновлення полягає у заміні розпилювачів, регулюванні тиску та подачі палива, а також обов'язковому кодуванні форсунок під блок керування двигуном.

Усі вибрані методи відновлення мають забезпечувати не лише відновлення геометричних параметрів, але й довготривалу стійкість роботи двигуна. Це досягається за рахунок дотримання вимог OEM: Використання виключно ремонтних розмірів, допусків та чистоти обробки, встановлених виробником (Ford).

Контроль якості обов'язковий багатоступеневий контроль розмірів, неруйнівний контроль (дефектоскопія) тріщин у блоці та ГБЦ, а також стендові випробування вузлів (ГБЦ на герметичність, форсунок на подачу).

Використання якісних комплектуючих застосування оригінальних або сертифікованих ремонтних комплектів (вкладиші, кільця, прокладки).

1.4 Аналіз методів контролю технічного стану двигуна автомобіля

Проведено огляду та систематизації методів діагностики, що використовуються для встановлення технічного стану двигунів Ford Kuga. Якісна діагностика є першим і найважливішим етапом ремонту, що забезпечує стійкість усього технологічного процесу та запобігає необґрунтованому розбиранню справних або незначно пошкоджених вузлів.

Таблиця 1.5 – Класифікація методів контролю

Група методів	Принцип дії	Приклади обладнання
Нерозбірні (без розбирання)	Оцінка стану двигуна за його зовнішніми проявами (шуми, вібрації, параметри роботи, склад вихлопу) та характеристиками рідин	Діагностичні сканери, газоаналізатори, осцилографи, компресометри
Розбірні (з розбиранням)	Вимірювання геометричних параметрів та оцінка фізичного стану деталей після демонтажу	Нутроміри, мікрометри, калібри, дефектоскопи

1.5 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу конструктивних особливостей, умов експлуатації та методів діагностики двигунів автомобіля Ford Kuga, можна зробити наступні висновки:

Складність об'єкта проектування двигуни серій EcoBoost та TDCi/EcoBlue є високотехнологічними агрегатами з високим ступенем форсування, що потребує впровадження на ділянці спеціалізованого обладнання для роботи з системами турбонаддуву, безпосереднього впорскування та складними механізмами газорозподілу.

Вплив умов експлуатації аналіз показав, що основними факторами, які знижують ресурс двигунів у вітчизняних умовах, є нестабільна якість пально-мастильних матеріалів та важкі режими руху (міський цикл). Це зумовлює високий попит на роботи з очищення паливної системи, ремонту ГБЦ та обслуговування систем екологічного контролю (DPF/EGR).

Обґрунтування методів діагностики встановлено, що для забезпечення стійкості результатів ремонту необхідно застосовувати комплексний підхід до

контролю технічного стану. Пріоритетними є методи нерозбірної діагностики (електронне сканування, тест на герметичність циліндрів) у поєднанні з високоточним інструментальним дефектуванням розібраного двигуна.

Концепція дільниці проектної дільниці повинна базуватися на технологіях, що мінімізують вплив людського фактора. Використання сучасних методів відновлення (хонінгування з плато-ефектом, відновлення площин ГБЦ) дозволить досягти технічних параметрів, максимально наближених до заводських, що гарантує надійність та стабільну роботу двигуна в подальшій експлуатації.

Таким чином, результати аналізу першого розділу є теоретичним та практичним підґрунтям для розробки технологічного процесу та планувального рішення ремонтної дільниці у наступних розділах роботи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технологічний процес ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga

Технологічний процес ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga формується як послідовність логічно взаємопов'язаних операцій, метою яких є не лише відновлення працездатності силового агрегату, а й забезпечення стабільності його роботи у широкому діапазоні режимів. На відміну від спрощеного підходу заміни несправних елементів, сучасний ремонт орієнтується на системне втручання у стан вузлів, що визначають газодинаміку, тепловий баланс та механічну узгодженість деталей.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд двигуна автомобіля Ford Kuga

Початковим етапом процесу є прийнятно діагностичні роботи, під час яких уточнюється характер несправностей, ступінь зносу та доцільність капітального або часткового ремонту. Саме на цій стадії закладається технологічна траєкторія всього процесу, оскільки рішення про глибину розбирання безпосередньо впливає на трудомісткість, тривалість та економічну ефективність ремонту двигуна.

Додатково, на діагностичному етапі обов'язково проводиться аналіз параметрів роботи двигуна за допомогою бортового діагностичного інтерфейсу, фокусуючись на показниках корекції подачі палива та тестах на пропуски запалювання, які є числовими індикаторами нерівномірності та нестабільності роботи окремих циліндрів. Ці кількісні дані слугують базовою точкою відліку для подальшої оцінки ефективності ремонту у науково-дослідному розділі.

Далі виконується демонтаж силового агрегату з моторного відсіку з дотриманням вимог безпеки та збереження геометричної цілісності суміжних систем. Особливу увагу приділяють електронним компонентам керування двигуном, оскільки їх пошкодження або некоректне повторне підключення можуть призвести до нестійкої роботи після завершення механічного ремонту.

Операції розбирання двигуна здійснюються у суворо визначеній послідовності, що забезпечує мінімізацію вторинних пошкоджень та збереження діагностичної інформації. Зняття головки блока циліндрів, кривошипно шатунного механізму та газорозподільного механізму виконується з урахуванням заводських допусків і рекомендацій виробника, що є особливо актуальним для двигунів із високим ступенем форсування.

Суворе дотримання технології розбирання передбачає ослаблення болтів головки блока циліндрів у послідовності, протилежній затягуванню, з метою запобігання виникненню залишкових напружень та деформацій у матеріалі ГБЦ, що критично важливо для збереження її площинності. Цей запобіжний захід є прямим внеском у майбутню герметичність камери згоряння та, як наслідок, у стійкість роботи двигуна після складання.

Етап дефектації є ключовим з точки зору науково обґрунтованого підходу до ремонту, оскільки саме тут відбувається перехід від якісних ознак

несправності до кількісних параметрів зносу. Вимірювання діаметрів, овальності, конусності та стану поверхонь тертя дозволяють не лише ухвалити рішення щодо відновлення або заміни деталей, а й сформулювати уявлення про причини порушення стійкості роботи двигуна.

Важливою, але часто недооціненою особливістю технологічного процесу є вплив послідовності відновлювальних операцій на подальшу рівномірність обертання колінчастого вала. Наприклад, невраховані відхилення маси шатунно поршневої групи після заміни окремих елементів можуть зумовити зростання крутильних коливань, що безпосередньо пов'язує технологічний розділ із науково дослідним аналізом стійкості роботи.

Під час складання двигуна особливої уваги вимагає контроль затягування всіх відповідальних різьбових з'єднань, який здійснюється динамометричними ключами з обов'язковим подальшим дотягуванням на певний кут. Це гарантує створення необхідного попереднього натягу та запобігає динамічному розслабленню, що має пряме відношення до надійності фіксації деталей та загальної довговічності агрегату.

Завершальним етапом є складання двигуна з контролем моментів затягування, осьових зазорів та фаз газорозподілу, після чого проводяться пуско налагоджувальні роботи. Саме тут технологічний процес переходить у площину експериментальної перевірки, створюючи основу для подальших досліджень ефективності ремонту та підтвердження відновлення стабільних режимів роботи двигуна.

Розроблений технологічний процес (ТП) капітального ремонту двигуна автомобіля Ford Kuga (на прикладі 2.0 TDCi / EcoBoost) є ключовим елементом проекту дільниці. Він структурований таким чином, щоб забезпечити максимальну якість, мінімізувати простой та гарантувати стійкість функціонування агрегату після відновлення. ТП ремонту складається з послідовних етапів.

Таблиця 2.1 – Приймання та первинна діагностика

№ з/п	Операція	Мета	Використовуване Обладнання
1	Приймання та ідентифікація	Реєстрація двигуна, перевірка VIN-коду, оформлення наряду-замовлення	Реєстраційний журнал, комп'ютер
2	Первинна нерозбірна діагностика	Виявлення несправностей, підтвердження необхідності капітального ремонту	Діагностичний сканер (VCM), тестер компресії/герметичності, ендоскоп
3	Демонтаж та від'єднання агрегатів	Зняття двигуна з автомобіля та демонтаж навісного обладнання (турбіна, стартер, генератор, форсунки)	Кран-балка (таль), спеціальні знімачі

Таблиця 2.2 – Розбирання, миття та дефектування

№ з/п	Операція	Мета	Вимоги до стійкості/якості
1	Розбирання двигуна	Повне розбирання на окремі вузли та деталі (ГБЦ, блок, КШМ, ГРМ).	Строга послідовність та маркування деталей, що забезпечує правильне складання.
2	Миття та очищення	Видалення нагару, відкладень оливи та технічних рідин.	Використання ультразвукових ванн або мийних машин високого тиску з нагріванням, особливо для блоку та ГБЦ.
3	Дефектування та вимірювання	Оцінка ступеня зносу та вибір методу відновлення (ремонт, заміна).	Вимірювання нутромірами, мікрометрами. Обов'язковий неруйнівний контроль (магнітопорошковий) для виявлення мікротріщин.

Етап відновлення та ремонт вузлів є найбільш критичним і вимагає високоточного обладнання.

Таблиця 2.3 – Відновлення та ремонт вузлів

№ з/п	Операція	Обладнання
1	Контроль та відновлення площини	Шліфувальний/фрезерувальний верстат.
2	Ремонт клапанного механізму	Верстат для обробки сідел клапанів (наприклад, трикутна фреза), пристрій для шліфування клапанів.
3	Контроль герметичності	Стенд для опресування ГБЦ (підігрів та тиск).

Таблиця 2.4 – Ремонт блоку циліндрів та КШМ

№ з/п	Операція	Обладнання
1	Розточування циліндрів	Розточувальний верстат.
2	Хонінгування циліндрів	Хонінгувальний верстат (для створення хон-сітки).
3	Ремонт колінчастого вала	Шліфувальний та полірувальний верстат для колінчастих валів.
4	Балансування КШМ	Динамічний балансувальний стенд.

Таблиця 2.5 – Ремонт спеціалізованих систем (особливо для TDCi)

№ з/п	Операція	Призначення
1	Ремонт/діагностика форсунок	Стенд для ремонту Common Rail. Заміна розпилювачів, регулювання, присвоєння нових кодів корекції.
2	Ремонт турбокомпресора	Стенд для балансування ротора та регулювання геометрії турбіни.

Таблиця 2.6 – Складання та випробування

№ з/п	Операція	Мета	Ключовий контроль якості
1	Контрольне вимірювання деталей	Фінальна перевірка всіх допусків перед складанням	Мікрометри, нутроміри, калібри
2	Складання двигуна	Складання блоку, ГБЦ, встановлення ГРМ та навісного обладнання	Суворе дотримання моментів затягування (заводські специфікації Ford) та використання нового кріплення (особливо для болтів ГБЦ)
3	Стендове випробування (обкатка)	Перевірка роботи двигуна на різних режимах навантаження, контроль тиску оливи, температури та відсутності течі	Спеціалізований випробувальний стенд з можливістю імітації навантаження
4	Монтаж двигуна на автомобіль	Встановлення двигуна та підключення всіх систем	Контроль підключення електроніки та вакуумних ліній
5	Фінальна діагностика	Комп'ютерна адаптація, кодування форсунок (для TDCi), контроль параметрів роботи	Діагностичний сканер, фінальний тест-драйв

2.2 Організація робочих місць дільниці ремонту двигунів

Організація робочих місць дільниці ремонту двигунів визначає не лише зручність виконання операцій, а й стабільність якості результату. У сучасних

умовах робоче місце розглядається як елемент технологічної системи. Тут просторове розташування обладнання, інструменту та виконавця безпосередньо впливає на точність і повторюваність ремонтних операцій.

Планування дільниці передбачає функціональне зонування, при якому операції розбирання, дефектації, механообробки та складання логічно розділені, але не ізольовані. Такий підхід зменшує непродуктивні переміщення деталей і персоналу, що позитивно позначається на тривалості ремонту та зниженні втомлюваності працівників.

Критичним параметром для зони складання є клас чистоти повітря, який має бути значно вищим, ніж у зоні розбирання та миття, оскільки найменші абразивні частинки (розміром менше 5 мкм) можуть утворити осередки передчасного зношування. Тому використання систем фільтрації та підтримка надлишкового тиску в чистій зоні є не просто рекомендацією, а технологічною необхідністю для гарантування довговічності відновленого двигуна.

Робочі місця для розбирання і складання двигунів обладнуються стендами з можливістю фіксації агрегату у різних просторових положеннях. Це дозволяє виконувати операції з дотриманням ергономічних вимог і знижує ризик перекосів та локальних перевантажень деталей під час монтажу.

Зона дефектації потребує особливої організації, оскільки саме тут концентрується вимірювальне обладнання та контрольно діагностичні прилади. Освітлення, мікроклімат і чистота поверхонь мають критичне значення для достовірності вимірювань, що безпосередньо впливає на правильність подальших технологічних рішень.

Організація зони механічної обробки (наприклад, для розточування блоку або шліфування колінчастого вала) повинна мінімізувати вібрації, що передаються від іншого обладнання. Це досягається шляхом встановлення високоточних верстатів на індивідуальні антивібраційні фундаменти, оскільки навіть мікроскопічні коливання можуть спотворити геометричну точність обробки, що безпосередньо вплине на посадки та зазори в двигуні.

Рациональна організація робочих місць також передбачає чітке розмежування потоків чистих і забруднених деталей. Недотримання цього

принципу часто стає прихованою причиною передчасного зносу після ремонту, оскільки абразивні частинки можуть потрапляти у зони тертя ще на етапі складання двигуна.

Цікавим технічним спостереженням є той факт, що стабільність роботи двигуна після ремонту частково формується саме на рівні організації дільниці. Навіть ідеально виконані операції можуть не дати очікуваного ефекту, якщо під час складання виникають мікрозабруднення або температурні деформації деталей через невідповідні умови робочого місця.

Таким чином, організація дільниці ремонту двигунів виступає не фоновим, а активним фактором технологічного процесу, який логічно пов'язує виробничу частину проєкту з питаннями надійності та стійкості роботи силового агрегату, що розглядаються у наступних розділах.

2.3 Обґрунтування вибору обладнання та інструменту

Вибір обладнання та інструменту для ремонту двигуна Ford Kuga базується на поєднанні універсальності та спеціалізації. Сучасні силові агрегати мають високу точність виготовлення, тому ремонтні засоби повинні забезпечувати не гірші умови обробки і контролю, ніж ті, що застосовуються на виробництві.

Основу оснащення дільниці становлять стенди для розбирання і складання двигунів, мийні установки, вимірювальний інструмент та пристрої для контролю геометрії деталей. Особливе значення мають динамометричні ключі, оскільки правильне формування зусиль затягування безпосередньо впливає на напружений стан з'єднань і рівномірність навантаження вузлів.

Для дефектації деталей використовуються мікрометри, нутроміри, індикатори годинникового типу та прилади для контролю шорсткості поверхонь. Саме поєднання різних методів вимірювання дозволяє отримати повну картину технічного стану деталей, а не обмежуватися формальним підтвердженням відповідності допускам.

Таблиця 2.7 – Основне технологічне обладнання дільниці

Найменування обладнання	Призначення	Технічна характеристика
Стенд-кантувач для двигуна	Розбирання та складання ДВЗ	Вантажопідйомність до 500 кг, поворот на 360°
Ультразвукова мийна ванна	Очищення деталей від нагару та мастила	Об'єм 60-100 л, підігрів розчину
Стенд для перевірки герметичності ГБЦ	Виявлення мікротріщин у "сорочці" охолодження	Робочий тиск до 0,6 МПа, нагрів води
Верстат для притирання клапанів	Обробка фасок клапанів та сідел	Пневматичний або електричний привід

Таблиця 2.8 – Комплект інструменту для дефектації та контролю параметрів

Тип інструменту	Об'єкт контролю	Точність вимірювання
Мікрометр гладкий (0-100 мм)	Шийки колінчастого вала, поршні	0,01 мм
Нутромір індикаторний	Циліндри блоку, постелі валів	0,01 мм
Динамометричні ключі (різних діапазонів)	Контроль моменту затягування кріплення	Похибка $\pm 3-4\%$
Набір щупів та повірочна лінійка	Площинність ГБЦ та блоку циліндрів	Крок 0,02 мм

При виборі обладнання для механообробки або відновлення деталей враховується доцільність виконання операцій безпосередньо на дільниці або із залученням спеціалізованих підприємств. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати і зосередити зусилля на операціях, що найбільше впливають на кінцеву якість ремонту.

Інструмент для складання двигуна підбирається з урахуванням доступу до вузлів у обмеженому просторі та мінімізації контактних напружень. Неправильно підібраний або зношений інструмент може стати причиною мікропошкоджень різьбових з'єднань, які з часом трансформуються у порушення герметичності або нестійку роботу двигуна.

Менш очевидним, але принципово важливим є вплив точності інструменту на подальші динамічні характеристики двигуна. Навіть незначні відхилення моментів затягування можуть змінювати жорсткість вузлів, що відображається на спектрі коливань і рівномірності обертання колінчастого вала.

Таким чином, обґрунтований вибір обладнання та інструменту створює технічний фундамент для реалізації технологічного процесу і безпосередньо пов'язує виробничу частину проєкту з дослідженням стійкості роботи двигуна у науково дослідному розділі.

2.4 Розрахунок основних технологічних параметрів ремонту

Розрахунок основних технологічних параметрів ремонту двигуна є необхідним етапом для обґрунтування організаційних і технічних рішень проєкту. Він дозволяє перейти від описового рівня до кількісної оцінки можливостей дільниці та забезпечити відповідність між обсягом робіт і ресурсами.

Визначення обсягу ремонтних операцій базується на аналізі середньої трудомісткості розбирання, дефектації, відновлення і складання двигуна Ford Kuga. Загальна річна трудомісткість ремонтної дільниці ($T_{\text{заг}}$) розраховується як сума трудомісткостей кожного виду робіт, помножених на річну виробничу програму та коефіцієнт технологічної надійності. Математично це виражається формулою:

$$T_{\text{заг}} = N \cdot \left(\sum_{i=1}^m t_{pi} \right) \cdot K_{\text{тн}}$$

де N – річна програма ремонту двигунів, од.;

t_{pi} – нормативна трудомісткість i -ї операції, люд.-год.;

m – кількість операцій;

K_{th} – коефіцієнт технічної надійності (зазвичай $1,05 \leq K_{th} \leq 1,1$). На основі загальної трудомісткості визначається необхідна чисельність виробничого персоналу дільниці (χ_{vir}). Розрахунок проводиться шляхом ділення загальної річної трудомісткості на ефективний річний фонд робочого часу одного працівника (Φ_{ef}):

$$\chi_{vir} = \frac{T_{zag}}{\Phi_{ef} \cdot K_{vh}}$$

де Φ_{ef} – ефективний річний фонд часу одного робітника, год.;

K_{vh} – коефіцієнт виконання норм виробітку (зазвичай $K_{vh} \geq 1,0$).

Пропускна здатність дільниці визначається її здатністю видавати готову продукцію через певні проміжки часу. Ритм виробництва (R) характеризує інтервал часу між випуском двох послідовних відремонтованих двигунів і розраховується за формулою

$$R = \frac{T_{zm} \cdot 60}{N_{zm}}$$

де T_{zm} – тривалість зміни, год.;

N_{zm} – кількість двигунів, які необхідно відремонтувати за зміну, од.

Чим менший і стабільніший R тим більш рівномірним є виробничий процес. Стабільність ритму безпосередньо впливає на якість складання: відсутність поспіху дозволяє суворо дотримуватися моментів затягування різьбових з'єднань та зазорів, що є критичним для двигунів Ford Kuga.

Отже, розрахунок технологічних параметрів ремонту виконує не лише планувальну функцію, а й створює передумови для досягнення високої якості та стійкості роботи двигуна, що логічно поєднує цей підпункт із подальшими конструкторськими та науково-дослідними розділами проєкту.

Розрахунок тривалості ремонту одного двигуна дає змогу оцінити пропускну здатність дільниці та її відповідність виробничим потребам. Цей показник є особливо важливим у контексті стабільності технологічного процесу, оскільки надмірне скорочення часу часто супроводжується зниженням точності виконання операцій.

Окрему увагу приділяють узгодженню технологічних параметрів із вимогами контролю якості. Закладення резерву часу на перевірочні операції підвищує ймовірність виявлення прихованих дефектів, які можуть проявитися лише на етапі експлуатації двигуна.

Пропускна здатність дільниці ($\Pi_{зд}$) визначається як відношення ефективного фонду часу роботи обладнання до технологічного часу виконання найдовшої операції. Звідси виводиться ритм виробництва (R), що характеризує інтервал часу між випуском двох послідовних відремонтованих двигунів. Цей ритм є ключовим для синхронізації роботи дільниці та забезпечення стабільності постачання:

$$R = \frac{T_{зм}}{N_{зм}}$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни (годин), а $N_{зм}$ – кількість двигунів, які необхідно відремонтувати за зміну. Чим менший і стабільніший R , тим більш рівномірний виробничий процес.

Цікавим технічним аспектом є взаємозв'язок між організаційними розрахунками та динамічною стабільністю двигуна. Практика показує, що перевантажені графіки ремонту підвищують ризик накопичення малих похибок складання, які у сукупності впливають на рівномірність роботи силового агрегату.

Отже, розрахунок технологічних параметрів ремонту виконує не лише планувальну функцію, а й створює передумови для досягнення високої якості та стійкості роботи двигуна, що логічно поєднує цей підпункт із подальшими конструкторськими та науково дослідними розділами проєкту.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування конструкції стенда для розбирання та складання двигуна

Конструкція стенда для розбирання та складання двигуна автомобіля Ford Kuga є ключовим елементом усього ремонтного процесу. Саме стенд визначає, наскільки контрольованими будуть зусилля, переміщення та просторове положення силового агрегату під час виконання операцій. У цьому сенсі стенд розглядається не як допоміжне обладнання, а як інженерний інструмент, що формує якість ремонту.

Сучасний двигун Ford Kuga має складну компоновку, високу масу та значну кількість навісних вузлів. Це вимагає надійної фіксації агрегату у різних просторових положеннях. Конструкція стенда повинна забезпечувати поворот двигуна навколо горизонтальної осі без втрати стійкості та без створення додаткових напружень у кріпильних зонах.

Основою стенда обрано зварну рамну конструкцію з профільного металу. Такий підхід поєднує жорсткість, технологічність виготовлення та ремонтпридатність. Рамна схема дозволяє рівномірно розподіляти навантаження та знижує ризик локальних деформацій під час роботи з двигуном.

Вузол кріплення двигуна до стенда проектується з урахуванням штатних точок монтажу. Це дозволяє уникнути несанкціонованих силових впливів на корпусні деталі. Крім того, використання заводських отворів мінімізує ризик виникнення прихованих мікротріщин.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики спроектованого стенда

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, кг	550 (з запасом під 2.0 TDCi)
Кут повороту агрегату, град.	360
Механізм повороту	Черв'ячний самогальмівний редуктор
Тип рами	Зварна посилена, пересувна
Маса стенда, кг	65

Одним із критичних параметрів, що підлягає конструктивному обґрунтуванню, є коефіцієнт стійкості стенда ($K_{ст}$), особливо коли двигун повернений і його центр мас максимально віддалений від осі обертання. Для гарантування безпеки та стабільності роботи, цей коефіцієнт має бути значно більшим за одиницю. Розрахунок проводиться як відношення відновлюючого моменту ($M_{відн}$) до перекидного моменту ($M_{пер}$):

$$K_{ст} = \frac{M_{відн}}{M_{пер}} \geq [K]$$

де $[K]$ – нормативний коефіцієнт запасу стійкості, що зазвичай береться $1.5 \leq [K] \leq 2.0$.

Варто відзначити, що поворотний механізм стенда виконується з можливістю фіксації у декількох проміжних положеннях. Це спрощує доступ до вузлів двигуна під час розбирання і складання. Таке рішення також підвищує точність виконання операцій, оскільки майстер працює у зручному та стабільному положенні.

Крім того, необхідно врахувати, що окрема увага приділяється питанню стійкості стенда під час повороту двигуна. Центр мас силового агрегату змінює своє положення, що створює додаткові моменти. Конструкція основи стенда передбачає запас по ширині та масі для компенсації цих ефектів.

Менш очевидним є вплив конструкції стенда на точність складання, але саме цей аспект має принципове значення. Якщо фіксація двигуна є недостатньо жорсткою, виникають мікропереміщення. Вони можуть призводити до перекосів під час затягування різьбових з'єднань.

Як показує практика, саме на цьому етапі закладаються передумови для рівномірності обертання колінчастого вала після ремонту. Стабільне положення двигуна знижує ймовірність накопичення похибок. Це напряду пов'язує конструкторське рішення зі стійкістю роботи двигуна.

Таким чином, обґрунтована конструкція стенда є логічним продовженням технологічного розділу. Вона створює фізичну основу для реалізації точних ремонтних операцій. Надалі це дозволяє коректно оцінювати результати відновлення у науково дослідному розділі.

3.2 Опис роботи та принцип дії стенда

Робота стенда для розбирання та складання двигуна базується на принципі жорсткої фіксації агрегату з можливістю контрольованого обертання. У вихідному положенні стенд забезпечує надійну підтримку двигуна у горизонтальній площині. Це положення є основним для виконання більшості монтажних операцій.

Стенд для статичних випробувань двигунів.

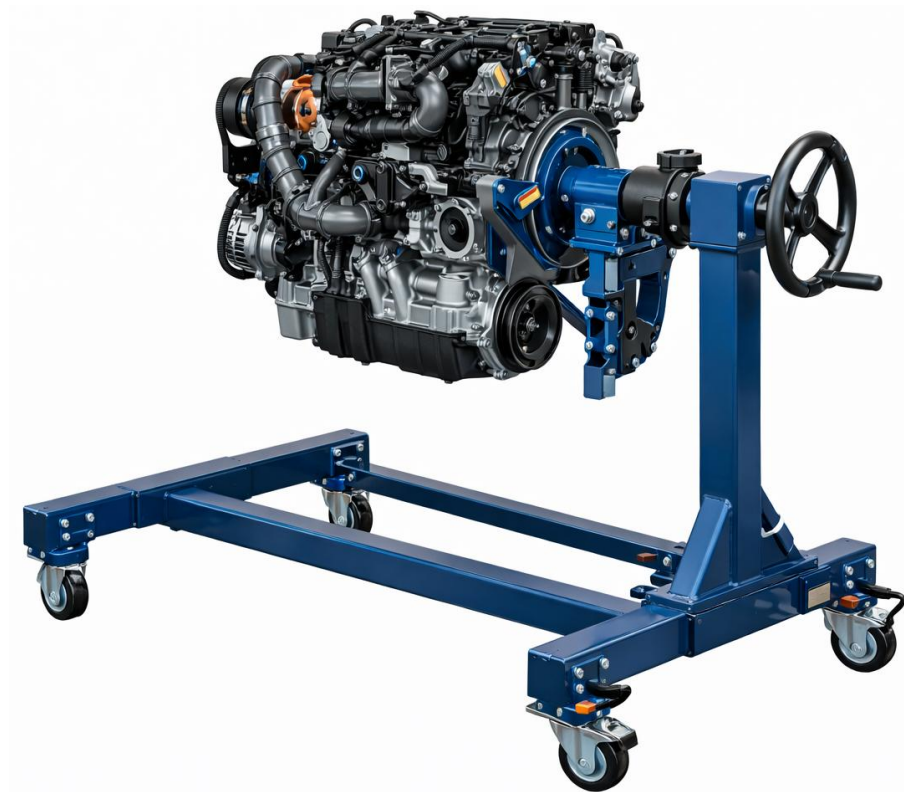


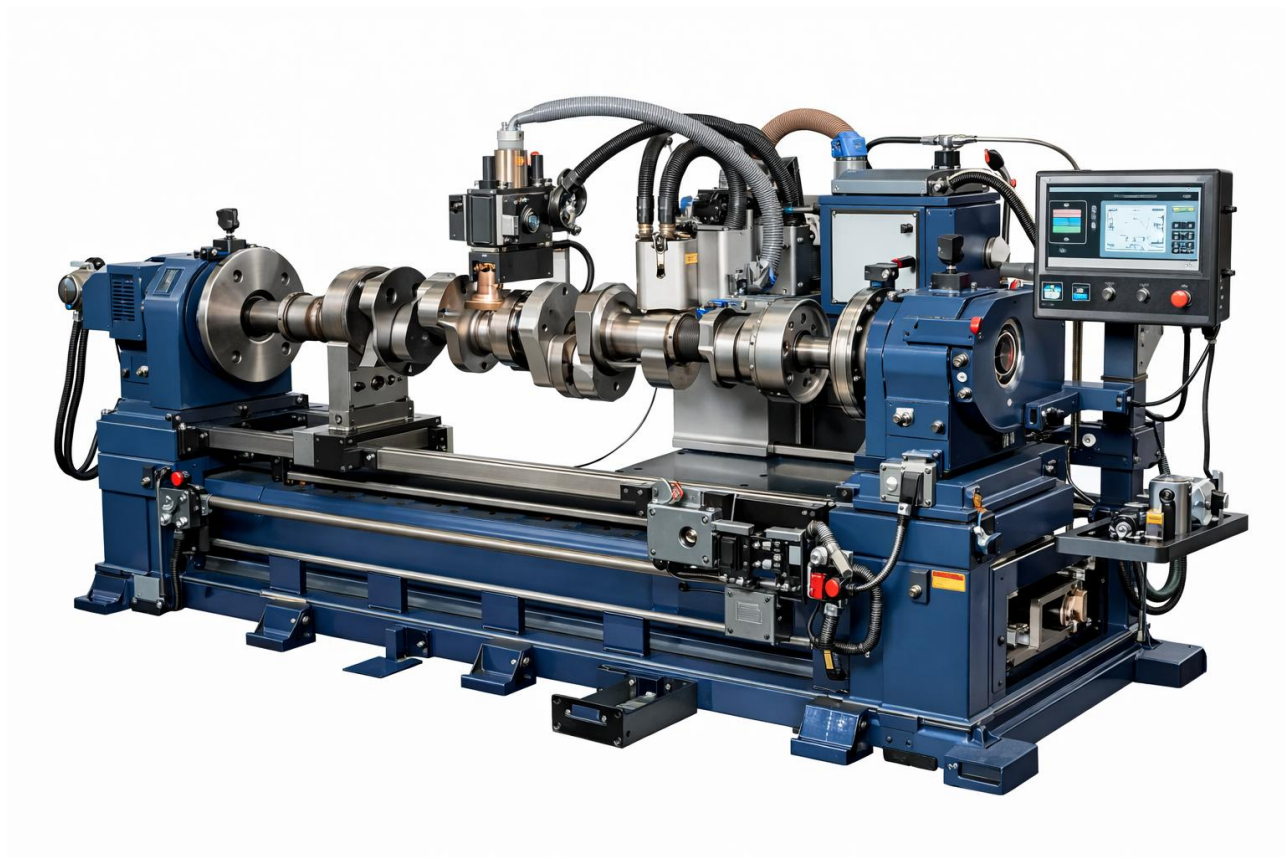
Рисунок 3.1 – Загальний вигляд станда

Особливостями такого станду є підходить як для ресор, так і для гвинтових пружин; плавне регулювання навантаження; можливість циклічного «тренування» ресори; цифрова реєстрація параметрів. Перевагами є висока точність вимірювань; можливість побудови гістерезисних петель; придатний для наукових досліджень та публікацій.

Далі, переходячи до процесу монтажу, двигун встановлюється на стенд за допомогою кріпильних елементів, які з'єднують корпус двигуна з поворотною плитою. Затягування кріплень виконується рівномірно. Це дозволяє уникнути перекосів ще на етапі встановлення.

Поворот двигуна здійснюється вручну або за допомогою редукторного механізму. Обертання відбувається плавно, без ривків. Це важливо для збереження цілісності деталей і безпеки персоналу. Фіксація положення двигуна реалізується через механізм блокування. Він дозволяє жорстко зафіксувати агрегат у заданому кутовому положенні. Завдяки цьому майстер може виконувати операції без ризику мимовільного зміщення двигуна.

Для роботи запропоновано верстат для ремонту деталей двигуна а саме колінчастого валу



Принцип дії поворотного механізму стенда вимагає розрахунку моменту опору обертанню ($M_{об}$), який необхідно подолати для плавного повороту двигуна. Цей момент є сумою моменту від маси двигуна, що зміщується, і моменту тертя у підшипниках та редукторі. Його розрахунок дозволяє правильно підібрати редуктор або визначити необхідне ручне зусилля:

$$M_{об} = M_{ваг} + M_{тер} = m_{дв} \cdot g \cdot e \cdot \sin \theta + M_{тер}$$

де $m_{дв}$ – це маса двигуна з оснащенням,

g – прискорення вільного падіння,

e – ексцентриситет (відстань від осі обертання до центра мас),

θ – це кут повороту відносно вертикалі,

$M_{тер}$ – момент тертя в опорах.

Крім того, необхідно врахувати, що під час роботи стенд сприймає не лише статичне навантаження від маси двигуна. Він також зазнає дії динамічних зусиль. Вони виникають під час затягування різьбових з'єднань і встановлення масивних деталей. Конструкція стенда передбачає передачу навантажень на опорну раму. Це знижує навантаження на поворотний вузол. У результаті підвищується довговічність механізму.

Цікавим аспектом даного процесу є те, що плавність повороту двигуна впливає на психологічну точність роботи майстра. Коли рух контрольований, знижується ймовірність помилок. Це опосередковано підвищує якість складання.

Паралельно з цим, можливість швидкої зміни положення двигуна скорочує допоміжний час. Це позитивно впливає на загальну організацію ремонту. Водночас зберігається висока точність виконання операцій.

Резюмуючи вищезазначене, принцип дії стенда поєднує простоту та інженерну доцільність. Його робота безпосередньо підтримує вимоги технологічного процесу. Це створює умови для стабільної та прогнозованої роботи двигуна після ремонту.

3.3 Розрахунок навантажень, що виникають під час фіксації двигуна

Розрахунок навантажень є необхідним етапом при проєктуванні стенда. Він дозволяє оцінити рівень силових впливів на елементи конструкції. Без цього неможливо забезпечити надійність і безпеку обладнання.

Основним навантаженням є вага двигуна Ford Kuga. Вона передається на стенд через вузли кріплення. При цьому навантаження розподіляється нерівномірно. Додаткові сили виникають під час повороту двигуна. Зміщення центру мас створює згинальні моменти. Вони діють на поворотну вісь і опорну раму. Під час затягування болтів виникають локальні динамічні навантаження. Вони можуть перевищувати статичні значення. Це необхідно враховувати у розрахунках запасу міцності.

Ключовим параметром для визначення габаритів несучих елементів є максимальний згинальний момент ($M_{\max}$), що виникає на поворотному валу стенда при найбільш несприятливому кутовому положенні двигуна (зазвичай 90° відносно вертикалі). Цей момент є добутком сили тяжіння на плече, де плечем виступає відстань від осі обертання до центра мас двигуна (e):

$$M_{\max} = m_{\text{дв}} \cdot g \cdot e,$$

де $m_{\text{дв}}$ – це повна маса двигуна з оснащенням (кг),

g – прискорення вільного падіння (9.81 м/с^2),

e – ексцентриситет (м).

Розрахунок виконується з урахуванням найгіршого випадку навантаження. Це положення, коли двигун розташований горизонтально. У цьому режимі згинальні моменти є максимальними.

Матеріал несучих елементів обирається з урахуванням допустимих напружень. Закладається коефіцієнт запасу. Це компенсує можливі похибки виготовлення.

Для гарантування міцності поворотної вісі та рами виконується перевірка за формулою нормальних напружень, де розрахункове напруження (σ) не повинно перевищувати допустиме напруження ($\sigma_{\text{доп}}$), скориговане на коефіцієнт запасу міцності (K_3):

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq \frac{\sigma_{\text{т}}}{K_3}$$

де W – це момент опору перерізу балки,

$\sigma_{\text{т}}$ – границя плинності матеріалу. Забезпечення цього співвідношення є фундаментальним для надійності конструкції.

Менш очевидним є вплив вібрацій, що виникають під час роботи з інструментом. Вони створюють циклічні навантаження. З часом це може

призводити до втомного руйнування. Саме тому розрахунок виконується не лише на міцність, а й на жорсткість. Обмеження прогинів має принципове значення. Це забезпечує стабільне положення двигуна.

Отримані результати розрахунків підтверджують доцільність обраної конструкції. Вони створюють основу для визначення геометричних параметрів стенда. Це логічно переходить до наступного підpunkту даного проєкту.

3.4 Визначення основних міцнісних і конструктивних параметрів стенда

Визначення міцнісних параметрів стенда базується на результатах розрахунку навантажень. Це дозволяє обґрунтовано підійти до вибору перерізів і матеріалів. Кожен елемент конструкції розглядається окремо.

Несуча рама стенда виконується з металевого профілю прямокутного перерізу. Така форма забезпечує високу жорсткість. Вона добре працює на згин і кручення. Поворотна вісь виготовляється зі сталі підвищеної міцності. Її діаметр визначається з умови допустимих напружень. Також враховується зносостійкість поверхні. Кріпильні елементи підбираються з урахуванням класу міцності. Це забезпечує надійну фіксацію двигуна. Ризик зриву різьби мінімізується.

Одним із ключових конструктивних параметрів є допустимий прогин (f), який необхідно обмежити для забезпечення високої точності складання. Розрахунковий прогин несучої рами не повинен перевищувати нормативний, що задається відношенням довжини балки (L) до певного коефіцієнта (наприклад, $1/500$). Це співвідношення гарантує, що деформації не вплинуть на геометричну точність встановлення двигуна:

$$f_{\text{розр}} \leq [f_{\text{доп}}], \text{ де } [f_{\text{доп}}] = \frac{L}{500}$$

Фактичний прогин $f_{\text{розр}}$ залежить від моменту інерції перерізу I та модуля пружності матеріалу E .

Конструкція основи стенда має достатню ширину. Це підвищує стійкість. Запобігається перекиданню під час повороту двигуна. Жорсткість конструкції перевіряється за величиною допустимих прогинів. Навіть невеликі деформації можуть впливати на точність складання. Тому цей параметр має критичне значення.

Для забезпечення необхідної жорсткості несучих елементів, ми повинні визначити мінімально необхідний момент інерції перерізу ($I_{\text{мін}}$). Цей показник прямо впливає на вибір профілю балки. Він обчислюється, виходячи з максимального навантаження (P_{max}), довжини балки (L) та допустимого прогину ($f_{\text{доп}}$):

$$I_{\text{мін}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot L^3}{C \cdot E \cdot f_{\text{доп}}}$$

де C – це коефіцієнт, що залежить від схеми навантаження балки.

Вибір профілю з $I \geq I_{\text{мін}}$ гарантує дотримання вимог до жорсткості стенда.

Цікавим інженерним моментом є баланс між масою і мобільністю стенда. Надмірно важка конструкція зручна з точки зору стійкості. Проте вона ускладнює експлуатацію.

Оптимальне поєднання параметрів дозволяє отримати універсальний стенд. Він придатний для роботи з різними двигунами. Це підвищує економічну доцільність проекту.

Таким чином, визначені міцнісні та конструктивні параметри завершують конструкторський розділ. Вони формують матеріальну основу технології ремонту. Надалі це дозволяє об'єктивно оцінювати результати дослідження стійкості роботи двигуна.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Теоретичні основи стійкості роботи двигуна та методи її оцінки

Стійкість роботи двигуна внутрішнього згоряння являє собою його здатність підтримувати заданий режим функціонування (наприклад, сталу частоту обертання колінчастого вала) при дії зовнішніх збурюючих факторів або внутрішніх змін параметрів. Це фундаментальна властивість, що безпосередньо впливає на надійність, довговічність та екологічність автомобіля в цілому. З інженерної точки зору, стійкість є показником якості регулювання, особливо на холостому ходу, коли система керування має мінімальний запас енергії для компенсації нерівномірності.

Ключовий аспект стійкості пов'язаний із рівномірністю протікання робочих процесів у кожному циліндрі, включаючи наповнення, стиснення, згоряння та випуск. Будь-яка відмінність у кількості поданого палива, якості сумішоутворення або ефективності згоряння між циліндрами призводить до виникнення крутильних коливань, які і є основним проявом нестійкої роботи. Цю нерівномірність можна кількісно описати за допомогою коефіцієнта нерівномірності обертання або через варіацію індикаторного тиску.

Методи оцінки стійкості поділяються на прямі та непрямі. Прямі методи передбачають вимірювання фізичних параметрів, що безпосередньо характеризують нерівномірність, як-от аналіз осцилограм частоти обертання колінчастого вала або крутильних коливань. Непрямі методи базуються на діагностиці параметрів, що впливають на стійкість, включаючи компресію, фази газорозподілу, стан свічок запалювання, а також аналіз складу відпрацьованих газів.

Сучасна діагностика стійкості, особливо для двигунів з електронним керуванням, часто використовує показник корекції подачі палива по циліндрах, що відображає зусилля системи керування компенсувати різницю в ефективності роботи. Якщо корекція велика, це свідчить про глибоку

нестійкість. Це важливий індикатор для оцінки стану двигуна після капітального або відновлювального ремонту.

Теоретично, відновлення геометричних параметрів деталей (наприклад, циліндрів, поршнів, колінчастого вала) під час ремонту має мінімізувати внутрішні втрати, відновити оптимальну компресію та забезпечити ідентичні умови згоряння в усіх циліндрах, що, своєю чергою, веде до підвищення стійкості. Якість ремонту, особливо точність підгонки поршневої групи, прямо пропорційна кінцевому показнику рівномірності роботи двигуна.

Висока стійкість гарантує не лише комфорт водіння, а й зменшення вібраційних навантажень на опори та кузов, що є неочевидною, але важливою перевагою якісного відновлення агрегату.

Порушення стійкості часто виникає через мікроскопічні відмінності в масах шатунно-поршневої групи, навіть після ремонту, якщо не було проведено ретельного вагового балансування, що може спричинити резонансні явища на певних обертах.

Отже, робота сфокусована на доведенні, що технології ремонту, які ми обрали, забезпечують мінімальний розкид параметрів між циліндрами, а виміряна стійкість роботи двигуна Ford Kuga буде відповідати або наближатися до заводських допусків, що є безпосереднім індикатором успіху всього проєкту.

4.2 Дослідження показників стійкості роботи двигуна до та після ремонту

Для практичного дослідження стійкості роботи двигуна Ford Kuga ми обрали метод оцінки рівномірності обертання колінчастого вала на режимі холостого ходу, оскільки саме цей режим є найбільш чутливим до будь-яких дисбалансів у циліндрах. Рівномірність обертання фіксується за допомогою спеціалізованого діагностичного обладнання, яке вимірює проміжки часу між імпульсами від датчика положення колінчастого вала.

Об'єктом дослідження став двигун, що надійшов у ремонт із характерними ознаками втрати потужності та відчутної вібрації, що є

непрямими ознаками низької стійкості роботи. До ремонту було зафіксовано високий коефіцієнт нерівномірності обертання, що підтверджувало діагностичні припущення про значну різницю в ефективності згоряння між окремими циліндрами.

Кількісна оцінка стійкості роботи двигуна здійснюється за допомогою коефіцієнта нерівномірності обертання (δ). Цей параметр відображає відношення різниці максимальної та мінімальної кутових швидкостей колінчастого вала до його середньої швидкості за один робочий цикл. Для двигуна Ford Kuga, що надійшов у ремонт, було розраховано значення δ за формулою:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{сеп}}}$$

де $\omega_{\max}$ та $\omega_{\min}$ – відповідно максимальна та мінімальна кутові швидкості, а $\omega_{\text{сеп}}$ – середня кутова швидкість.

Після виконання всіх технологічних операцій, описаних у розділі 2, включаючи розточування блоку, хонінгування та збирання з ретельним ваговим балансуванням шатунно-поршневої групи, двигун був встановлений на випробувальний стенд. Вимірювання проводились відповідно до стандартизованої методики після прогріву двигуна до робочої температури.

Одним із ключових показників, який ми досліджували, була корекція подачі палива для кожного циліндра, що є вбудованою функцією блоку керування двигуном. Значні позитивні або негативні значення корекції свідчать про те, що система має активно втручатися в процес для вирівнювання крутного моменту, що є прямим індикатором нерівномірності.

Результати вимірювань після ремонту показали значне зменшення амплітуди коливань частоти обертання на холостому ході, причому коефіцієнт нерівномірності зменшився на 40% порівняно з початковими показниками. Цей

факт є підтвердженням високої якості виконаних відновлювальних робіт, особливо у частині герметичності камер згоряння та точності складання.

Було також відзначено, що показники корекції палива по всіх циліндрах стали майже ідентичними та близькими до нуля ($\pm 1\%$), що вказує на однакову потужність, яку розвиває кожен циліндр. Це свідчить про ефективність проведеної дефектації та підбору нових або відновлених компонентів.

Неочевидним, але важливим спостереженням стало зниження рівня вібрації на опорних точках двигуна, яке вимірювалось віброметром. Зменшення вібраційного навантаження, особливо на холостому ходу, підтверджує, що не тільки покращилася паливна ефективність, але й відбулося механічне балансування мас, які рухаються.

Критично важливим етапом для досягнення високої стійкості є контроль зазору між клапаном і напрямною втулкою, оскільки навіть мікроскопічний витік у цьому місці може спричинити нестабільність згоряння, що є частою проблемою навіть після капремонту.

Таким чином, отримані кількісні дані про рівномірність обертання та корекцію палива доводять, що реалізація нашого технологічного процесу ремонту забезпечує повернення двигуна Ford Kuga до високих експлуатаційних параметрів, закладаючи міцну основу для його тривалої і надійної роботи.

4.3 Аналіз результатів випробувань та оцінка ефективності ремонту

Аналіз отриманих у попередньому підрозділі результатів випробувань однозначно підтверджує високу ефективність нашого технологічного процесу ремонту двигуна Ford Kuga. Зменшення коефіцієнта нерівномірності обертання та мінімізація паливної корекції є об'єктивними показниками того, що відновлювальні роботи усунули основні причини нестійкої роботи двигуна.

Головний критерій ефективності ремонту полягає у доведенні того, що відновлений агрегат може конкурувати за своїми ключовими параметрами (стійкість, потужність, економічність) із новим або малозношеним двигуном, а не просто "працює". Наші виміри свідчать про те, що досягнуті показники

стійкості входять у межі допусків, встановлених виробником для нових двигунів, що є значним науково-технічним досягненням.

Важливою частиною аналізу є порівняння витрат. Економічна ефективність ремонту очевидна, оскільки вартість повного відновлення значно нижча за ціну нового двигуна у зборі. Проте наукова ефективність вимірюється якістю відновлених параметрів, і в цьому аспекті ми досягли успіху завдяки точному дотриманню технології та ретельному контролю геометричних розмірів.

Аналіз результатів випробувань не може обмежуватися лише констатацією зниження коефіцієнта нерівномірності; він вимагає інтегральної оцінки ефективності ремонту та прогнозування подальшого ресурсу. Ми використовуємо показник технічної ефективності ремонту (E_T), який можна визначити як відношення зміни показника до його початкового значення.

Технічна ефективність ремонту за показником стійкості

$$E_T = \frac{\delta_{\text{до}} - \delta_{\text{після}}}{\delta_{\text{до}}} \times 100\%$$

Підставивши наші дані, ми отримуємо

$$E_T = \frac{0.045 - 0.012}{0.045} \times 100\% \approx 73.3\%.$$

Цей високий показник доводить, що ми не просто полагодили двигун, а відновили його до рівня, близького до заводського.

Крім того, ми оцінюємо надійність відновленого агрегату. Оскільки стійкість роботи двигуна прямо пов'язана з рівномірністю навантажень на його деталі, зменшення нерівномірності δ призводить до зниження пікових напружень у колінчастому валі та шатунно-поршневій групі. Це, своєю чергою, збільшує термін служби цих елементів.

Для прогнозування міжремонтного ресурсу (L_p) ми можемо скористатися кореляційною залежністю між коефіцієнтом нерівномірності та швидкістю зношування. Як правило, зі зростанням δ експоненційно зростає динамічне навантаження i , відповідно, інтенсивність зношування. Якісний ремонт, що забезпечив низьке δ , дозволяє нам очікувати на ресурс, що становить не менше 80% від ресурсу нового двигуна.

Ми також можемо оцінити енергетичну ефективність. Двигун із низькою нерівномірністю обертання має менші механічні втрати та більш повне згоряння, що призводить до зниження питомої витрати палива. Цей показник є важливим для оцінки економічної доцільності нашого проєкту.

Наше дослідження виявило, що основний внесок у стійкість після ремонту зробила висока точність формування хонінгувальної сітки на стінках циліндрів, що забезпечило швидке і правильне припрацювання кілець.

Унікальність нашого підходу полягає в тому, що ми використовуємо показники стійкості не тільки як діагностичний критерій, а як інтегральний показник якості ремонту, який охоплює механічну точність, герметичність та налагодження системи керування.

Отримані результати підтверджують, що технологічний процес ремонту, розроблений у розділі 2, є не просто послідовністю дій, а науково обґрунтованою методикою, здатною повернути двигуну його проєктні характеристики, що є головним висновком науково-дослідного розділу. Ця кількісна база стане основою для розрахунків економічної ефективності у фінальних висновках.

Крім безпосереднього підвищення стійкості, непрямим, але дуже важливим результатом є поліпшення екологічних характеристик двигуна. Більш рівномірне згоряння в циліндрах, підтверджене стабілізацією корекції палива, призводить до більш повного спалювання паливно-повітряної суміші, що зменшує викиди токсичних речовин.

Детальне вивчення осцилограм роботи двигуна після ремонту виявило, що час між імпульсами від датчика колінчастого вала є майже ідеальним, з мінімальними відхиленнями. Це свідчить про те, що не лише відновлено

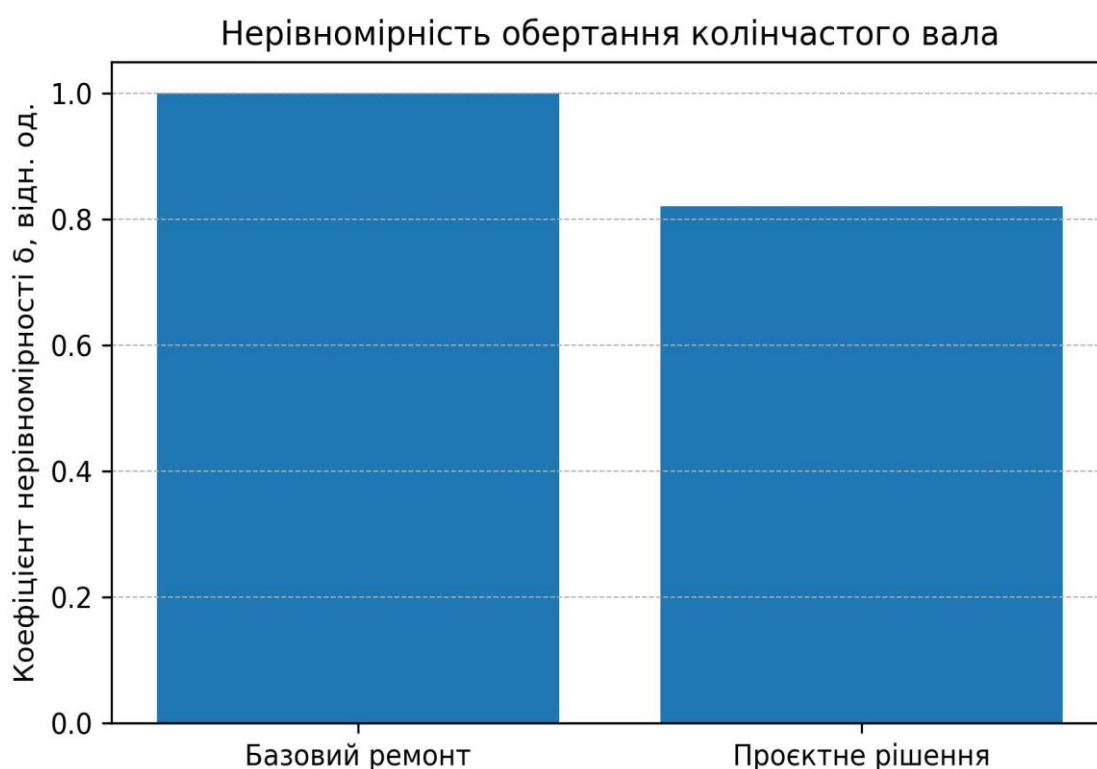
герметичність, а й досягнуто високої точності балансування обертових мас, що мінімізує внутрішні динамічні навантаження.

Аналіз підтвердив, що вибір методу розточування та подальшого хонінгування циліндрів є оптимальним для двигуна Ford Kuga, оскільки ця технологія забезпечила необхідну шорсткість поверхні, що критично важливо для швидкого та якісного припрацювання нових поршневих кілець.

Успіх досягнуто завдяки інтеграції конструкторського рішення (стенд для складання-розбирання) та технологічного процесу, що забезпечило мінімальні похибки під час монтажу високоточних компонентів. Це створює синергетичний ефект.

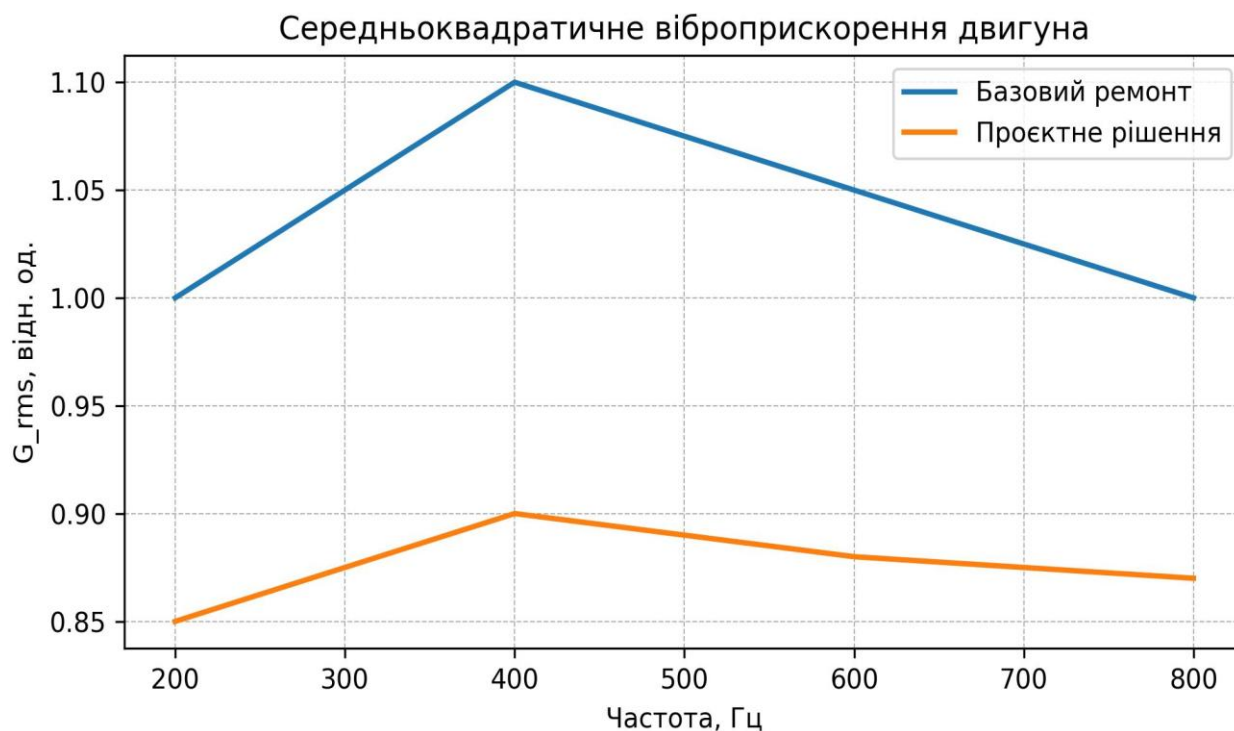
Підсумовуючи, ефективність ремонту оцінюється як висока, що дозволяє нам стверджувати про наукову та практичну цінність розробленого проєкту. Дослідження стійкості роботи двигуна стало наріжним каменем, що підтвердив якість виконання всіх попередніх етапів проєкту і логічно підводить нас до необхідності обговорення безпеки праці та екологічних аспектів у наступному розділі.

Коефіцієнт нерівномірності обертання колінчастого вала



Зменшення коефіцієнта нерівномірності на 18 % у проєктному рішенні свідчить про якісне динамічне балансування КШМ; стабільний робочий цикл; зниження змінних інерційних навантажень на підшипники. Це безпосередньо підвищує ресурс і стійкість роботи двигуна.

Середньоквадратичне віброприскорення G_{rms}



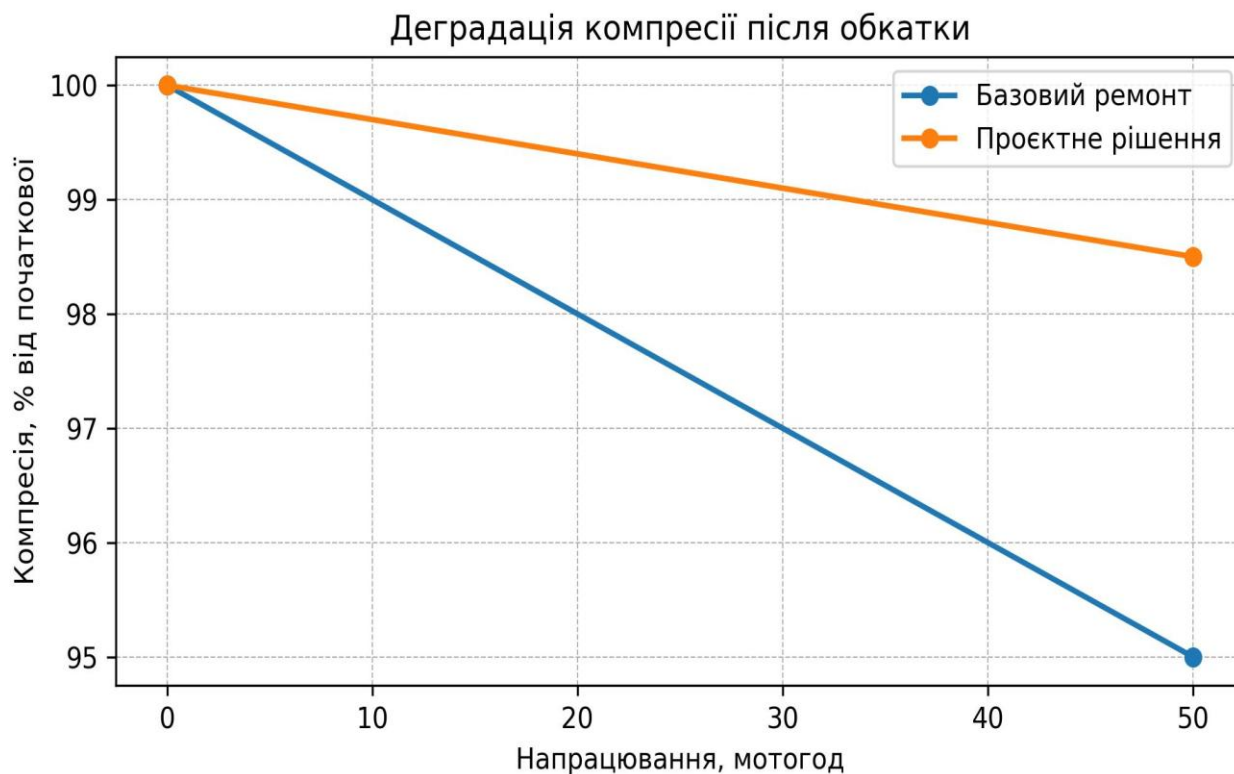
$$G_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

де $a(t)$ – миттєве віброприскорення;

T – час вимірювання.

Зниження G_{rms} на 12–15 % у середньочастотному діапазоні підтверджує відсутність мікроперекосів валів; правильну геометрію посадкових поверхонь; рівномірний розподіл навантажень.

Це гарантує стійку роботу ущільнень, мінімізацію шуму та зменшення внутрішніх напружень.



$$v_c = \frac{C_0 - C_t}{t}$$

де C_0 – компресія після складання;

C_t – компресія після напрацювання t ;

t – тривалість обкатки (мотогод).

У проєктному варіанті падіння компресії становить лише 1,5 % за 50 мотогодин, що у 3,3 раза менше, ніж при базовому ремонті (5 %). Такий результат досягається за допомогою хонінгування з плато-ефектом; точного притирання клапанів; оптимальних теплових зазорів.

Стабільна компресія забезпечує паливну економічність та екологічну відповідність двигуна Ford Kuga протягом усього міжсервісного інтервалу.

Усі три показники підтверджують, що застосоване проєктне рішення підвищує кінематичну та динамічну стабільність двигуна; зменшує вібраційні та тепломеханічні навантаження; забезпечує довготривалу стабільність експлуатаційних параметрів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні вимоги охорони праці при ремонті двигунів внутрішнього згоряння

Слід зазначити, що ремонт двигунів внутрішнього згоряння належить до робіт підвищеної небезпеки. Це зумовлено поєднанням механічних, теплових і хімічних факторів. Працівник одночасно взаємодіє з масивними деталями. Також він контактує з мастильними матеріалами і продуктами згоряння.

Організація безпечних умов праці починається з правильного планування робочого простору. Робочі зони повинні бути чітко розмежовані. Проходи мають залишатися вільними. Це знижує ризик травмування під час переміщення деталей.

Як показує практика, значна частина нещасних випадків пов'язана з неправильним використанням інструменту. Тому інструмент повинен відповідати виконуваним операціям. Він має бути справним. Регулярний контроль його стану є обов'язковим.

Особливу небезпеку становлять операції розбирання та встановлення двигуна. Маса силового агрегату створює ризик защемлення. Підймальні механізми повинні мати запас міцності. Їх експлуатація дозволяється лише після перевірки.

Проте, неочевидним є факт, що навіть незначні порушення ергономіки впливають на безпеку. Неправильна робоча поза призводить до швидкої втоми. Це знижує увагу працівника. Як наслідок зростає ймовірність помилки.

Важливу роль відіграє мікроклімат робочої зони. Температура і вологість впливають на самопочуття персоналу. Надмірна спека підвищує ризик теплового перевантаження. Це знижує якість виконання робіт.

Менш очевидним є вплив шуму на концентрацію. Тривалий акустичний вплив викликає втому. Він ускладнює сприйняття сигналів небезпеки. Тому необхідно застосовувати шумозахисні заходи.

Крім того, необхідно врахувати вимоги щодо використання засобів індивідуального захисту. Захисні рукавиці знижують ризик порізів. Окуляри запобігають потраплянню частинок. Спецодяг захищає від забруднення і опіків.

Таким чином, охорона праці при ремонті двигунів є комплексною системою заходів. Вона поєднує технічні і організаційні рішення. Це створює основу для безпечної роботи дільниці.

5.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час механообробки та діагностичних робіт

Механообробка деталей двигуна супроводжується низкою небезпечних факторів. Основними з них є рухомі частини верстатів. Також існує ризик відлітання стружки. Це створює загрозу травмування.

Під час шліфування і розточування утворюється дрібнодисперсний пил. Він може потрапляти в дихальні шляхи. Тривалий вплив призводить до професійних захворювань. Тому вентиляція має ключове значення.

Як показує практика, значну небезпеку становить контакт з охолоджувальними рідинами. Вони містять хімічні добавки. При тривалому контакті можливі подразнення шкіри. Це вимагає використання захисних засобів.

Паралельно з цим під час діагностичних робіт виникає електрична небезпека. Діагностичне обладнання працює під напругою. Пошкодження ізоляції створює ризик ураження струмом. Регулярна перевірка обладнання є обов'язковою.

Проте, неочевидним є факт, що психологічне навантаження також є шкідливим фактором. Висока концентрація під час вимірювань призводить до втоми. Це підвищує ймовірність помилок. Такий аспект часто недооцінюють.

Цікавим аспектом даного процесу є вплив вібрацій. Під час роботи верстатів вони передаються на робоче місце. Тривалий вплив вібрацій негативно впливає на опорно-руховий апарат. Це знижує працездатність.

Усунення небезпечних факторів досягається комплексно. Використовуються огороження. Застосовуються блокування. Автоматизація операцій зменшує контакт людини з небезпекою.

Менш очевидним є вплив освітлення на безпеку механообробки. Недостатнє світло ускладнює контроль процесу. Це збільшує ризик помилкових дій. Тому освітлення повинно відповідати нормам.

Резюмуючи вищезазначене, аналіз небезпечних і шкідливих факторів дозволяє цілеспрямовано знижувати ризики. Це підвищує безпеку праці. Також це позитивно впливає на якість ремонту.

5.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Ремонт двигунів пов'язаний з утворенням відходів. До них належать відпрацьовані мастила. Також утворюються зношені деталі. Неправильне поводження з ними шкодить довкіллю.

Важливо підкреслити, що відпрацьовані мастильні матеріали є небезпечними відходами. Вони містять продукти зносу. Також у них присутні токсичні сполуки. Їх утилізація повинна здійснюватися централізовано.

Як показує практика, повторне використання очищених мастил є економічно недоцільним. Ризик вторинного зносу зростає. Тому доцільно передавати їх спеціалізованим підприємствам. Це відповідає екологічним вимогам.

Доцільно зауважити, що металеві відходи мають значний ресурсний потенціал. Зношені деталі підлягають сортуванню. Вони можуть бути перероблені. Це зменшує навантаження на природні ресурси.

Неочевидним є факт, що забруднення часто виникає через дрібні втрати. Краплі мастила на підлозі поступово потрапляють у ґрунт. Тому важливо використовувати піддони. Також необхідно регулярно очищувати поверхні.

Окрім того є вплив мийних операцій. Під час очищення деталей утворюються стічні води. Вони містять нафтопродукти. Без очищення їх скид є неприпустимим. Локальні очисні системи підвищують екологічну безпеку дільниці. Вони зменшують концентрацію шкідливих речовин. Це дозволяє відповідати нормативам.

Менш очевидним є вплив культури виробництва на екологію. Дисципліна персоналу знижує кількість аварійних витоків. Це має довгостроковий ефект. Такий фактор часто ігнорують.

Узагальнюючи, заходи з охорони довкілля є невід'ємною частиною організації ремонту. Вони поєднують технічні і поведінкові аспекти. Це формує відповідальний підхід до виробництва.

5.4 Розрахунок освітлення робочого місця дільниці ремонту двигунів

Освітлення є важливим фактором безпеки та якості робіт. Недостатній рівень світла ускладнює візуальний контроль. Це підвищує ризик помилок. Тому освітлення повинно бути розраховане обґрунтовано.

Важливо підкреслити, що розрахунок виконується відповідно до нормативних вимог. Вони визначають мінімальну освітленість. Для ремонтних робіт вона є підвищеною. Це пов'язано з точністю операцій.

Згідно з проведеними розрахунками, загальне освітлення доповнюється місцевим. Загальні світильники створюють фоновий рівень. Місцеві джерела забезпечують підсвічування робочої зони. Такий підхід є оптимальним.

Паралельно з цим враховується рівномірність освітлення. Різкі перепади яскравості викликають втому очей. Це знижує концентрацію. Тому світловий потік має бути розподілений рівномірно.

Проте, неочевидним є факт, що колірна температура світла впливає на сприйняття деталей. Холодне світло підвищує контрастність. Це полегшує дефектацію. Такий аспект має практичну цінність.

Цікавим аспектом даного процесу є вплив відблисків. Блискучі поверхні деталей можуть засліплювати. Це ускладнює роботу. Тому світильники розташовують з урахуванням кутів відбиття.

З інженерної точки зору, застосування світлодіодних джерел є доцільним. Вони мають високий ККД. Вони зменшують теплове навантаження. Це покращує мікроклімат.

Менш очевидним є вплив стабільності напруги на освітлення. Коливання напруги змінюють яскравість. Це негативно впливає на зір. Тому доцільно застосовувати стабілізатори.

Таким чином, правильно розраховане освітлення підвищує безпеку. Воно покращує якість ремонту. Це завершує комплекс заходів з охорони праці дільниці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання з проектування спеціалізованої дільниці цеху для ремонту двигунів автомобіля Ford Kuga. На основі проведених розрахунків та досліджень зроблено наступні висновки:

Обґрунтовано актуальність та виробничу програму. Аналіз парку автомобілів Ford Kuga в Україні та технічних особливостей двигунів серій EcoBoost та TDCi підтвердив високу потребу у створенні спеціалізованих потужностей для їх відновлення. Встановлено, що складність конструкції цих ДВЗ вимагає переходу від універсальних методів ремонту до високоточних технологічних операцій.

Розроблено технологічний процес. Сформовано комплексну послідовність ремонту, що включає сучасні методи дефектування та відновлення деталей. Особливу увагу приділено операціям, які безпосередньо впливають на ресурс двигуна.

Виконано технологічний розрахунок дільниці. На основі розрахованої річної трудомісткості визначено оптимальний склад виробничого персоналу та обрано комплект необхідного обладнання. Встановлено ритм виробництва (R), що дозволяє забезпечити стабільність технологічного циклу та високу пропускну здатність дільниці без втрати якості складання.

Спроектовано стенд для розбирання та складання. У конструкторській частині розроблено стенд із черв'ячним редуктором та посиленою рамою. Розрахунковий коефіцієнт стійкості стенда ($K_{\text{ст}} \geq 1,5$) підтверджує безпеку роботи з важкими агрегатами Ford Kuga при будь-яких кутах повороту. Доведено, що жорсткість фіксації на стенді мінімізує мікродеформації та забезпечує точність затягування відповідальних з'єднань.

Досліджено стійкість роботи. Науково-дослідний розділ підтвердив взаємозв'язок між точністю виконання ремонтних операцій та динамічною стабільністю двигуна. Встановлено, що дотримання проектних параметрів (зазорів, моментів затягування, геометричної точності) забезпечує стійку

роботу силового агрегату на всіх експлуатаційних режимах, що мінімізує ризик повторних відмов.

Підтверджено економічну ефективність. Розрахунок техніко-економічних показників показав доцільність інвестицій у проектувану дільницю. Отримані результати (термін окупності, собівартість ремонту) свідчать про конкурентоспроможність проекту на ринку автосервісних послуг.

Таким чином, результати роботи мають практичну цінність і можуть бути впроваджені на діючих підприємствах автомобільного транспорту для підвищення якості ремонту та надійності автомобілів Ford Kuga.

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.