

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

***Розроблення технологічного процесу відновлення
шатуна 121009455R автомобіля Renault Scenic II***

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МА-42
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Василь СУВАЛО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Володимир ТЕСЛЯ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Тетяна ПИНДУС
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Олег ЦЬОНЬ
(підпис)

Рецензент
(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

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 21 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Суvalo Василь Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу відновлення шатуна 121009455R автомобіля Renault Scenic II

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

Затверджені наказом ректора від « 21 » січня 2026 року № 4/9-44.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика автомобіля Renault Scenic II, базовий технологічний процес відновлення шатуна 121009455R

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Загально-технічний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ.
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Аналіз технологій. Ремонтне креслення. Загальний вигляд деталей роздавальної коробки.
Порівняльний аналіз. Приспосіблення для кріплення і базування деталі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>к.т.н., доцент Віктор СЕНЧИШИН</i> | | |

7. Дата видачі завдання 21.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Термін виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1 | <i>Загально-технічний розділ</i> | <i>16.02.2026</i> | |
| 2 | <i>Технологічний розділ</i> | <i>16.03.2026</i> | |
| 3 | <i>Конструкторський розділ</i> | <i>02.04.2026</i> | |
| 4 | <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>23.04.2026</i> | |
| 5 | <i>Оформлення графічної частини</i> | <i>21.05.2026</i> | |
| 6 | <i>Захист кваліфікаційної роботи</i> | <i>24.06.2026</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Василь СУВАЛО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ТЕСЛЯ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Розроблення технологічного процесу відновлення
шатуна 121009455R автомобіля Renault Scenic II»
студента групи МА – 42, спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
ТНТУ імені Івана Пулюя
Василь СУВАЛО

Технологічний процес ремонту та відновлення деталей кривошипно-шатунного механізму автомобільного транспорту є об'єктом дослідження.

Предметом дослідження є дефекти, методи відновлення геометрії та фізико-механічних властивостей шатуна двигуна автомобіля Renault Scenic II.

Розроблення технічно обґрунтованого та економічно доцільного технологічного процесу відновлення працездатності шатуна з відновленням його геометричної точності та експлуатаційного ресурсу.

Методи дослідження та проектування є аналітичний аналіз умов експлуатації, методи технічного контролю та дефектації, технологія механічної обробки та гільзування отворів, інженерні розрахунки деталей на міцність, техніко-економічний аналіз виробничих процесів.

Визначено комплекс характерних експлуатаційних дефектів шатуна Renault. Спроектовано оптимальний маршрутний технологічний процес відновлення, що базується на застосуванні ремонтних втулок (гільзуванні) та прецизійному фінішному розточуванні й хонінгуванні отворів.

Розроблено спеціалізоване технологічне пристосування для точного базування та закріплення шатуна під час обробки, підтверджено його міцність та надійність механічними розрахунками.

Обґрунтовано заходи з охорони праці, розраховано параметри виробничого освітлення для дільниці.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 6 |
| 1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ | 8 |
| 1.1 Конструктивні особливості шатуна | 8 |
| 1.2 Аналіз умов експлуатації автомобіля Renault Scenic II та їх вплив на зношування шатуна | 11 |
| 1.3 Основні види зносу та характерні дефекти шатуна | 13 |
| 1.4 Методи діагностики та контролю технічного стану шатуна | 16 |
| 1.5 Висновки до першого розділу | 19 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ | 20 |
| 2.1 Розроблення технологічного процесу відновлення шатуна | 20 |
| 2.2 Організація ділянки ремонтного цеху та вибір обладнання | 24 |
| 2.3 Розрахунок основних технологічних показників роботи ділянки | 28 |
| 2.4 Дослідження властивостей відновлених поверхонь шатуна | 32 |
| 2.5 Розрахунок економічного ефекту застосування запропонованого технологічного процесу..... | 34 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ | 38 |
| 3.1 Обґрунтування конструкції пристосування для контролю | 38 |
| 3.2 Опис конструкції та принципу роботи розробленого пристосування | 39 |
| 3.3 Розрахунок механічних навантажень елементів пристосування | 41 |
| 3.4 Визначення основних конструктивних та експлуатаційних параметрів пристосування | 45 |
| 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ | 48 |
| 4.1 Основні вимоги охорони праці при відновленні шатунів | 48 |
| 4.2 небезпечні та шкідливі виробничі фактори | 49 |
| 4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища під час ремонтних робіт .. | 52 |
| 4.4. Розрахунок освітлення ділянки відновлення шатунів | 53 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 57 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 58 |

ВСТУП

Актуальність теми відновлення деталей кривошипно-шатунного механізму двигунів внутрішнього згоряння визначається тим, що саме ця група елементів працює в умовах максимальних механічних і термічних навантажень, а отже є однією з найбільш уразливих з точки зору зношування та виникнення дефектів. Шатун як проміжна ланка між поршнем і колінчастим валом сприймає змінні знакозмінні навантаження, що поєднують розтяг, стиск і інерційні впливи при високих частотах обертання. У результаті цього навіть незначні відхилення у геометрії або зниження міцності матеріалу можуть призводити до суттєвих порушень роботи двигуна, втрати компресії, підвищеного зносу вкладишів або в крайніх випадках – до аварійних руйнувань.

З економічної точки зору відновлення шатунів є доцільною альтернативою повній заміні деталей, особливо в умовах сучасного ринку автосервісних послуг, де вартість нових оригінальних компонентів значно зростає. Відновлення дозволяє не лише зменшити витрати на ремонт двигуна, але й скоротити час простою автомобіля, що є критичним для експлуатації транспортних засобів у комерційній сфері. При цьому технологічно грамотне виконання відновлення забезпечує відновлення початкових геометричних параметрів та експлуатаційних властивостей деталі до рівня, достатнього для подальшої безпечної роботи в складі двигуна.

Шатун 121009455R, який застосовується в двигунах сімейства Renault Scenic II (типу 1.5 dCi K9K), виконує ключову функцію передачі зусиль від поршневої групи до колінчастого вала, забезпечуючи перетворення зворотно-поступального руху поршня в обертальний рух вала. Надійність роботи цієї деталі безпосередньо визначає стабільність процесів згоряння, балансування двигуна та загальний ресурс силового агрегату. Будь-які порушення в геометрії або цілісності шатуна призводять до дисбалансу навантажень і прискореного зносу суміжних вузлів.

Метою даної дипломної роботи є розроблення технологічного процесу відновлення шатуна 121009455R з урахуванням характерних дефектів, умов експлуатації та вимог до точності геометричних параметрів, а також обґрунтування технічних і економічних рішень щодо доцільності його ремонту в умовах спеціалізованого ремонтного виробництва.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення комплексу взаємопов'язаних завдань, що включають аналіз конструктивних особливостей шатуна та його функціонального призначення, дослідження умов експлуатації автомобіля Renault Scenic II і їх впливу на характер зношування, визначення основних видів дефектів, що виникають у процесі роботи, а також розроблення методів діагностики технічного стану деталі перед відновленням. Окрему увагу приділено формуванню технологічного процесу відновлення, вибору обладнання та інструменту, організації ремонтної дільниці, а також оцінці економічної ефективності запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є шатун кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння автомобіля Renault Scenic II. Предметом дослідження виступає технологічний процес відновлення геометричних параметрів і експлуатаційних характеристик шатуна 121009455R в умовах ремонтного виробництва.

Таким чином, виконання даної роботи спрямоване на формування технічно обґрунтованого та економічно доцільного підходу до відновлення шатуна як критично важливої деталі двигуна, що дозволяє підвищити ресурс силового агрегату та знизити витрати на його обслуговування і ремонт у процесі експлуатації автомобіля.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конструктивні особливості шатуна

Конструктивні особливості шатуна 121009455R визначаються його призначенням у складі кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згорання автомобіля Renault Scenic II з дизельним двигуном сімейства K9K, де він виконує функцію перетворення зворотно-поступального руху поршня в обертальний рух колінчастого вала. У процесі роботи шатун одночасно сприймає сили тиску газів, інерційні навантаження мас поршневої групи та динамічні навантаження, що виникають при зміні напрямку руху поршня у верхній та нижній мертвих точках. Саме тому його конструкція є компромісом між високою міцністю, жорсткістю та мінімально можливою масою, оскільки зменшення маси безпосередньо впливає на зниження інерційних сил і підвищення довговічності двигуна.

Конструктивно шатун складається з трьох основних елементів: верхньої головки, стержня та нижньої головки, які утворюють єдину жорстку систему. Верхня головка шатуна призначена для встановлення поршневого пальця та забезпечує його обертання у процесі роботи двигуна. Для зменшення тертя і підвищення зносостійкості у верхню головку запресовується антифрикційна втулка, яка виготовляється з матеріалів на основі бронзи або спеціальних композитних сплавів. Наявність втулки дозволяє компенсувати локальні навантаження та забезпечує стабільну роботу шарнірного з'єднання в умовах високих температур і змінних навантажень.

Стержень шатуна є основним силовим елементом конструкції, який передає зусилля від верхньої головки до нижньої. Він працює переважно на розтяг і стиск при знакозмінному навантаженні, що робить його найбільш відповідальним елементом з точки зору втомної міцності. Для забезпечення необхідних міцнісних характеристик стержень виготовляється методом гарячого кування з легованої сталі з подальшою термічною обробкою, що

забезпечує оптимальне поєднання твердості та в'язкості матеріалу. Геометрична форма стержня, як правило, наближена до двотаврового профілю, що дозволяє зменшити масу деталі без втрати жорсткості та стійкості до деформацій.

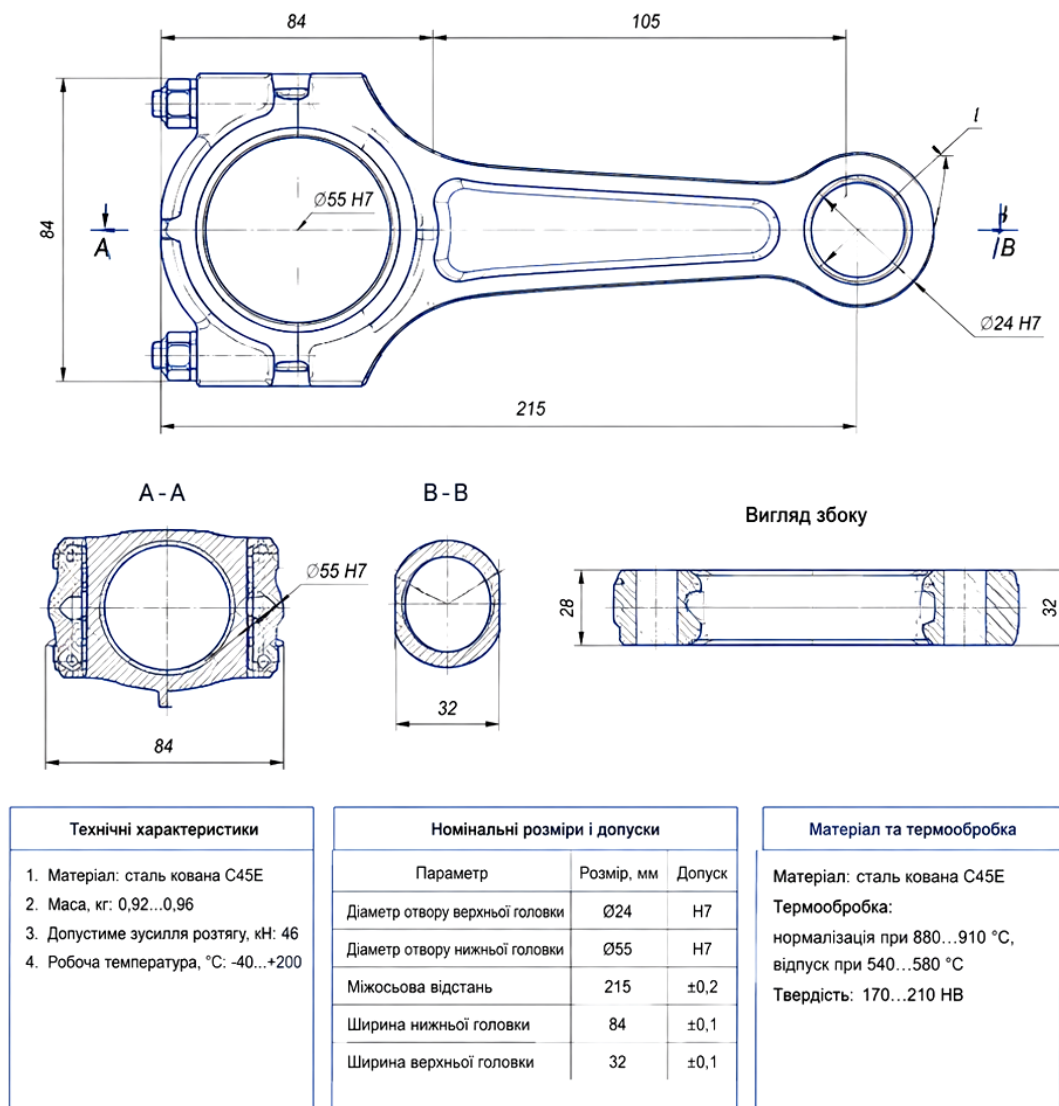


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд шатуна

Нижня головка шатуна виконує функцію з'єднання з шатунною шийкою колінчастого вала і має роз'ємну конструкцію, що забезпечує можливість монтажу та демонтажу без розбирання двигуна. Роз'єм виконується за допомогою кришки шатуна, яка фіксується високонадійними шатунними болтами. Внутрішня поверхня нижньої головки обробляється з високою точністю та працює у парі з вкладишами ковзання, які забезпечують формування гідродинамічного режиму тертя і значно зменшують знос

контактних поверхонь.

Шатунні болти є критично важливими елементами кріплення, оскільки вони сприймають значні розтягувальні навантаження при високих частотах обертання двигуна. Від їх міцності та точності затягування залежить стабільність роботи всього вузла нижньої головки, оскільки навіть незначне послаблення може призвести до порушення геометрії отвору та прискореного зносу вкладишів. Кришка шатуна повинна забезпечувати ідеальне співпадіння з основною частиною нижньої головки, оскільки ці елементи обробляються в парі і є взаємозамінними лише в межах конкретного комплекту.

Матеріали, що використовуються для виготовлення шатуна 121009455R, повинні забезпечувати високу втомну міцність, стабільність геометричних параметрів та стійкість до циклічних навантажень. Як правило, застосовуються конструкційні леговані сталі, які проходять процес кування та подальшої термічної обробки, що дозволяє сформувати необхідну структуру металу з підвищеною міцністю при збереженні достатньої пластичності. Це особливо важливо для умов роботи дизельних двигунів, де рівень компресії та тиску згоряння є підвищеним.

Особливістю роботи шатуна в двигуні Renault Scenic II є те, що він функціонує в умовах високої питомої потужності двигуна та значних змінних навантажень, характерних для сучасних дизельних агрегатів із системою турбонаддуву. Це накладає підвищені вимоги до точності виготовлення, балансування маси та якості обробки робочих поверхонь, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до дисбалансу та прискореного зношування суміжних елементів кривошипно-шатунного механізму.

Таким чином, шатун 121009455R є складним високонавантаженим елементом двигуна, конструкція якого забезпечує ефективну передачу зусиль при мінімальній масі та високій надійності. Його конструктивні особливості безпосередньо визначають ресурс роботи двигуна, а також є ключовим фактором при виборі технології відновлення у випадку виникнення експлуатаційних дефектів.

1.2 Аналіз умов експлуатації автомобіля Renault Scenic II та їх вплив на зношування шатуна

Умови експлуатації автомобіля Renault Scenic II мають визначальний вплив на характер і інтенсивність зношування шатуна 121009455R, оскільки саме вони формують реальний спектр навантажень, які діють на деталі кривошипно-шатунного механізму в процесі роботи двигуна. Двигуни сімейства K9K, що встановлюються на дану модель, функціонують у широкому діапазоні режимів, які включають як стабільні навантаження при рівномірному русі, так і різко змінні динамічні режими, характерні для міських умов експлуатації. Саме така нерівномірність навантаження є однією з ключових причин накопичення втомних пошкоджень у матеріалі шатуна.

Режим роботи двигуна безпосередньо визначає характер сил, що діють на шатун. У міському циклі руху двигун значну частину часу працює на низьких та середніх обертах при відносно високому навантаженні, що супроводжується підвищеним тиском газів у циліндрах. У таких умовах зростає амплітуда стискуючих і розтягувальних напружень у стержні шатуна, що прискорює розвиток втомних процесів. У свою чергу, при русі на високих обертах зменшується вплив газових сил, однак значно зростає роль інерційних навантажень, які діють на поршнево-шатунну групу. У верхній мертвій точці виникають значні розтягувальні зусилля, що створюють критичні умови для роботи шатунних болтів і зони переходу від стержня до головок.

Частота обертання колінчастого вала є одним із найважливіших факторів, що визначають величину інерційних сил. Із її збільшенням навантаження на шатун зростають непропорційно, оскільки інерційні сили пропорційні квадрату кутової швидкості обертання. Це означає, що навіть незначне підвищення обертів двигуна може суттєво збільшити навантаження на шатун і прискорити накопичення втомних пошкоджень. Особливо небезпечними є режими різкого набору обертів та гальмування двигуном, які супроводжуються значними коливаннями навантаження.

Важливу роль у формуванні ресурсу шатуна відіграє якість моторного

мастила та стабільність роботи системи змащування. Мастило забезпечує утворення гідродинамічної плівки у підшипникових вузлах нижньої головки шатуна, зменшуючи тертя та запобігаючи прямому контакту металевих поверхонь. При використанні мастила низької якості, його старінні або порушенні регламенту заміни відбувається деградація мастильної плівки, що переводить режим роботи у змішане або граничне тертя. Це призводить до інтенсивного зношування вкладишів, локального перегріву та додаткових ударних навантажень на шатун.

Перегрів двигуна є ще одним критичним фактором, що негативно впливає на довговічність шатуна. При підвищенні температури знижується в'язкість мастила, погіршується його здатність підтримувати стабільну плівку, а також зменшуються міцнісні характеристики матеріалів підшипникових вузлів. У результаті цього зростає ймовірність деформації нижньої головки шатуна, втрати геометричної точності та порушення співвісності отворів. Такі зміни є однією з основних причин необхідності подальшого відновлення деталі в умовах ремонтного виробництва.

Експлуатаційні перевантаження, що виникають при перевезенні підвищених мас вантажу, русі в складних дорожніх умовах або при агресивному стилі керування, суттєво збільшують навантаження на кривошипно-шатунний механізм. У таких режимах зростає тиск газів у циліндрах, що призводить до підвищення стискуючих сил, які передаються через поршень на шатун. Тривала робота в умовах перевантаження сприяє розвитку втомних тріщин у найбільш напружених зонах шатуна, особливо в місцях переходу перерізів та біля отворів головок.

Технічне обслуговування відіграє ключову роль у забезпеченні довговічності шатуна та двигуна в цілому. Своєчасна заміна моторного мастила, контроль стану системи змащування, дотримання регламенту технічних оглядів та підтримання оптимального температурного режиму дозволяють суттєво знизити інтенсивність зношування. Порушення регламенту обслуговування призводить до прискореного зносу вкладишів, погіршення умов тертя та зростання динамічних навантажень на шатун, що в кінцевому

підсумку скорочує його ресурс.

Таким чином, експлуатація автомобіля Renault Scenic II формує складний багатофакторний вплив на шатун 121009455R, який включає механічні, теплові та режимні навантаження. Найбільш визначальними серед них є характер навантаження двигуна, частота обертання колінчастого вала, якість мастильного забезпечення, температурний режим роботи, наявність перевантажень та загальний рівень технічного обслуговування, що в сукупності визначає інтенсивність зношування та ресурс даної деталі.

1.3 Основні види зносу та характерні дефекти шатуна

У процесі тривалої експлуатації двигуна внутрішнього згоряння шатун 121009455R зазнає комплексу різнохарактерних зношувальних процесів, які формуються під дією знакозмінних механічних навантажень, тертя, температурних коливань та порушень умов змащування. Оскільки шатун є елементом, що працює в умовах постійної динамічної напруженості, характер його дефектів має накопичувальний і втомний характер, а більшість пошкоджень розвивається поступово, починаючи з мікрODEформацій і завершуючи критичними геометричними відхиленнями або руйнуванням.

Знос отвору нижньої головки шатуна під вкладиші є більш критичним, оскільки саме ця зона сприймає основні навантаження від тиску газів через колінчастий вал. Порушення гідродинамічного режиму тертя, недостатній тиск мастила або його деградація призводять до контакту метал-метал, що викликає інтенсивне зношування робочих поверхонь вкладишів і самої посадочної поверхні шатуна. Це супроводжується збільшенням діаметра отвору, втратою циліндричності та появою локальних зон перегріву.

Овальність отворів верхньої та нижньої головок є характерним наслідком нерівномірного розподілу навантажень у процесі роботи двигуна. Під дією змінних сил відбувається нерівномірна деформація матеріалу, що призводить до формування еліптичної форми отвору замість ідеально круглої. Овальність є особливо небезпечною, оскільки вона порушує рівномірність розподілу

навантаження по поверхні контакту, що прискорює подальше зношування.

Конусність отворів шатуна виникає внаслідок нерівномірного зношування по довжині посадочної поверхні. Найчастіше цей дефект спостерігається у нижній головці, де навантаження розподіляються нерівномірно через особливості роботи колінчастого вала та гідродинамічного клина мастила. Конусність призводить до порушення співвісності та ускладнює подальше відновлення без механічної обробки.

Деформація стержня шатуна є одним із найбільш небезпечних видів пошкоджень, оскільки вона безпосередньо впливає на кінематику роботи всього механізму. Під дією знакозмінних навантажень стержень може втрачати прямолінійність, що призводить до появи вигину. Вигин шатуна викликає порушення паралельності осей верхньої та нижньої головок, що, у свою чергу, спричиняє нерівномірний розподіл навантажень і прискорене зношування вкладишів та поршневої групи.

Скручування шатуна виникає при нерівномірному прикладанні сил у різних площинах, що може бути наслідком гідродудару, детонаційних процесів у двигуні або серйозних експлуатаційних перевантажень. Даний дефект є складним для виявлення без спеціального вимірювального обладнання та суттєво впливає на точність роботи кривошипно-шатунного механізму.

Тріщини в матеріалі шатуна є критичним видом дефекту, який найчастіше виникає в зонах концентрації напружень – у переходах між стержнем і головками, а також біля отворів. Причиною їх утворення є втомний характер навантажень, що діють протягом тривалого часу. Розвиток тріщин є особливо небезпечним, оскільки він може призвести до раптового руйнування шатуна під час роботи двигуна.

Пошкодження різьби шатунних болтів є ще одним поширеним дефектом, який виникає внаслідок багаторазового демонтажу, неправильного затягування або перевищення моменту затяжки. Деформація або зношування різьбових з'єднань призводить до втрати необхідного зусилля затиску, що негативно впливає на надійність кріплення кришки шатуна та стабільність роботи нижньої головки.

Корозійні пошкодження, хоча і менш характерні для внутрішніх поверхонь двигуна при нормальних умовах експлуатації, можуть виникати при тривалих простоях автомобіля, використанні неякісних мастильних матеріалів або потраплянні вологи в систему змащування. Корозія призводить до погіршення якості поверхні, утворення мікропітингів та зниження зносостійкості матеріалу.

Таким чином, шатун 121009455R піддається комплексу взаємопов'язаних дефектів, які формуються під впливом механічних, термічних та експлуатаційних факторів. Найбільш критичними серед них є деформація стержня, тріщини та знос посадочних отворів, оскільки саме вони визначають можливість подальшого відновлення деталі та її придатність до експлуатації після ремонту.

Таблиця 1.1 – Основні дефекти шатуна 121009455R та їх характер

| Вид дефекту | Причина виникнення | Наслідки для роботи двигуна |
|------------------------------|--|--|
| Знос отвору верхньої головки | Тертя поршневого пальця, недостатнє змащування | Збільшення зазору, удари в з'єднанні, шумність роботи |
| Знос отвору нижньої головки | Порушення гідродинамічного режиму, забруднення мастила | Втрата геометрії, перегрів, прискорений знос вкладишів |
| Овальність отворів | Нерівномірні динамічні навантаження | Порушення рівномірного розподілу навантажень |
| Конусність отворів | Нерівномірне зношування по довжині | Порушення співвісності, ускладнення ремонту |
| Вигин стержня | Перевантаження, ударні навантаження | Порушення геометрії КШМ, підвищений знос ЦПГ |
| Скручування шатуна | Гідроудар, детонація, аварійні режими | Порушення кінематики руху поршня |
| Тріщини | Втома матеріалу, концентрація напружень | Ризик руйнування шатуна під час роботи |

| | | |
|------------------------------|---|--|
| Пошкодження різьби болтів | Перетяжка, багаторазовий монтаж | Втрата зусилля затиску, ризик роз'єднання |
| Корозія | Волога, тривале зберігання, погане мастило | Руйнування поверхні, зниження міцності |

1.4 Методи діагностики та контролю технічного стану шатуна

Перед виконанням операцій з відновлення шатуна 121009455R обов'язковим етапом є комплексна діагностика його технічного стану, оскільки саме на цьому етапі визначається доцільність подальшого ремонту, обсяг технологічних операцій та кінцевий ресурс деталі після відновлення. Діагностика шатуна повинна забезпечувати виявлення як видимих, так і прихованих дефектів, що виникають у процесі експлуатації двигуна, а також оцінку відповідності геометричних параметрів нормативним вимогам.

Першим і базовим етапом є візуальний контроль, який дозволяє виявити зовнішні дефекти без застосування складного обладнання. У процесі візуального огляду оцінюється наявність тріщин, задирів, слідів перегріву, корозійних пошкоджень, механічних деформацій та порушень цілісності поверхонь. Особлива увага приділяється зонам концентрації напружень — переходам між стержнем і головками, а також області отворів під поршневий палець і шатунні вкладиші. Візуальний контроль дозволяє здійснити первинне сортування деталей на придатні, умовно придатні та непридатні до відновлення.

Наступним етапом є вимірювання геометричних параметрів, яке виконується за допомогою мікрометричного інструменту, нутромірів та індикаторних пристроїв. У процесі вимірювань визначаються діаметри отворів верхньої та нижньої головок, їх овальність, конусність, а також відхилення від номінальних розмірів. Окремо контролюється міжосьова відстань головок шатуна, оскільки її зміна є індикатором загальної деформації деталі. Отримані результати порівнюються з допустимими значеннями, що дозволяє оцінити

ступінь зношування та необхідність механічної обробки.

Важливим етапом є перевірка співвісності головок шатуна, яка дозволяє визначити наявність перекосів, що виникають у результаті тривалої експлуатації або механічних перевантажень. Для цього використовуються спеціальні контрольні оправки або індикаторні пристрої, які дають можливість оцінити відхилення осей верхньої та нижньої головок від номінального положення. Порушення співвісності є одним із ключових параметрів, що впливають на кінематичну точність роботи кривошипно-шатунного механізму.

Контроль вигину та скручування шатуна здійснюється на спеціальних контрольних плитах або пристроях із застосуванням індикаторів годинникового типу. Вигин визначається як відхилення осі стержня від прямолінійного положення в одній площині, тоді як скручування характеризує кутове зміщення головок відносно одна одної. Дані дефекти є критичними, оскільки вони безпосередньо впливають на рівномірність навантаження та роботу поршневої групи, а також можуть бути причиною прискореного зносу після відновлення, якщо не будуть усунені на етапі ремонту.

Для виявлення прихованих тріщин застосовується капілярна або магнітопорошкова дефектоскопія. Капілярний метод дозволяє виявляти поверхневі мікротріщини шляхом проникнення спеціального індикаторного розчину у дефектні зони з подальшим проявленням. Магнітопорошковий метод використовується для деталей із феромагнітних матеріалів і дозволяє виявляти як поверхневі, так і підповерхневі дефекти за рахунок локального спотворення магнітного поля. Застосування цих методів є особливо важливим для оцінки втомного стану шатуна.

Завершальним етапом є оцінка придатності шатуна до відновлення, яка виконується на основі сукупності отриманих діагностичних даних. При цьому враховується ступінь зносу посадочних поверхонь, наявність деформацій, тріщин та інших критичних дефектів. Деталь може бути віднесена до категорії придатних до відновлення, обмежено придатних або непридатних для подальшої експлуатації. Основним критерієм є можливість відновлення геометричних параметрів у межах допустимих відхилень без втрати міцності та

працездатності.

Таблиця 1.2 – Методи діагностики технічного стану шатуна

| Метод контролю | Сутність методу | Що виявляється | Обладнання |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------|
| Візуальний контроль | Огляд поверхні без застосування приладів | Тріщини, задири, корозія, перегрів | Лупа, освітлення |
| Вимірювання геометрії | Контроль розмірів та відхилень | Овальність, конусність, знос отворів | Мікрометр, нутромір |
| Перевірка співвісності | Контроль осей головок шатуна | Перекіс головок, порушення геометрії | Контрольні оправки, індикатор |
| Контроль вигину | Визначення відхилення стержня | Деформація в площині | Контрольна плита, індикатор |
| Контроль скручування | Визначення кутового зміщення | Скручування шатуна | Спеціальні пристрої, індикатор |
| Магнітопорошкова дефектоскопія | Магнітне виявлення дефектів | Поверхневі та підповерхневі тріщини | Магнітний дефектоскоп |
| Капілярна дефектоскопія | Проникнення індикаторної рідини | Мікротріщини, пори | Проникаючі рідини, проявник |
| Оцінка придатності | Комплексний аналіз результатів | Рішення про ремонт/списання | Технічна документація |

Після наведеної системи діагностичних методів доцільно підкреслити, що саме комплексний підхід до контролю технічного стану шатуна дозволяє отримати об'єктивну картину його фактичного зношування та визначити реальну можливість подальшого відновлення. Поєднання візуальних,

вимірювальних і неруйнівних методів контролю забезпечує виявлення як явних, так і прихованих дефектів, що особливо важливо для деталей, які працюють в умовах знакозмінних навантажень і високих швидкостей обертання. Саме на основі узагальнення результатів усіх етапів діагностики приймається технічно обґрунтоване рішення щодо придатності шатуна до ремонту, вибору технології відновлення та подальших режимів механічної обробки, що в кінцевому підсумку визначає надійність роботи двигуна після складання.

1.5 Висновки до першого розділу

Обґрунтовано функціональне значення об'єкта дослідження. Встановлено, що шатун Renault артикулу 121009455R є критично навантаженим елементом КШМ, який працює в умовах циклічних знакозмінних навантажень (стиснення, розтягу та згину), що вимагає високої точності його геометричних параметрів при відновленні.

Проаналізовано конструктивні особливості деталі. Визначено, що використання двотаврового перерізу стрижня та прогресивної технології контрольованого відриву кришки (controlled splitting) забезпечує високу жорсткість конструкції, але накладає жорсткі обмеження на технологію базування та обробки кривошипної головки під час ремонту.

Визначено вектор подальших досліджень. Доведено, що експлуатаційні дефекти (знос поверхонь отворів головки, порушення паралельності осей) безпосередньо дестабілізують кінематику ДВЗ. Це обґрунтовує необхідність розроблення прецизійного технологічного процесу відновлення, який забезпечить повернення номінальних ремонтних розмірів та фізико-механічних властивостей деталі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розроблення технологічного процесу відновлення шатуна

Розроблення технологічного процесу відновлення шатуна 121009455R базується на необхідності відновлення його геометричних параметрів, забезпечення співвісності отворів головок та відновлення працездатності вузла в межах нормативних допусків, що гарантують надійну роботу кривошипно-шатунного механізму двигуна Renault Scenic II. Оскільки шатун працює в умовах значних знакозмінних навантажень, технологія його відновлення повинна забезпечувати не лише геометричну точність, але й відновлення експлуатаційної надійності без зниження втомної міцності матеріалу.

Загальний технологічний процес відновлення шатуна приймається як послідовність взаємопов'язаних операцій, кожна з яких має чітке функціональне призначення та впливає на кінцеву якість відремонтованої деталі. Процес включає очищення, дефектацію, контроль геометрії, правку (за необхідності), відновлення посадочних поверхонь, механічну обробку та остаточний контроль якості.

Першим етапом є очищення шатуна від експлуатаційних забруднень, залишків мастила, нагару та продуктів зношування. Очищення виконується у мийних установках із застосуванням лужних або спеціалізованих миючих розчинів, що забезпечують видалення масляних відкладень без пошкодження базових поверхонь деталі. Якісне очищення є критично важливим, оскільки воно безпосередньо впливає на точність подальшої дефектації.

Наступним етапом є дефектація, під час якої проводиться комплексний контроль технічного стану шатуна відповідно до методів, розглянутих у попередньому підрозділі. На цьому етапі визначається наявність тріщин, ступінь зносу посадочних поверхонь, величина овальності та конусності отворів, а також можливі деформації стержня. За результатами дефектації

деталь відноситься до придатних або непридатних для відновлення, що є основою для подальшого технологічного маршруту.

Після дефектації виконується вимірювання геометричних параметрів, яке дозволяє встановити фактичні відхилення від номінальних розмірів. Отримані дані використовуються для визначення необхідного обсягу механічної обробки, вибору ремонтних розмірів або способів відновлення посадочних поверхонь. Особлива увага приділяється контролю співвісності отворів верхньої та нижньої головок, оскільки цей параметр визначає правильність роботи всього механізму.

У разі виявлення відхилень форми або положення осей виконується операція правки шатуна. Правка здійснюється на спеціальних пресах або пристосуваннях із контролем індикаторними приладами, що дозволяє відновити прямолінійність стержня та усунути вигин або скручування. Дана операція є важливою, не виправлені деформації призводять до нерівномірного навантаження на вкладиші та прискореного зношування після ремонту.

Однією з ключових операцій технологічного процесу є відновлення отвору верхньої головки шатуна шляхом встановлення ремонтної втулки. При цьому зношений отвір розточується до ремонтного розміру, після чого запресовується нова втулка з антифрикційного матеріалу. Далі виконується остаточна механічна обробка втулки до номінального розміру під поршневий палець із забезпеченням необхідної точності та шорсткості поверхні.

Відновлення нижньої головки шатуна здійснюється шляхом її розточування під ремонтний розмір із подальшим хонінгуванням або прецизійною обробкою для забезпечення правильної геометрії та якості поверхні. У разі значного зносу також може застосовуватися метод відновлення із застосуванням ремонтних вкладишів відповідного розміру. Важливим етапом є контроль діаметра та форми отвору після обробки, оскільки саме ця поверхня визначає умови роботи шатунної шийки колінчастого вала.

Після завершення механічної обробки виконується контроль співвісності отворів та геометрії шатуна в цілому. Цей етап є завершальним у технологічному процесі відновлення і дозволяє переконатися у відповідності

деталі встановленим технічним вимогам. За необхідності проводиться додаткова доводка окремих параметрів.

Завершальним етапом є остаточний контроль якості відновленого шатуна, який включає перевірку геометричних розмірів, співвісності, відсутності дефектів поверхні та відповідності технічним вимогам. Лише після проходження всіх етапів контролю деталь може бути допущена до подальшої експлуатації у складі двигуна.

Таким чином, розроблений технологічний процес відновлення шатуна 121009455R забезпечує поетапне відновлення його функціональних і геометричних характеристик, що дозволяє повернути деталі працездатність і забезпечити її надійну роботу в умовах високих експлуатаційних навантажень двигуна Renault Scenic II.

Таблиця 2.1 – Розширений технологічний процес відновлення шатуна 121009455R

| № | Операція | Зміст робіт | Контрольовані параметри | Обладнання та інструмент | Результат |
|---|--------------------------------|---|--|--|-----------------------------------|
| 1 | Очищення | Видалення мастильно-брудових відкладень, нагару | Якість очищення поверхні, відсутність залишків мастила | Мийна установка, щітки, лужні розчини | Підготовлена до дефектації деталь |
| 2 | Попередній візуальний контроль | Огляд на наявність тріщин, сколів, корозії | Видимі дефекти поверхні | Лупа, освітлення | Первинна оцінка придатності |
| 3 | Дефектація | Комплексна перевірка стану деталі | Наявність тріщин, знос, деформації | Магнітопорошковий/капілярний дефектоскоп | Висновок про придатність |
| 4 | Вимірювання геометрії | Контроль розмірів отворів і стержня | Ø верхньої/нижньої головки, овальність, конусність | Нутромір, мікрометр, індикатор | Дані для ремонту |
| 5 | Перевірка співвісності | Визначення положення осей головок | Відхилення співвісності, зміщення осей | Контрольні оправки, індикатор | Виявлення геометричних перекосів |
| 6 | Контроль вигину | Перевірка прямолінійності стержня | Величина прогину (мм/100 мм) | Контрольна плита, індикатор | Дані для правки |
| 7 | Контроль скручування | Визначення кутового зміщення головок | Кут скручування (градуси) | Спеціальний шаблон, індикатор | Оцінка деформації |

| | | | | | |
|----|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 8 | Правка шатуна | Усунення вигину та скручування | Геометрія після правки | Гідравлічний прес, пристосування | Відновлена геометрія |
| 9 | Розточування верхньої головки | Підготовка під ремонтну втулку | Діаметр отвору, співвісність | Розточувальний верстат | Підготовка до втулки |
| 10 | Запресування втулки | Встановлення нової втулки | Посадка з натягом | Прес, оправки | Відновлена поверхня |
| 11 | Обробка втулки | Доведення до номінального розміру | Ø під палець, шорсткість Ra | Розгортка, хонінгування | Точна посадка |
| 12 | Розточування нижньої головки | Відновлення посадки під вкладиші | Ø отвору, овальність | Розточувальний верстат | Підготовка під вкладиші |
| 13 | Хонінгування | Фінішна обробка поверхні | Шорсткість, геометрія | Хонінгувальний верстат | Робоча поверхня |
| 14 | Контроль співвісності після обробки | Перевірка остаточної геометрії | Відхилення осей | Індикаторні пристрої | Підтвердження точності |
| 15 | Остаточний контроль якості | Фінальна перевірка всіх параметрів | Всі геометричні та дефектні показники | Вимірювальний інструмент, дефектоскоп | Допуск до експлуатації |



Рисунок 2.1 – Технологічний процес відновлення шатуна автомобіля

Renault Scenic II

2.2 Організація дільниці ремонтного цеху та вибір обладнання

Організація дільниці для відновлення деталей кривошипно-шатунного механізму, зокрема шатуна, повинна забезпечувати послідовний, технологічно логічний та безперервний потік виконання ремонтних операцій, починаючи від приймання та очищення деталі і завершуючи остаточним контролем якості. В умовах спеціалізованого ремонтного виробництва така дільниця розглядається як структурний підрозділ, у якому реалізується повний цикл відновлення деталей двигуна внутрішнього згоряння з дотриманням вимог точності, продуктивності та безпеки праці.

Функціонально дільниця відновлення шатунів поділяється на кілька взаємопов'язаних зон, кожна з яких виконує окремий етап технологічного процесу. До складу таких зон доцільно віднести зону приймання та попереднього огляду, зону очищення деталей, дільницю дефектації та вимірювального контролю, зону механічної обробки, а також контрольну та складальну зону. Така структура дозволяє мінімізувати переміщення деталей між операціями, скоротити допоміжний час і підвищити загальну ефективність виробничого процесу.

Зона приймання та попереднього огляду призначена для первинної оцінки стану деталей, що надходять у ремонт. Тут виконується ідентифікація шатуна, перевірка наявності грубих механічних пошкоджень, а також попереднє сортування за ступенем зношування. Дана зона є початковою точкою технологічного потоку і визначає подальший маршрут проходження деталі.

Зона очищення є обов'язковим етапом, оскільки якість подальшої дефектації напряму залежить від чистоти поверхонь. Тут застосовуються мийні установки з циркуляцією лужних або спеціалізованих миючих розчинів, а також механічні методи очищення. Основною вимогою до цієї зони є забезпечення повного видалення масляних та твердих відкладень без зміни геометрії та структури матеріалу деталі.

Дільниця дефектації та вимірювального контролю є ключовою з точки зору прийняття технічних рішень щодо подальшого відновлення шатуна. Тут

розміщуються вимірювальні інструменти, індикаторні пристрої та обладнання для неруйнівного контролю. Саме в цій зоні визначається ступінь зносу посадочних поверхонь, наявність деформацій, тріщин та інших критичних дефектів, а також приймається рішення щодо придатності деталі до ремонту.

Зона механічної обробки включає верстатне обладнання, необхідне для виконання основних відновлювальних операцій, таких як розточування, хонінгування та запресування ремонтних втулок. Вимоги до цієї зони передбачають високу жорсткість установа обладнання, мінімізацію вібрацій та забезпечення стабільних геометричних параметрів обробки, оскільки навіть незначні відхилення можуть впливати на працездатність шатуна в умовах високих динамічних навантажень.

Контрольна та складальна зона призначена для остаточної перевірки геометричних параметрів відновлених деталей та їх підготовки до подальшого використання. Тут здійснюється фінальний контроль співвісності, розмірів отворів, шорсткості поверхонь та відсутності дефектів після механічної обробки. Лише після проходження цього етапу шатун вважається придатним до експлуатації.

Організація робочих місць на дільниці повинна відповідати принципам ергономіки, безпеки та технологічної послідовності. Обладнання розташовується з урахуванням мінімізації переміщення деталей між операціями, що дозволяє скоротити допоміжний час і підвищити продуктивність праці. Особлива увага приділяється забезпеченню достатнього освітлення, вентиляції та доступу до обладнання для обслуговування та налаштування.

Важливим аспектом організації дільниці є дотримання вимог точності виконання ремонтних операцій. Оскільки шатун є високонавантаженим елементом двигуна, навіть незначні відхилення від номінальних параметрів можуть призвести до порушення роботи кривошипно-шатунного механізму. Тому на всіх етапах виробничого процесу передбачено багаторівневий контроль якості.

Таким чином, правильно організована дільниця відновлення шатунів забезпечує ефективну реалізацію технологічного процесу ремонту, підвищує якість відновлених деталей та дозволяє досягти стабільних показників надійності при подальшій експлуатації двигуна Renault Scenic II.

Обґрунтування вибору обладнання, пристроїв та інструменту для відновлення

Вибір обладнання, пристроїв та інструменту для відновлення шатуна 121009455R здійснюється на основі аналізу технологічного процесу ремонту, характеру дефектів та вимог до точності геометричних параметрів, які є критичними для забезпечення надійної роботи кривошипно-шатунного механізму двигуна Renault Scenic II. Оскільки шатун працює в умовах значних знакозмінних навантажень, обладнання повинно забезпечувати високу точність обробки, стабільність технологічних режимів та мінімізацію похибок.

Початковим етапом є очищення деталей, для якого використовується мийна установка струменевого або камерного типу з циркуляцією мийного розчину. Це обладнання дозволяє ефективно видаляти мастильно-брудові відкладення без механічного впливу на поверхні, що є критично важливим для подальшої точної дефектації.

Для наочності вибору основного технологічного обладнання для різних етапів ремонту доцільно згрупувати його в єдину систему.

Таблиця 2.2 – Основне обладнання та інструмент для відновлення шатуна

| Етап процесу | Обладнання / інструмент | Призначення | Обґрунтування вибору |
|--------------|--------------------------------|----------------------|--|
| Очищення | Мийна установка | Видалення забруднень | Забезпечує якісну підготовку поверхні без пошкоджень |
| Дефектація | Магнітопорошковий дефектоскоп | Виявлення тріщин | Висока чутливість до втомних дефектів |
| Вимірювання | Нутромір, мікрометр, індикатор | Контроль геометрії | Забезпечує точність до сотих/тисячних мм |

| | | | |
|--------------------------|---|----------------------------------|---|
| Правка | Гідравлічний прес | Усунення вигину та скручування | Дозволяє контрольовану пластичну деформацію |
| Обробка верхньої головки | Розточувальний верстат | Підготовка під втулку | Забезпечує співвісність і точність отвору |
| Обробка нижньої головки | Розточувальний + хонінгувальний верстат | Відновлення посадки під вкладиші | Формує точну геометрію та мікрошорсткість |
| Контроль | Контрольні оправки, індикатор | Перевірка співвісності | Гарантує правильну геометрію після ремонту |

Після очищення та первинної підготовки деталі виконується комплексна дефектація із застосуванням вимірювального та діагностичного обладнання. Використання магнітопорошкового або капілярного контролю обґрунтовується необхідністю виявлення прихованих тріщин, які не можуть бути визначені візуально, але критично впливають на працездатність шатуна.

Для виконання операцій правки застосовується гідравлічний прес із спеціальними пристосуваннями, що дозволяє усунути вигин і скручування стержня шатуна з одночасним контролем геометрії за допомогою індикаторних приладів. Це забезпечує відновлення просторової точності деталі без перевищення допустимих залишкових напружень.

Основні операції механічної обробки виконуються на розточувальних та хонінгувальних верстатах, що дозволяє забезпечити необхідну точність посадочних поверхонь верхньої та нижньої головок шатуна. Застосування хонінгування є особливо важливим, оскільки воно формує оптимальну мікрогеометрію поверхні, необхідну для стабільного режиму змащування.

Вимірювальний контроль здійснюється за допомогою високоточного інструменту, що забезпечує перевірку всіх критичних параметрів, включаючи діаметри отворів, овальність, конусність та співвісність головок. Спеціальні пристосування використовуються для базування шатуна під час обробки, що дозволяє зменшити похибки установки та підвищити повторюваність результатів.

Таким чином, підібране обладнання та інструмент повністю відповідають вимогам технологічного процесу відновлення шатуна 121009455R та забезпечують досягнення необхідної точності, надійності та стабільності ремонтних операцій, що є визначальним фактором для подальшої експлуатації двигуна Renault Scenic II.

2.3 Розрахунок основних технологічних показників роботи дільниці

Розрахунок основних технологічних показників роботи дільниці відновлення шатунів виконується з метою визначення виробничих можливостей дільниці, необхідної кількості персоналу, рівня завантаження обладнання та загальної ефективності організації ремонтного процесу. Оскільки відновлення шатунів відноситься до умов дрібносерійного ремонтного виробництва, розрахунки базуються на усереднених нормативних показниках та типових режимах роботи ремонтних підприємств автомобільного профілю.

Першочерговим етапом є визначення річної виробничої програми дільниці, яка характеризує кількість деталей, що підлягають відновленню протягом року. Даний показник безпосередньо впливає на вибір обладнання, організацію робочих місць та розрахунок трудових витрат.

Річна виробнича програма визначається за формулою

$$Q = N \cdot k \quad (2.1)$$

де Q – річна програма ремонту, шт/рік;

N – кількість двигунів, що надходять у ремонт, шт/рік;

k – кількість шатунів у одному двигуні

Для умов даного проєкту приймається, що на дільницю надходить 500 двигунів на рік, а кожен двигун містить 4 шатуни. Це дозволяє отримати:

$$Q = 500 \cdot 4 = 2000 \text{ шт/рік}$$

Отримане значення свідчить про середній рівень завантаження дільниці, що є характерним для спеціалізованих ремонтних підприємств, які виконують відновлення деталей двигунів внутрішнього згорання

Наступним етапом є визначення фонду робочого часу обладнання, який характеризує потенційні можливості дільниці щодо виконання ремонтних операцій. Для цього розраховується номінальний річний фонд часу

$$F_H = D \cdot S \cdot t \quad (2.2)$$

де F_H – номінальний фонд часу роботи обладнання, год/рік

D – кількість робочих днів у році

S – кількість змін

t – тривалість зміни

Приймаючи стандартні умови роботи (250 робочих днів, 1 зміна тривалістю 8 годин), отримаємо

$$F_H = 250 \cdot 1 \cdot 8 = 2000 \text{ год/рік}$$

Однак у реальних виробничих умовах частина часу втрачається на планово-попереджувальні ремонти, наладку обладнання та організаційні простой. Тому вводиться коефіцієнт використання робочого часу, який дозволяє визначити ефективний фонд часу

$$F_e = F_H \cdot \eta \quad (2.3)$$

де η – коефіцієнт використання часу обладнання (приймаємо 0,9)

$$F_e = 2000 \cdot 0,9 = 1800 \text{ год/рік}$$

Отримане значення ефективного фонду часу є основою для подальших розрахунків завантаження персоналу та обладнання.

Важливим етапом є визначення трудомісткості відновлення одного шатуна, яка включає сумарний час виконання всіх технологічних операцій: очищення, дефектації, правки, механічної обробки та контролю якості. У рамках даного проєкту приймається узагальнене нормативне значення:

$$T_{шт} = 1,8 \text{ год/шт}$$

Загальна річна трудомісткість робіт дільниці визначається як добуток річної програми на трудомісткість однієї деталі:

$$T_p = Q \cdot T_{шт} = 2000 \cdot 1,8 = 3600 \text{ люд}\cdot\text{год/рік} \quad (2.4)$$

Отриманий результат дозволяє оцінити загальний обсяг навантаження на виробничий персонал та використовується для визначення необхідної кількості робітників.

Кількість виробничих робітників визначається з урахуванням ефективного фонду робочого часу одного працівника

$$R = T_p / F_e = 3600 / 1800 = 2,0 \text{ чол.} \quad (2.5)$$

де R – чисельність робітників

Таким чином, для забезпечення виконання річної програми ремонту достатньо двох кваліфікованих робітників, які здатні виконувати повний комплекс операцій відновлення шатунів.

Додатково виконується розрахунок коефіцієнта завантаження основного обладнання, який дозволяє оцінити ефективність його використання

$$K_z = T_p / (n \cdot F_e) = 3600 / (3 \cdot 1800) = 0,67 \quad (2.6)$$

де n – кількість основного обладнання (приймається 3 одиниці)

Отримане значення свідчить про раціональне завантаження обладнання, що відповідає умовам ремонтного виробництва та дозволяє уникнути як перевантаження, так і простоїв.

Орієнтовна виробнича площа ділянки визначається на основі укрупнених нормативів, що враховують площу робочих місць, проходів та зон обслуговування обладнання

$$S = n \cdot S_1 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

де S – загальна площа ділянки, м^2

S_1 – площа одного робочого місця

Приймаючи $S_1 = 20 \text{ м}^2$ та $n = 3$, отримаємо:

Таким чином, виконані розрахунки дозволяють комплексно оцінити виробничі можливості ділянки відновлення шатунів. Отримані показники підтверджують, що організація невеликої спеціалізованої ділянки є технічно обґрунтованою та економічно доцільною, оскільки забезпечує ефективне використання обладнання, оптимальну чисельність персоналу та стабільну реалізацію заданої річної програми ремонту.

Таблиця 2.3 – Основні технологічні показники ділянки

| Показник | Позначення | Формула | Значення | Одиниця |
|-----------------------------|------------|---------------------------|----------|---------|
| Річна виробнича програма | Q | $Q = N \cdot k$ | 2000 | шт/рік |
| Кількість двигунів | N | вихідні дані | 500 | шт/рік |
| Кількість шатунів на двигун | k | вихідні дані | 4 | шт |
| Номінальний фонд часу | F_n | $F_n = D \cdot S \cdot t$ | 2000 | год/рік |
| Ефективний фонд часу | F_e | $F_e = F_n \cdot \eta$ | 1800 | год/рік |
| Трудомісткість 1 шатуна | Tшт | нормативне значення | 1,8 | год/шт |

| | | | | |
|------------------------------------|-------|-----------------------------|------|----------------|
| Річна трудомісткість | T_p | $T_p = Q \cdot T_{шт}$ | 3600 | люд·год/рік |
| Кількість робітників | R | $R = T_p / F_e$ | 2 | чол. |
| Коефіцієнт завантаження обладнання | K_z | $K_z = T_p / (n \cdot F_e)$ | 0,67 | — |
| Орієнтовна площа ділянки | S | $S = n \cdot S_1$ | 60 | м ² |

2.4 Дослідження властивостей відновлених поверхонь шатуна

Після виконання технологічних операцій відновлення шатуна ключовим етапом є оцінка якості сформованих робочих поверхонь та їх експлуатаційних властивостей. Це необхідно для підтвердження того, що відновлена деталь не лише відповідає геометричним вимогам, але й забезпечує достатній рівень міцності, зносостійкості та стабільності роботи в умовах динамічних навантажень двигуна Renault Scenic II. Оцінка властивостей відновлених поверхонь дозволяє зробити висновок про доцільність застосованої технології ремонту з точки зору довговічності та надійності.

Одним із основних параметрів, що характеризує якість відновлених поверхонь, є твердість матеріалу в зоні обробки. Після механічної обробки та встановлення ремонтної втулки твердість поверхонь повинна залишатися на рівні, достатньому для сприйняття контактних навантажень без інтенсивного зношування. Для сталі шатуна та втулкових матеріалів типовими є значення твердості, що забезпечують роботу в умовах гідродинамічного тертя. Контроль твердості виконується методами Брінелля або Роквелла залежно від конструктивних особливостей матеріалу.

Важливим показником є зносостійкість відновлених поверхонь, яка визначає здатність матеріалу протистояти поступовій втраті маси під дією тертя. У випадку верхньої головки шатуна з встановленою втулкою з

антифрикційного матеріалу зносостійкість забезпечується за рахунок поєднання матеріалів пари тертя «палець–втулка», де втулка виконує функцію жертвенного елемента. Для нижньої головки шатуна основну роль відіграє якість обробки поверхні під вкладиші та формування стабільної масляної плівки.

Таблиця 2.4 – Основні властивості відновлених поверхонь шатуна

| Показник | Характеристика | Метод контролю | Вплив на роботу деталі |
|----------------------|--|------------------------|------------------------------------|
| Твердість поверхні | Відповідає матеріалу основи та втулки | Роквелл / Брінелль | Сприйняття контактних навантажень |
| Зносостійкість | Підвищена за рахунок матеріалів пари тертя | Трибологічна оцінка | Зменшення інтенсивності зношування |
| Мікроструктура | Без змін після механічної обробки | Металографічний аналіз | Збереження втомної міцності |
| Шорсткість поверхні | Після хонінгування — знижена | Профілометрія | Стабільність масляної плівки |
| Співвісність отворів | В межах допусків після контролю | Індикаторні пристрої | Рівномірний розподіл навантаження |

Окремо слід розглянути мікроструктуру матеріалу в зонах механічної обробки. При правильному виконанні технологічного процесу не повинно відбуватися перегріву або структурних змін, які можуть призвести до зниження втомної міцності. Використання розточування та хонінгування дозволяє мінімізувати термічний вплив і забезпечити збереження вихідної структури

матеріалу шатуна. Це є критично важливим, оскільки саме втомна міцність визначає довговічність деталі в умовах знакозмінних навантажень.

Суттєвим показником якості є також шорсткість поверхні, яка безпосередньо впливає на умови утворення мастильної плівки. Для посадочних поверхонь шатуна після завершальної обробки досягаються параметри шорсткості, що забезпечують стабільний гідродинамічний режим тертя. Зниження шорсткості сприяє зменшенню коефіцієнта тертя, зниженню тепловиділення та підвищенню загального ресурсу вузла.

Для узагальнення основних показників якості відновлених поверхонь доцільно представити їх у вигляді зведеної таблиці.

Таким чином, проведений аналіз показує, що при дотриманні технологічного процесу відновлення забезпечується формування робочих поверхонь шатуна з властивостями, близькими до нових деталей. Це дозволяє зберегти необхідний рівень міцності та зносостійкості, що є визначальним фактором для довготривалої та надійної роботи двигуна в умовах реальної експлуатації.

2.5 Розрахунок економічного ефекту застосування запропонованого технологічного процесу

Економічна доцільність відновлення шатуна визначається як один із ключових показників ефективності запропонованого технологічного процесу, оскільки саме вона демонструє практичну вигоду від застосування ремонтної технології порівняно із повною заміною деталі. У сучасних умовах обслуговування та ремонту автомобілів Renault Scenic II питання зниження вартості ремонту двигуна є особливо актуальним, оскільки вартість оригінальних компонентів кривошипно-шатунного механізму є високою, а їх доступність може бути обмеженою.

В основі економічного аналізу лежить порівняння витрат на відновлення шатуна із витратами на придбання нового виробу. При цьому до собівартості відновлення включаються всі основні складові виробничого процесу, а саме

витрати на матеріали, оплату праці, енергетичні ресурси та частку витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Такий підхід дозволяє отримати реалістичну оцінку фактичної вартості ремонтної операції.

Загальна собівартість відновлення одного шатуна визначається за формулою

$$C_p = C_m + C_{зп} + C_e + C_{об} \quad (2.8)$$

де C_p – повна собівартість відновлення, грн

C_m – витрати на матеріали (ремонтні втулки, мастильні матеріали, абразивні матеріали, миючі засоби)

$C_{зп}$ – витрати на заробітну плату виробничого персоналу з урахуванням трудомісткості операцій

C_e – витрати на електроенергію, спожиту обладнанням під час механічної обробки

$C_{об}$ – частка витрат на обладнання, включаючи амортизацію, ремонт та обслуговування.

Для умов даного проекту приймаються усереднені нормативні значення, характерні для ремонтних підприємств середнього рівня оснащення:

$C_m = 250$ грн – включає вартість ремонтної втулки, витратні матеріали та миючі засоби, що використовуються на всіх етапах технологічного процесу;

$C_{зп} = 300$ грн – визначається на основі трудомісткості 1,8 год/шт та середньої погодинної ставки робітника ремонтної дільниці;

$C_e = 50$ грн – враховує споживання електроенергії розточувальним, хонінгувальним обладнанням та мийними установками;

$C_{об} = 150$ грн – умовна частка витрат на амортизацію та експлуатацію обладнання, що використовується у технологічному процесі.

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$C_p = 250 + 300 + 50 + 150 = 750 \text{ грн}$$

Отримане значення собівартості свідчить про відносно низьку вартість відновлення шатуна у порівнянні з його повною заміною, що пояснюється повторним використанням базового корпусу деталі та обмеженим обсягом матеріальних витрат.

Для визначення економічного ефекту виконується порівняння отриманої собівартості відновлення із ринковою вартістю нового шатуна. В умовах сучасного ринку оригінальних або якісних аналогів автокомпонентів вартість нового шатуна може суттєво перевищувати витрати на ремонт, що робить відновлення економічно доцільним.

Приймаємо орієнтовну вартість нового шатуна

$$C_H = 3000 \text{ грн}$$

Тоді економія на одній деталі визначається як

$$E_1 = C_H - C_p = 3000 - 750 = 2250 \text{ грн} \quad (2.9)$$

Отримане значення економічного ефекту на одну деталь демонструє суттєву перевагу відновлення над заміною, оскільки дозволяє зменшити витрати більш ніж у три рази при збереженні необхідних експлуатаційних характеристик.

Річний економічний ефект від впровадження технологічного процесу визначається з урахуванням виробничої програми дільниці

$$E_p = E_1 \cdot Q = 2250 \cdot 2000 = 4\,500\,000 \text{ грн/рік} \quad (2.10)$$

Отриманий результат свідчить про значний сумарний економічний ефект, який досягається за рахунок великої кількості деталей, що проходять відновлення протягом року. Саме масовість ремонту при відносно низькій собівартості однієї операції забезпечує високий загальний економічний результат.

Додатково доцільно оцінити ефективність запропонованої технології через коефіцієнт економічної доцільності

$$K_e = C_p / C_n = 750 / 3000 = 0,25 \quad (2.11)$$

Це означає, що витрати на відновлення становлять лише 25% від вартості нової деталі, тобто економія становить близько 75%, що є високим показником ефективності ремонтної технології.

Таблиця 2.5 – Узагальнені економічні показники

| Показник | Значення | Характеристика |
|--------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Собівартість відновлення | 750 грн | Повні витрати на ремонт однієї деталі |
| Вартість нового шатуна | 3000 грн | Орієнтовна ринкова ціна |
| Економія на 1 деталь | 2250 грн | Прямий економічний ефект |
| Річний економічний ефект | 4 500 000 грн | Ефект при річній програмі |
| Коефіцієнт економічності | 0,25 | Частка витрат відновлення |

Таким чином, проведений економічний аналіз підтверджує, що впровадження запропонованого технологічного процесу відновлення шатуна є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно високоефективним рішенням. Його реалізація дозволяє суттєво знизити витрати на ремонт двигунів, підвищити рентабельність ремонтного виробництва та забезпечити раціональне використання ресурсів у сфері обслуговування автомобілів Renault Scenic II.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування конструкції пристосування для контролю

У процесі відновлення шатуна одним із найважливіших факторів забезпечення якості є правильне базування деталі та стабільність її положення під час виконання операцій механічної обробки і контролю. Оскільки шатун має складну просторову геометрію та працює в умовах високих динамічних навантажень, навіть незначні відхилення у співвісності отворів або перекіс при обробці можуть призвести до суттєвого зниження ресурсу двигуна. Саме тому виникає необхідність у розробленні спеціального пристосування для базування, фіксації та контролю шатуна.

Основним призначенням розроблюваного пристосування є забезпечення точного позиціонування шатуна під час виконання операцій розточування та контролю геометрії отворів верхньої та нижньої головок. Пристосування повинно гарантувати стабільне базування деталі за основними конструкторськими базами, якими є отвори головок шатуна та площини роз'єму нижньої головки. Такий підхід дозволяє мінімізувати похибки встановлення та забезпечити відтворюваність результатів при серійному виконанні ремонтних операцій.

Важливою вимогою до конструкції пристосування є забезпечення жорсткості системи «пристосування – деталь – інструмент». Під час розточування нижньої головки шатуна виникають значні радіальні та осьові зусилля різання, які можуть спричиняти мікродеформації деталі. Тому конструкція повинна забезпечувати надійне затискання шатуна без його деформації, з рівномірним розподілом зусиль затиску по площинах контакту.

Крім того, пристосування повинно забезпечувати можливість точного контролю співвісності отворів верхньої та нижньої головок шатуна. Це досягається шляхом використання базувальних оправок, які встановлюються в отвори та дозволяють фіксувати геометричну вісь деталі. Такий підхід

забезпечує високу точність контролю та дає можливість виявляти відхилення, які неможливо визначити звичайними вимірювальними інструментами.

Окремою вимогою є технологічність конструкції пристосування. Воно повинно бути простим у виготовленні, обслуговуванні та налаштуванні, а також забезпечувати швидку установку та зняття шатуна без втрати точності базування. Це особливо важливо в умовах ремонтного виробництва, де продуктивність та час виконання операцій безпосередньо впливають на собівартість ремонту.

З урахуванням наведених вимог, конструкція пристосування для контролю та відновлення шатуна передбачає наявність базової плити, установчих елементів для фіксації нижньої головки, змінних оправок для базування верхньої головки, а також притискного механізму гвинтового або ексцентрикового типу. Така конструкція забезпечує універсальність застосування пристосування для шатунів різних типорозмірів та ступенів зношування.

Таким чином, розроблюване пристосування є ключовим елементом технологічної системи відновлення шатуна 121009455R, оскільки забезпечує необхідну точність базування, стабільність геометричних параметрів під час обробки та контроль якості відновленої деталі. Його використання дозволяє суттєво підвищити точність ремонту та знизити вплив людського фактора на результат технологічного процесу.

3.2 Опис конструкції та принципу роботи розробленого пристосування

Розроблене пристосування призначене для базування, фіксації та контролю геометричних параметрів шатуна 121009455R під час виконання операцій механічної обробки та перевірки співвісності отворів. Конструкція пристосування побудована таким чином, щоб забезпечити жорстке, але водночас ненапружене закріплення деталі з мінімальним впливом на її геометрію, що є критично важливим для точності відновлення.

Основою пристосування є масивна базова плита прямокутної форми, яка виконує функцію головної несучої конструкції та забезпечує жорсткість усієї системи. На базовій плиті розташовані установчі елементи для фіксації нижньої головки шатуна. Ці елементи виконані у вигляді змінних призматичних опор або напівциліндричних гнізд, які дозволяють точно позиціонувати деталь відповідно до її конструктивної геометрії. Така схема базування забезпечує стабільність положення шатуна у трьох площинах і виключає його зміщення під дією зовнішніх зусиль.

Для базування верхньої головки шатуна використовується змінна установча оправка циліндричної форми, яка вводиться у посадочний отвір після його первинної обробки або контролю. Оправка виконує функцію геометричної осі, відносно якої здійснюється контроль співвісності та паралельності елементів шатуна. Залежно від типорозміру деталі передбачена можливість заміни оправок, що забезпечує універсальність пристосування.

Фіксація шатуна в пристосуванні здійснюється за допомогою притискного механізму гвинтового типу. Притискні елементи передають зусилля через сферичні або площинні п'яти, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження та уникати локальних деформацій деталі. Конструкція притисків передбачає можливість регулювання зусилля затискання, що особливо важливо при роботі з деталями, які мають різний ступінь зношування або відхилення форми.

Контрольна частина пристосування включає установку для індикаторного вимірювання, яка дозволяє визначати відхилення співвісності отворів верхньої та нижньої головок шатуна. Індикатор годинникового типу закріплюється на регульованому кронштейні, що забезпечує можливість його переміщення у трьох координатних напрямках. Це дозволяє точно налаштувати вимірювальну систему під конкретні розміри деталі та виконувати контроль без демонтажу шатуна.

Принцип роботи пристосування полягає у послідовному виконанні кількох етапів. Спочатку шатун встановлюється нижньою головою на базові опори та фіксується притискним механізмом. Далі у верхню головку

встановлюється базувальна оправка, яка задає геометричну вісь деталі. Після цього здійснюється контроль співвісності за допомогою індикаторної системи шляхом обертання або переміщення контрольного елемента вздовж осі оправки. Відхилення фіксуються індикатором і порівнюються з допустимими значеннями.

У разі використання пристосування на етапі механічної обробки, воно додатково забезпечує стабільне положення шатуна під час розточування або хонінгування. Завдяки високій жорсткості базової плити та надійному притиску виключаються вібрації та зміщення деталі, що забезпечує стабільну якість оброблених поверхонь.

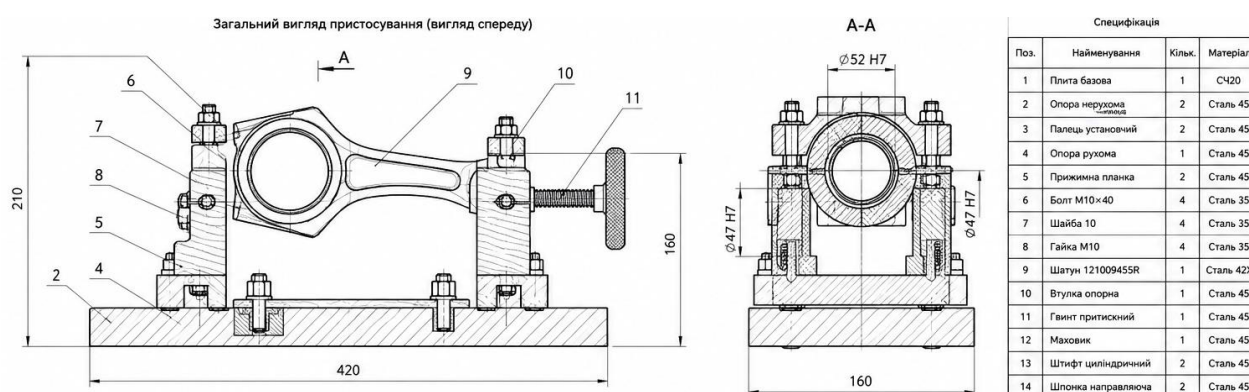


Рисунок 3.1 – Приспосіблення для базування та закріплення шатуна автомобіля Renault Scenic II

Таким чином, запропонована конструкція пристосування поєднує в собі функції базування, фіксації та контролю, що дозволяє використовувати його як універсальний засіб у технологічному процесі відновлення шатуна. Його застосування підвищує точність обробки, зменшує вплив людського фактора та забезпечує відтворюваність результатів при серійному ремонті деталей кривошипно-шатунного механізму.

3.3 Розрахунок механічних навантажень елементів пристосування

Під час роботи пристосування для базування, контролю та механічної обробки шатуна 121009455R його елементи піддаються дії силових

навантажень, які виникають у процесі затискання деталі та під час виконання операцій розточування і контролю співвісності. Основним завданням розрахунку є перевірка достатності міцності конструктивних елементів пристосування та визначення запасу надійності при роботі в умовах ремонтного виробництва.

Найбільш навантаженим елементом конструкції є притискний гвинтовий механізм, який забезпечує фіксацію шатуна в процесі обробки. Для запобігання зміщенню деталі під дією сил різання необхідно, щоб зусилля затиску перевищувало діючі технологічні навантаження з певним коефіцієнтом запасу. У розрахунках приймається, що сила різання при розточуванні отворів шатуна становить орієнтовно 800 Н, що відповідає умовам легкого точного різання в ремонтному виробництві.

Необхідне зусилля затиску визначається з умови рівноваги з урахуванням коефіцієнта запасу

$$F_z \geq k \cdot F_p \quad (3.1)$$

де F_z – зусилля затиску, Н;

F_p – сила різання, Н;

k – коефіцієнт запасу, який для ремонтних пристосувань приймається на рівні 2,5.

Підставляючи значення, отримуємо необхідне зусилля затиску

$$F_z = 2,5 \cdot 800 = 2000 \text{ Н}$$

Таким чином, конструкція притискного механізму повинна забезпечувати створення зусилля не менше 2000 Н для гарантованої фіксації деталі без її зміщення.

Далі виконується перевірка міцності гвинтового елемента, який сприймає основне осьове навантаження. Розрахунок проводиться за умовою міцності на розтяг

$$\sigma = F / A \leq [\sigma] \quad (3.2)$$

де σ – напруження в матеріалі гвинта

F – прикладене зусилля затиску;

A – площа поперечного перерізу;

$[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу.

Для виготовлення гвинта приймається конструкційна сталь із допустимим напруженням 160 МПа. При діаметрі гвинта 12 мм площа перерізу визначається як

$$A = (\pi \cdot d^2) / 4 = (3,14 \cdot 0,012^2) / 4 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

Тоді фактичні напруження становлять

$$\sigma = 2000 / 1,13 \cdot 10^{-4} = 17,7 \text{ МПа}$$

Отримане значення є значно нижчим за допустиме, що свідчить про достатню міцність елемента та можливість його безпечної експлуатації навіть при циклічних навантаженнях, характерних для ремонтного виробництва.

Окремо оцінюється навантаження на опорні поверхні пристосування, які сприймають реакції від затиску деталі. Контактні напруження визначаються як відношення зусилля затиску до сумарної площі контакту опор

$$p = F_z / S_k = 2000 / (2 \cdot 10^{-4}) = 10 \text{ МПа} \quad (3.4)$$

де S_k – площа контакту опорних елементів. Приймаючи сумарну площу контакту $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, отримуємо:

Дане значення знаходиться в допустимих межах для сталевих опорних поверхонь і не призводить до їх пластичної деформації або втрати геометричної точності.

Загальний запас міцності конструкції оцінюється як відношення допустимого напруження матеріалу до фактичного

$$n = [\sigma] / \sigma = 160 / 17,7 \approx 9,0 \quad (3.5)$$

Отримане значення свідчить про високий рівень надійності конструкції та значний резерв міцності, що є важливим для умов ремонтного виробництва, де можливі нештатні навантаження та нерівномірність прикладання сил.

Таким чином, результати розрахунку підтверджують працездатність і надійність конструкції пристосування, а також її здатність забезпечувати стабільну фіксацію шатуна під час механічної обробки та контролю геометричних параметрів.

Таблиця 3.1 – Зведена таблиця розрахункових навантажень

| Параметр | Позначення | Значення | Одиниця |
|----------------------|----------------|----------|---------|
| Сила різання | F _p | 800 | Н |
| Коефіцієнт запасу | k | 2,5 | — |
| Зусилля затиску | F _з | 2000 | Н |
| Діаметр гвинта | d | 12 | мм |
| Напруження в гвинті | σ | 17,7 | МПа |
| Допустиме напруження | [σ] | 160 | МПа |
| Контактний тиск | p | 10 | МПа |
| Запас міцності | n | 9,0 | — |

Отримані розрахункові значення підтверджують, що всі елементи пристосування працюють у межах допустимих напружень із значним запасом міцності. Найбільш навантаженим елементом є гвинтовий притиск, однак

навіть у цьому випадку фактичні напруження у матеріалі становлять лише незначну частку від допустимих значень, що виключає ризик пластичної деформації або руйнування при експлуатації.

Окремо слід відзначити, що контактні навантаження на опорні поверхні також знаходяться в безпечному діапазоні, що забезпечує стабільність базування шатуна та збереження його геометричної точності під час виконання операцій розточування і контролю. У сукупності це дозволяє зробити висновок про високу надійність конструкції пристосування та її придатність до застосування в умовах ремонтного виробництва середньої інтенсивності.

3.4 Визначення основних конструктивних та експлуатаційних параметрів пристосування

Розроблене пристосування для базування, контролю та відновлення шатуна повинно відповідати комплексу конструктивних та експлуатаційних вимог, які забезпечують його надійну роботу в умовах ремонтного виробництва. Основною метою визначення цих параметрів є оцінка придатності конструкції до тривалої експлуатації, стабільності геометричної точності та зручності використання в технологічному процесі.

Одним із ключових конструктивних параметрів є точність базування деталі. Вона визначається якістю виготовлення установчих елементів та жорсткістю системи «пристосування – деталь». Завдяки використанню змінних оправок та прецизійних опор забезпечується фіксація шатуна з мінімальними відхиленнями від номінального положення, що дозволяє досягати високої точності співвісності отворів після механічної обробки. Допустимі відхилення при базуванні не повинні перевищувати значень, встановлених для ремонтних операцій даного класу точності.

Важливим експлуатаційним параметром є жорсткість конструкції пристосування, яка безпосередньо впливає на стабільність геометрії деталі під час дії сил різання та затискання. Використання масивної базової плити та раціональне розташування опорних і притискних елементів забезпечує

рівномірний розподіл навантаження та виключає локальні деформації. Це дозволяє підтримувати стабільність положення шатуна навіть при повторюваних циклічних навантаженнях.

Не менш важливим параметром є продуктивність роботи пристосування, яка визначається часом встановлення, фіксації та зняття деталі. Конструкція гвинтового притискного механізму забезпечує швидке закріплення шатуна без використання складних регулювальних операцій, що позитивно впливає на загальну тривалість технологічного циклу. Умови ремонтного виробництва вимагають мінімізації допоміжного часу, тому простота конструкції є суттєвою перевагою.

Окремо слід відзначити надійність та довговічність пристосування, які забезпечуються застосуванням конструкційних сталей для основних елементів та можливістю заміни зношуваних деталей (опорних вставок, оправок, притискних п'ят). Такий підхід дозволяє продовжити термін служби пристосування без втрати точності та функціональності.

Також важливим є критерій безпеки експлуатації, який забезпечується відсутністю складних рухомих механізмів, надійною фіксацією деталі та захистом оператора від можливих зсувів або викиду заготовки під час обробки. Конструкція відповідає вимогам безпечної роботи на ремонтному обладнанні.

Узагальнені конструктивні та експлуатаційні параметри пристосування наведені в таблиці.

Таблиця 3.2 – Конструктивні та експлуатаційні параметри пристосування

| Параметр | Характеристика | Рівень забезпечення |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Точність базування | Висока, із застосуванням оправок | $\pm 0,01-0,02$ мм |
| Жорсткість конструкції | Підвищена за рахунок базової плити | Забезпечує стабільність геометрії |

| | | |
|-----------------|--|------------------------------|
| Продуктивність | Скорочений допоміжний час | Швидка установка/зняття |
| Надійність | Висока, прості механічні вузли | Мінімум відмов |
| Довговічність | Тривала експлуатація з заміною елементів | 5+ років умовно |
| Безпека | Відповідає вимогам ОП | Захист оператора забезпечено |
| Універсальність | Можливість роботи з різними шатунами | Використання змінних оправок |

Таким чином, розроблене пристосування відповідає основним вимогам до ремонтного технологічного оснащення та забезпечує необхідний рівень точності, продуктивності та безпеки. Його впровадження в технологічний процес відновлення шатуна дозволяє підвищити якість ремонту, знизити вплив людського фактора та забезпечити стабільні результати обробки при серійному виконанні операцій.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Основні вимоги охорони праці при відновленні шатунів

Організація безпечних умов праці під час виконання робіт з відновлення шатуна є обов'язковою складовою технологічного процесу, оскільки ремонтні операції поєднують у собі механічну обробку, роботу з пресовим обладнанням, вимірювальними системами та мийними установками. Кожен із цих етапів характеризується наявністю потенційних виробничих ризиків, тому система охорони праці повинна забезпечувати комплексний захист працівника на всіх стадіях виробничого циклу.

При виконанні операцій на розточувальних та хонінгувальних верстатах основна небезпека пов'язана з обертальними рухомими частинами, можливістю захоплення одягу або інструменту, а також утворенням дрібнодисперсного металевого пилу та аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин. У зв'язку з цим працівник зобов'язаний працювати лише у справному спецодязі без вільних елементів, використовувати захисні окуляри або щиток для обличчя та дотримуватись правил безпечного віддалення від зони різання. Перед початком роботи обов'язково перевіряється справність верстата, наявність захисних кожухів та правильність закріплення шатуна у пристосуванні.

Особливу увагу необхідно приділяти безпеці під час роботи з гідравлічними або механічними пресами, які використовуються для встановлення або демонтажу ремонтних втулок. У цих умовах діють значні зусилля стиску, тому навіть незначне порушення регламенту може призвести до травмування оператора. Забороняється перебування рук у зоні дії преса, а також виконання будь-яких коригувальних операцій під час руху робочого органу. Всі операції виконуються лише після повної зупинки механізму та зняття навантаження.

Окремо регламентується робота з вимірювальним інструментом та пристосуваннями для контролю геометрії. Незважаючи на відсутність прямої

механічної небезпеки, неправильне використання вимірювальних засобів може призвести до помилкової оцінки технічного стану деталі, що надалі створює ризик експлуатаційного відмови двигуна. Тому контрольні операції повинні виконуватись у стабільних умовах, без вібрацій та із забезпеченням належного освітлення робочої зони.

Важливим елементом системи безпеки є використання засобів індивідуального захисту. До них належать спецодяг з щільної тканини, захисне взуття, рукавиці, окуляри або захисні екрани, а також засоби захисту органів слуху при роботі в умовах підвищеного шуму. Використання ЗІЗ є обов'язковим на всіх етапах технологічного процесу, включаючи транспортування та встановлення деталей у пристосування.

Також передбачаються організаційні заходи безпеки, які включають інструктаж працівників перед допуском до роботи, періодичні перевірки знань з охорони праці, а також контроль технічного стану обладнання. Важливим є дотримання виробничої дисципліни та чітке виконання технологічних інструкцій, оскільки більшість аварійних ситуацій виникає саме через порушення регламенту роботи.

Таким чином, безпечне виконання робіт з відновлення шатунів забезпечується поєднанням технічних, організаційних та індивідуальних заходів захисту. Їх комплексне застосування дозволяє мінімізувати виробничі ризики, підвищити рівень безпеки персоналу та забезпечити стабільність технологічного процесу відновлення шатуна.

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

У процесі виконання робіт з відновлення шатуна на ремонтній ділянці формується комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які визначають рівень професійного ризику для персоналу. Їх правильна ідентифікація є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів захисту та забезпечення безпечного технологічного процесу.

До першої групи належать механічні небезпеки, пов'язані з роботою металорізального та пресового обладнання. Під час розточування, хонінгування та затискання деталей виникають рухомі елементи машин, які можуть становити загрозу травмування у випадку порушення правил експлуатації або несправності захисних огорожень. Особливу небезпеку становить зона різання, де можливе захоплення одягу, рук або сторонніх предметів.

Другою важливою групою є електричні небезпеки, які виникають при експлуатації верстатів та допоміжного обладнання. Порушення ізоляції, несправність заземлення або неправильна експлуатація електрообладнання можуть призвести до ураження електричним струмом. Саме тому всі електроустановки повинні проходити регулярний технічний огляд та відповідати вимогам електробезпеки промислового обладнання.

Суттєвим шкідливим фактором є підвищений рівень шуму та вібрації, що виникає під час роботи розточувальних, шліфувальних та хонінгувальних верстатів. Тривала дія шуму може призводити до зниження концентрації уваги та погіршення слуху, а вібрація — до загального стомлення організму та порушення функціонального стану опорно-рухового апарату.

Окрему групу становлять хімічні та аерозольні фактори. Під час обробки деталей утворюється металевий пилю, а також випаровування та аерозолі мастильно-охолоджувальних рідин. При недостатній вентиляції вони можуть накопичуватись у робочій зоні, негативно впливаючи на органи дихання та шкіру працівників.

Також слід враховувати фізичні навантаження, пов'язані з переміщенням важких деталей, встановленням шатунів у пристосування та їх демонтажем після обробки. Неправильна організація робочого місця може призводити до перевантаження опорно-рухового апарату та підвищення ризику травматизму.

До додаткових факторів належать несприятливі мікрокліматичні умови виробничих приміщень, недостатня або надлишкова освітленість, а також психофізіологічне навантаження, пов'язане з необхідністю виконання високоточних операцій контролю.

Узагальнення основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів наведено в таблиці.

Таблиця 4.1 – Основні виробничі фактори на дільниці відновлення шатунів

| Група факторів | Джерело виникнення | Можливий вплив на працівника |
|----------------|------------------------------|--|
| Механічні | Верстати, пресове обладнання | Травми, затискання, порізи |
| Електричні | Електрообладнання | Ураження струмом |
| Шумові | Різання, хонінгування | Втома, зниження слуху |
| Вібраційні | Робота верстатів | Порушення функцій організму |
| Хімічні | МОР, мастила, пил | Подразнення, захворювання дихальних шляхів |
| Фізичні | Переміщення деталей | Перевантаження, травми |
| Мікроклімат | Приміщення дільниці | Дискомфорт, зниження працездатності |

Таким чином, виробниче середовище дільниці відновлення шатунів характеризується комплексною дією небезпечних і шкідливих факторів. Їх вплив може бути суттєво зменшений за умови правильного технічного оснащення робочих місць, використання засобів індивідуального захисту та дотримання встановлених регламентів безпеки. Це дозволяє забезпечити стабільну та безпечну роботу персоналу в межах технологічного процесу відновлення шатуна 121009455R.

4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища під час ремонтних робіт

У процесі відновлення шатуна 121009455R на ремонтній дільниці формується ряд виробничих відходів і технологічних викидів, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище. Основними джерелами екологічного навантаження є механічна обробка металу, використання мастильно-охолоджувальних рідин, очищення деталей у мийних установках, а також утворення металевої стружки та забруднених промислових матеріалів.

Найбільш значущим видом відходів є металева стружка, що утворюється під час розточування, хонінгування та інших операцій механічної обробки. З екологічної точки зору цей вид відходів є відносно безпечним, однак при неправильному зберіганні може спричиняти забруднення виробничого середовища. Для зменшення негативного впливу передбачається її централізований збір у спеціальні контейнери з подальшою передачею на вторинну переробку, що одночасно забезпечує раціональне використання металургійних ресурсів.

Окрему екологічну проблему становлять відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини. Вони містять домішки масел, металевих частинок та хімічних добавок, які при потраплянні в навколишнє середовище можуть спричиняти забруднення ґрунтів та водних ресурсів. Тому передбачається використання систем фільтрації та регенерації МОР, а також їх подальша утилізація через спеціалізовані організації, що мають відповідні ліцензії.

Додатковим джерелом забруднення є аерозолі та пил, які утворюються в процесі механічної обробки деталей. Для зменшення їх концентрації у повітрі робочої зони передбачається використання місцевих систем витяжної вентиляції, а також загальнообмінної вентиляції виробничих приміщень. Це дозволяє підтримувати концентрацію шкідливих речовин у межах допустимих норм.

Також важливим заходом є раціональне використання енергетичних ресурсів. Застосування сучасного обладнання з підвищеним коефіцієнтом

корисної дії дозволяє зменшити споживання електроенергії, що опосередковано знижує екологічне навантаження на енергетичну систему в цілому.

Узагальнення основних екологічних заходів наведено в таблиці.

Таблиця 4.2 – Заходи з охорони навколишнього середовища

| Джерело впливу | Екологічний ризик | Запропонований захід |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Металева стружка | Забруднення території | Збір і вторинна переробка |
| Мастильно-охолоджувальні рідини | Забруднення ґрунту і води | Фільтрація та утилізація |
| Аерозолі та пил | Забруднення повітря | Вентиляція та аспірація |
| Енергоспоживання | Опосередковані викиди CO ₂ | Енергоефективне обладнання |
| Миючі розчини | Хімічне забруднення | Локальна очистка та регенерація |

Таким чином, реалізація комплексу природоохоронних заходів дозволяє суттєво знизити негативний вплив ремонтного виробництва на навколишнє середовище. Це забезпечує не лише відповідність екологічним нормам, але й підвищує загальну ефективність використання ресурсів у процесі відновлення деталей кривошипно-шатунного механізму.

4.4 Розрахунок освітлення дільниці відновлення шатунів

Рациональна організація освітлення виробничих приміщень ремонтної дільниці є важливою складовою безпечною та якісного виконання технологічних операцій при відновленні шатуна. Це обумовлено тим, що більшість операцій у межах даного технологічного процесу – розточування, хонінгування, контроль геометрії, вимірювання діаметрів та співвісності –

належать до категорії точних робіт, які потребують високої розрізнявальної здатності ока оператора.

Недостатній рівень освітлення безпосередньо впливає на точність зорового сприйняття, що може призводити до похибок вимірювання, неправильного визначення зносу та, як наслідок, до зниження якості відновленої деталі. У свою чергу, надмірна освітленість також є небажаною, оскільки викликає втоми зору та зниження працездатності. Тому проектування системи освітлення виконується на основі нормативних вимог до ремонтно-механічних дільниць.

Для умов даного виробництва приймається нормативна освітленість $E = 300$ лк

Дане значення відповідає вимогам для робіт середньої та підвищеної точності, які характерні для механічної обробки та контрольних операцій деталей двигуна внутрішнього згорання.

Площа виробничої дільниці, що обслуговує процес відновлення шатунів, приймається узагальненою $S = 60$ м²

Це дозволяє врахувати не лише безпосередню зону обробки, але й допоміжні робочі місця, включаючи зону дефектації, вимірювальну ділянку та місце підготовки деталей.

Розрахунок кількості світильників виконується методом світлового потоку, який є найбільш поширеним у проектуванні загального штучного освітлення виробничих приміщень. Цей метод враховує як необхідний рівень освітленості, так і втрати світлового потоку в реальних умовах експлуатації.

Світловий потік одного світильника приймається $F_l = 3600$ лм

При цьому необхідно враховувати ряд коригуючих коефіцієнтів:

$k = 1,5$ – коефіцієнт запасу, який враховує забруднення світильників у процесі експлуатації, старіння джерел світла та зниження світлового потоку з часом;

$\eta = 0,6$ – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від геометрії приміщення, коефіцієнтів відбиття стін, стелі та робочих поверхонь, а також типу світильників.

Формула для розрахунку кількості світильників має вигляд

$$N = (E \cdot S \cdot k) / (Fl \cdot \eta) \quad (4.1)$$

Підставляючи числові значення, отримуємо

$$N = (300 \cdot 60 \cdot 1,5) / (3600 \cdot 0,6)$$

$$N = 27000 / 2160 \approx 12,5$$

Оскільки кількість світильників повинна бути цілим числом і забезпечувати нормативний рівень освітленості з запасом, приймаємо:

$$N = 13 \text{ світильників}$$

Важливим етапом є також інженерна інтерпретація отриманого результату. Розрахована кількість світильників забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі ділянки, що дозволяє уникнути утворення затемнених зон, які можуть негативно впливати на точність виконання вимірювальних операцій. Особливо це критично в зоні контролю шатуна, де необхідно виявляти відхилення порядку сотих часток міліметра.

Розміщення світильників доцільно виконувати рівномірно по сітці виробничого приміщення з урахуванням робочих зон верстатного обладнання та вимірювальних постів. Такий підхід забезпечує не лише достатній рівень освітленості, але й мінімізацію тіньових ефектів, які можуть виникати при роботі з об'ємними деталями складної геометрії, такими як шатун.

Крім того, застосування системи штучного освітлення з розрахованими параметрами позитивно впливає на загальну продуктивність праці, знижує втому оператора та підвищує точність виконання технологічних операцій. Це особливо важливо в умовах ремонтного виробництва, де значна частина рішень приймається оператором на основі візуального контролю стану деталі.

Таблиця 4.3 – Підсумкові параметри системи освітлення

| Параметр | Позначення | Значення | Одиниця |
|-------------------------------------|------------|----------|----------------|
| Нормативна освітленість | E | 300 | лк |
| Площа ділянки | S | 60 | м ² |
| Світловий потік світильника | Fл | 3600 | лм |
| Коефіцієнт запасу | k | 1,5 | — |
| Коефіцієнт використання | η | 0,6 | — |
| Розрахункова кількість світильників | N | 12,5 | шт |
| Прийнята кількість світильників | Nпр | 13 | шт |

Таким чином, виконаний розрахунок підтверджує, що запропонована система освітлення повністю забезпечує нормативні вимоги до робочих місць ремонтної ділянки. Її впровадження створює оптимальні умови для виконання високоточних технологічних операцій, підвищує безпеку праці та сприяє стабільному забезпеченню якості відновлення деталей кривошипно-шатунного механізму.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу умов роботи шатуна Renault в умовах швидкозмінних навантажень КШМ визначено, що основними дефектами є деформація стрижня, знос отворів головок та порушення їхньої співвісності.

Розроблено комплексний технологічний процес відновлення деталі, що включає дефектацію, правку, гільзування/механічну обробку отворів та фінішний контроль. Обрано оптимальне обладнання, яке забезпечує відновлення номінальних фізико-механічних властивостей і шорсткості робочих поверхонь.

Спроектовано прецизійне пристосування для базування та обробки шатуна. Розрахунки на міцність підтвердили надійність його притискного механізму та опорних елементів під робочим навантаженням.

Доведено високу економічну доцільність проекту: собівартість відновлення шатуна суттєво нижча за вартість придбання нової деталі, що забезпечує значний річний економічний ефект для ремонтного виробництва.

Обґрунтовано заходи з мінімізації шкідливих виробничих факторів та виконано розрахунок освітлення робочої зони дільниці, що гарантує відповідність умов праці чинним нормативам безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. ДСТУ 3649:2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролю. — К.: Держспоживстандарт України, 2011. — 34 с.
3. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Наказ № 31 від 25.01.1995 року.
4. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Тесля В. О. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2025. 118 с.
5. 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.
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. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гупка А.Б., Тесля В.О. Масштабний фактор при діагностуванні трибологічної надійності транспортних засобів. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року. Вінниця: ВНТУ, 2023. – 396 с. ISBN 978-966-641-950-0
10. 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.
11. 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.
12. Gupka, 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. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>

13. 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.
14. I. Hevko. New Technologies for Enhancing Road Traffic Safety at Pedestrian Crossings and Signalized Intersections / I. Hevko, V. Teslya, M. Sipravska, B. Hevko, Roman Khoroshun // Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 2025. Issue 11(42), Part II — Крорувнытскыі , 2025. — Pp. 268–277. — (Automobile transport).
15. Стручок В.С. Техноекоекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.
16. Teslia V. (2010) Osoblyvosti znoshuvannia shyiok kolinchastykh valiv v protsesi ekspluatatsii. Materials of III Ukrainian Student Science Conference "Natural and Human Sciences. Actual issues" (Tern., 22-23 April 2010), Volume 1, pp. 257.