

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

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технології ремонту турбокомпресора тракторного двигуна з розробкою технології відновлення колінчастого валу»

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Димерець Олександр Віталійович
(прізвище та ініціали)
Керівник професор Дідур В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

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

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

_____ Димерецю Олександрю Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технології ремонту турбокомпресора тракторного двигуна з розробкою технології відновлення колінчастого валу»

керівник проекту Дідур Володимир Володимирович, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 01 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: загальна характеристика трактора ХТЗ-17221 як об'єкта ремонту; основні причини втрати працездатності конструктивних елементів машин

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; технологічний процес відновлення деталей; ремонтне креслення деталі; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Технологічні основи ремонту (відновлення) конструктивних елементів машин	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Проектно-технологічна частина	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Техніко-економічна частина	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент

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

Керівник проекту

(підпис)Дідур В.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕМОНТУ (ВІДНОВЛЕННЯ) КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН	5
1.1 Значення ремонту та відновлення деталей у забезпеченні працездатності машин .	5
1.2 Загальна характеристика трактора ХТЗ-17221 як об'єкта ремонту.....	6
1.3 Основні причини втрати працездатності конструктивних елементів машин.....	6
1.4 Технологічний процес ремонту як система послідовних операцій	8
1.5 Основні способи відновлення зношених деталей.....	9
1.6 Особливості ремонту турбокомпресора трактора ХТЗ-17221.....	10
1.7 Особливості відновлення колінчастого валу двигуна.....	11
1.8 Вимоги до якості відновлених деталей.....	13
2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Схема та технологічний процес розробки автотракторного компресора	15
2.2 Технологічний процес дефектації колінчастого валу компресора та карта поєднання дефектів за маршрутами	15
2.3 Технологічний процес відновлення деталей	17
2.4 Ремонтне креслення деталі.....	24
2.5 Призначення та будова технологічного оснащення, що розробляється	25
2.6 Визначення величини діючих сил і розробка кінематичної схеми технологічного оснащення	26
2.7 Інженерний розрахунок елементів конструкції технологічного оснащення	28
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	29
3.1 Загальні положення з охорони праці під час ремонту турбокомпресора та колінчастого валу	29
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	29
3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи	30
3.4 Вимоги безпеки під час розбирання та дефектації турбокомпресора	31
3.5 Вимоги безпеки під час відновлення колінчастого валу	32
3.6 Організація безпечного робочого місця.....	33
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	34
4.1 Економічна ефективність відновлення деталей.....	34
ВИСНОВОК.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41

1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РЕМОНТУ (ВІДНОВЛЕННЯ) КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН

1.1 Значення ремонту та відновлення деталей у забезпеченні працездатності машин

Сучасна сільськогосподарська техніка працює в умовах значних механічних, теплових, динамічних і вібраційних навантажень [1-5]. Особливо це стосується тракторів тягового класу, до яких належить трактор ХТЗ-17221. Під час виконання польових, транспортних і тягових робіт його двигун, трансмісія, ходова частина та допоміжні агрегати функціонують у складних експлуатаційних умовах: при змінному навантаженні, запиленості повітря, коливанні температурного режиму, нерівномірному змащуванні та впливі абразивних частинок.

У процесі експлуатації деталі машин поступово втрачають початкові геометричні розміри, форму, шорсткість поверхонь і фізико-механічні властивості. Це призводить до зниження ресурсу вузлів, погіршення техніко-економічних показників роботи трактора, збільшення витрат пального й мастильних матеріалів, а також до підвищення ймовірності аварійних відмов.

Ремонт і відновлення деталей є важливою складовою системи технічного обслуговування машинно-тракторного парку. Їх основне призначення полягає не лише в усуненні несправностей, а й у продовженні строку служби дорогих конструктивних елементів. Відновлення деталей дає змогу зменшити витрати на придбання нових запасних частин, скоротити простої техніки та підвищити ефективність використання ремонтної бази господарства або спеціалізованого підприємства.

Особливо актуальним є відновлення відповідальних деталей двигуна, до яких належать колінчастий вал, турбокомпресор, головка блока циліндрів, блок циліндрів, шатуни, розподільний вал, елементи системи мащення й охолодження. Ці деталі мають складну конструкцію, високу вартість і працюють у важких умовах. Їх заміна потребує значних матеріальних витрат, тому застосування раціональних технологій ремонту є економічно доцільним.

У межах теми роботи особлива увага приділяється удосконаленню технології ремонту турбокомпресора трактора ХТЗ-17221 та розробці технології відновлення колінчастого валу. Обидва елементи безпосередньо впливають на потужність, паливну економічність і надійність роботи двигуна [1-8]. Несправність турбокомпресора

призводить до зниження подачі повітря в циліндри, погіршення процесу згоряння палива, збільшення димності відпрацьованих газів і втрати потужності. Зношування колінчастого валу, своєю чергою, спричиняє порушення роботи кривошипно-шатунного механізму, падіння тиску масла, появу стуків і підвищене спрацювання вкладишів.

1.2 Загальна характеристика трактора ХТЗ-17221 як об'єкта ремонту

Трактор ХТЗ-17221 належить до енергонасичених колісних тракторів загального призначення [1-8]. Він використовується для виконання широкого комплексу сільськогосподарських робіт: основного та передпосівного обробітку ґрунту, сівби, культивації, транспортування вантажів, агрегатування з причіпними та навісними машинами. Значна універсальність трактора зумовлює його інтенсивну експлуатацію протягом більшої частини року.

Двигун трактора працює в режимах змінного навантаження. Під час оранки, глибокого розпушування, дискування або транспортних робіт навантаження на двигун може істотно змінюватися. Це спричиняє нерівномірне теплове розширення деталей, коливання тиску газів у циліндрах, зміну швидкості обертання колінчастого валу та підвищені динамічні навантаження на кривошипно-шатунний механізм.

У конструкції двигуна важливе місце займає система турбонаддуву. Турбокомпресор забезпечує підвищення кількості повітря, що надходить у циліндри двигуна, за рахунок використання енергії відпрацьованих газів. Це дозволяє збільшити потужність двигуна без істотного збільшення його робочого об'єму. Однак турбокомпресор працює за високої частоти обертання ротора, значної температури газів і високих вимог до чистоти масла. Тому навіть незначне порушення умов експлуатації може призвести до його прискореного зношування.

Колінчастий вал є одним із найбільш навантажених елементів двигуна. Він сприймає зусилля від шатунів, перетворює зворотно-поступальний рух поршнів в обертальний рух і передає крутний момент до трансмісії. У процесі роботи на вал діють змінні згинальні, крутильні та ударні навантаження. Найбільш інтенсивному зношуванню піддаються корінні та шатунні шийки, галтелі, посадкові поверхні під шестерні, маховик і шків.

1.3 Основні причини втрати працездатності конструктивних елементів машин

Втрата працездатності деталей машин відбувається під впливом комплексу експлуатаційних і технологічних факторів. До основних причин зношування та

пошкодження конструктивних елементів належать:

1. Механічне зношування поверхонь тертя. Воно виникає внаслідок контакту рухомих деталей під навантаженням. У двигуні трактора механічному зношуванню піддаються шийки колінчастого валу, вкладиші, поршневі пальці, втулки, підшипники, елементи турбокомпресора.

2. Абразивне зношування. Причиною є потрапляння твердих частинок пилу, продуктів згоряння, металевої стружки або забрудненого масла в зони тертя. Для тракторів, які працюють у польових умовах, цей вид зношування є особливо поширеним.

3. Втомне руйнування матеріалу. Виникає під дією багаторазових змінних навантажень. Для колінчастого валу це особливо небезпечно, оскільки повторювані згинальні та крутильні навантаження можуть призвести до появи мікротріщин у галтелях і подальшого руйнування деталі.

4. Корозійне пошкодження. Пов'язане з дією вологи, кислотних продуктів згоряння, агресивних середовищ і тривалого зберігання техніки без належної консервації.

5. Теплове перевантаження. Висока температура негативно впливає на властивості матеріалу, мастила та зазори в спряженнях. У турбокомпресорі перегрів може спричинити закоксовування масла, пошкодження підшипників і деформацію деталей ротора.

6. Порушення режиму мащення. Недостатній тиск масла, використання неякісних мастильних матеріалів або забруднення системи мащення призводять до появи задирів, перегріву та прискореного спрацювання деталей.

7. Порушення правил експлуатації. Різке збільшення навантаження на непрогрітому двигуні, несвоєчасна заміна масла, забруднення повітряного фільтра, перевищення допустимих режимів роботи — усе це знижує ресурс двигуна та його агрегатів.

Для турбокомпресора характерними причинами несправностей є забруднення масла, потрапляння сторонніх частинок у компресорну або турбінну частину, порушення балансування ротора, перегрів корпусу, зношування підшипникового вузла та осьовий люфт вала. Для колінчастого валу основними дефектами є зношування корінних і шатунних шийок, овальність, конусність, задири, тріщини, забоїни, викривлення осі вала та пошкодження різьбових або шпонкових з'єднань.

1.4 Технологічний процес ремонту як система послідовних операцій

Технологічний процес ремонту являє собою сукупність взаємопов'язаних операцій, спрямованих на відновлення працездатності машини, вузла або окремої деталі. Його структура залежить від виду об'єкта ремонту, ступеня зношування, наявності обладнання, кваліфікації персоналу та економічної доцільності відновлення [9].

Загальна схема технологічного процесу ремонту конструктивних елементів машин включає такі етапи:

- приймання об'єкта в ремонт;
- зовнішнє очищення;
- розбирання вузла або агрегату;
- миття та очищення деталей;
- дефектація;
- сортування деталей за технічним станом;
- вибір способу відновлення;
- виконання відновлювальних операцій;
- механічна обробка після відновлення;
- контроль якості;
- комплектування;
- складання вузла;
- регулювання;
- випробування;
- фарбування, консервація та передача в експлуатацію.

Кожен із наведених етапів має важливе значення. Наприклад, неякісне очищення деталей ускладнює виявлення дефектів, а помилки під час дефектації можуть призвести до встановлення в агрегат деталей із прихованими пошкодженнями. Неправильний вибір способу відновлення може спричинити недостатню міцність поверхні, зменшення ресурсу деталі або невиправдане збільшення вартості ремонту.

Під час ремонту турбокомпресора особливо важливими є чистота деталей, точність вимірювання зазорів, стан підшипників, герметичність ущільнень і якість балансування ротора. Під час ремонту колінчастого валу основну увагу приділяють контролю геометрії шийок, виявленню тріщин, визначенню ремонтного розміру, якості шліфування та полірування поверхонь.

Раціонально побудований технологічний процес повинен забезпечувати:

- відновлення номінальних або ремонтних параметрів деталі;
- достатню довговічність після ремонту;
- мінімальну собівартість відновлення;
- стабільну якість виконання операцій;
- безпечні умови праці;
- можливість контролю на всіх відповідальних етапах.

1.5 Основні способи відновлення зношених деталей

Відновлення деталей може здійснюватися різними способами. Вибір конкретного методу залежить від матеріалу деталі, характеру дефекту, величини зношування, умов роботи поверхні, наявного обладнання та економічної доцільності.

До найбільш поширених способів відновлення належать:

Механічна обробка під ремонтний розмір

Цей спосіб полягає у знятті зношеного шару металу та наданні поверхні правильної геометричної форми. Для колінчастих валів найчастіше застосовують шліфування корінних і шатунних шийок під ремонтний розмір із подальшим поліруванням. Після цього використовують ремонтні вкладиші відповідного розміру [10].

Переваги способу:

- простота виконання;
- висока точність;
- можливість отримання якісної поверхні;
- відносно невисока собівартість.

Недоліком є зменшення діаметра шийок, що обмежує кількість можливих ремонтів.

Наплавлення. Наплавлення застосовують для відновлення розмірів деталей шляхом нанесення шару металу на зношену поверхню. Після наплавлення деталей обробляють до потрібного розміру. Метод може використовуватися для відновлення посадкових поверхонь, валів, осей, корпусних деталей.

Перевагою наплавлення є можливість відновити значне зношування. Недоліками є тепловий вплив на деталь, можливість деформації, поява залишкових напружень і потреба в подальшій механічній обробці.

Газотермічне напилення. Газотермічне напилення полягає в нанесенні на поверхню деталі металевого або композиційного покриття. Цей спосіб дозволяє отримати шар із

потрібними антифрикційними, зносостійкими або корозійностійкими властивостями. Його доцільно застосовувати для деталей, які не повинні зазнавати значного перегріву.

Гальванічне нарощування. До гальванічних методів належать хромування, залізнення, нікелювання та інші види електролітичного осадження металів. Вони забезпечують високу точність нанесення покриття та добру якість поверхні. Хромування застосовують для підвищення зносостійкості, а залізнення — для відновлення розмірів деталей.

Пластичне деформування. Метод базується на використанні пластичних властивостей металу. До нього належать розкатування, обтискання, правка, накатування та інші операції. Для колінчастого валу може застосовуватися правка при перевищенні допустимого биття.

Заміна зношених елементів. У деяких випадках відновлення деталі є недоцільним, тому застосовують заміну окремих елементів або вузлів. Наприклад, під час ремонту турбокомпресора часто замінюють підшипники, ущільнювальні кільця, кріпильні елементи, прокладки, а в разі значного пошкодження — ротор у зборі.

1.6 Особливості ремонту турбокомпресора трактора ХТЗ-17221

Турбокомпресор є високоточним агрегатом, який працює в умовах високої температури, великої частоти обертання ротора та постійного контакту з відпрацьованими газами й повітрям. Його технічний стан значною мірою визначає ефективність роботи двигуна.

Основними ознаками несправності турбокомпресора є:

- зниження потужності двигуна;
- підвищена димність вихлопу;
- збільшення витрати палива;
- потрапляння масла у впускний або випускний тракт;
- сторонній шум під час роботи;
- підвищений люфт ротора;
- сліди контакту лопаток із корпусом;
- перегрів турбінної частини.

Технологічний процес ремонту турбокомпресора зазвичай включає такі операції:

1. зняття турбокомпресора з двигуна;
2. зовнішнє очищення агрегату;

3. розбирання на складові частини;
4. миття деталей;
5. дефектація корпусів, ротора, підшипників і ущільнень;
6. заміна зношених деталей;
7. очищення масляних каналів;
8. складання картриджа;
9. перевірка осьового та радіального люфту;
10. балансування ротора;
11. остаточне складання;
12. випробування після ремонту.

Під час ремонту турбокомпресора особливе значення має балансування ротора. Ротор обертається з дуже високою частотою, тому навіть незначна неврівноваженість може призвести до підвищених вібрацій і швидкого руйнування підшипникового вузла. Тому після заміни вала, коліс або підшипників необхідно виконувати динамічне балансування.

Важливою умовою якісного ремонту є дотримання чистоти. Масляні канали повинні бути повністю очищені від нагару, шламу та сторонніх частинок. Перед установленням відремонтованого турбокомпресора на двигун необхідно перевірити стан повітряного фільтра, маслопроводів, системи вентиляції картера та випускного колектора. Якщо не усунути причину попередньої несправності, відремонтований турбокомпресор може швидко вийти з ладу повторно.

1.7 Особливості відновлення колінчастого валу двигуна

Колінчастий вал є відповідальною деталлю двигуна, яка працює в умовах складного напруженого стану. Його відновлення потребує високої точності, оскільки від якості обробки шийок залежить ресурс підшипників, стабільність тиску масла та робота всього кривошипно-шатунного механізму.

Основними дефектами колінчастого валу є:

- зношування корінних шийок;
- зношування шатунних шийок;
- овальність і конусність шийок;
- задири та риски на поверхнях тертя;
- тріщини в галтелях;

- биття вала;
- пошкодження різьби;
- зношування шпонкових пазів;
- забруднення масляних каналів.

Найпоширенішим способом відновлення колінчастого валу є шліфування шийок під ремонтний розмір. Перед шліфуванням вал ретельно очищають, перевіряють на наявність тріщин і вимірюють усі основні параметри. Якщо тріщини виявлено в небезпечних зонах, вал зазвичай бракують, оскільки його подальша експлуатація може бути аварійно небезпечною.

Після шліфування шийки повинні мати правильну геометричну форму, необхідну шорсткість і відповідати ремонтному розміру. Важливо зберегти правильну форму галтелей, оскільки саме в цих місцях виникають найбільші напруження. Надмірне зменшення радіуса галтелі може знизити втомну міцність вала.

Технологічний процес відновлення колінчастого валу може включати:

1. очищення та промивання вала;
2. очищення масляних каналів;
3. зовнішній огляд;
4. контроль тріщин;
5. вимірювання шийок;
6. перевірку биття;
7. правку за потреби;
8. шліфування корінних шийок;
9. шліфування шатунних шийок;
10. полірування поверхонь;
11. промивання після механічної обробки;
12. контроль розмірів і шорсткості;
13. балансування за необхідності;
14. консервацію або передачу на складання двигуна.

Для оцінки придатності вала до відновлення необхідно враховувати граничне зношування. Якщо фактичний розмір шийки дозволяє виконати шліфування під один із ремонтних розмірів, вал доцільно відновлювати. Якщо ж зношування перевищує допустимі межі або наявні тріщини, деталь підлягає вибракуванню.

1.8 Вимоги до якості відновлених деталей

Якість відновлення деталей визначається відповідністю їх параметрів технічним вимогам. Для відповідальних деталей двигуна, зокрема колінчастого валу та елементів турбокомпресора, контроль якості має бути особливо ретельним.

До основних показників якості відновлених деталей належать:

- точність геометричних розмірів;
- правильність форми поверхонь;
- допустимі значення овальності та конусності;
- відсутність тріщин, задирів і забоїн;
- необхідна шорсткість поверхні;
- твердість робочого шару;
- співвісність і балансування;
- чистота масляних каналів;
- відповідність посадкових поверхонь технічним вимогам.

Для колінчастого валу особливо важливо забезпечити якісну обробку корінних і шатунних шийок. Шорсткість поверхонь повинна забезпечувати утворення стабільної масляної плівки між шийкою та вкладишем. Надмірна шорсткість спричиняє прискорене зношування вкладишів, а надто гладка поверхня може погіршувати утримання мастила.

Для турбокомпресора якість ремонту визначається не лише станом окремих деталей, а й правильністю складання. Необхідно забезпечити допустимі зазори, надійне ущільнення, вільне обертання ротора, відсутність зачіпання коліс за корпус і якісне балансування.

Контроль якості повинен виконуватися на всіх етапах ремонту. Це дозволяє своєчасно виявити відхилення, запобігти повторному розбиранню агрегату та забезпечити надійну роботу відновленого вузла в експлуатації.

Висновок

У першому розділі розглянуто технологічні основи ремонту та відновлення конструктивних елементів машин. Встановлено, що в процесі експлуатації трактора ХТЗ-17221 його вузли та агрегати працюють в умовах значних механічних, теплових і динамічних навантажень, що призводить до поступового зношування деталей і зниження надійності машини.

Особливу увагу приділено турбокомпресору та колінчастому валу як відповідальним елементам двигуна. Турбокомпресор впливає на потужність, економічність і якість згоряння палива, а колінчастий вал забезпечує перетворення руху поршнів у крутний момент. Їх технічний стан безпосередньо визначає працездатність двигуна та ефективність використання трактора.

Проаналізовано основні причини втрати працездатності деталей, серед яких механічне, абразивне, втомне та корозійне зношування, теплові перевантаження, порушення мащення і недотримання правил експлуатації. Розглянуто загальну структуру технологічного процесу ремонту, роль дефектації, основні способи відновлення деталей і вимоги до якості відремонтованих елементів.

Визначено, що удосконалення технології ремонту турбокомпресора та відновлення колінчастого валу має базуватися на точній дефектації, правильному виборі способу відновлення, якісній механічній обробці, контролі геометричних параметрів, очищенні масляних каналів і перевірці агрегатів після ремонту. Реалізація таких заходів дозволить підвищити ресурс відновлених деталей, зменшити витрати на ремонт і забезпечити надійну роботу трактора ХТЗ-17221 в експлуатаційних умовах.

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Схеми та технологічний процес розробки автотракторного компресора

2.1.1 Схеми розробки складальної одиниці

Розроблення складальної одиниці необхідно виконувати в певній послідовності, що визначається особливостями її конструкції [1–6].

Схеми розбирання складальної одиниці є вихідною основою для опису технологічного процесу демонтажу. Крім того, вона може застосовуватися як окремий технологічний документ безпосередньо на робочому місці в ремонтній майстерні. З урахуванням трудомісткості виконання операцій така схема дає змогу обґрунтовано визначити кількість необхідних робочих місць для проведення розбиральних робіт на підприємстві, оскільки в ній відображається можливість виконання як послідовних, так і паралельних операцій.

Процес розбирання на схемі подають у вигляді прямої вертикальної або горизонтальної лінії, до якої в певних точках приєднуються прямокутники, що позначають складові частини виробу — деталі та складальні одиниці. Для більшої наочності прямокутник, який умовно відображає складальну одиницю, виконують двома паралельними лініями.

На схемі розбирання прямокутники, що відповідають знімним складальним одиницям, розміщують ліворуч від напрямку лінії розбирання, а окремі деталі — праворуч.

Початковим елементом схеми розбирання є виріб або складальна одиниця, а завершальним — базова деталь. Кожен прямокутник на схемі поділяється на чотири поля, у яких зазначають найменування деталі чи складальної одиниці, їх позначення, кількість, а також номер позиції за специфікацією основного конструкторського креслення виробу.

2.2 Технологічний процес дефектації дефектації колінчастого валу компресора та карта поєднання дефектів за маршрутами

2.2.1 Технологічний процес дефектації деталі

Комплект технологічної документації на дефектацію є складовою загальної документації з ремонту деталей і виробів. До його складу входять: титульний лист, відомість технологічних документів, карта ескізів, карта технологічного процесу дефектації та відомість оснащення.

Технологічний процес може передбачати усунення кожного дефекту окремо або

відновлення деталі за поєднанням кількох дефектів, тобто за маршрутною технологією. Маршрутна технологія являє собою завершений технологічний процес відновлення деталі, у якому встановлюється найбільш раціональна послідовність виконання операцій для усунення групи дефектів.

2.2.2 Карта поєднання дефектів за маршрутами

Обґрунтування вибору маршруту відновлення та складу дефектів, що до нього входять, значною мірою визначається частотою появи кожного дефекту в загальному обсязі ремонтного фонду деталей, тобто коефіцієнтом їх повторюваності. Для встановлення цих показників, як правило, необхідне проведення значного обсягу експериментальних досліджень. Кількість маршрутів відновлення повинна бути якомога меншою, але водночас достатньою для забезпечення раціональної організації технологічного процесу [1–6].

Таблиця 2.1 – Карта поєднання дефектів за маршрутами

№ порядку	Найменування дефекту	Номер маршруту та поєднання дефекту		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1	Пошкодження різьблення М14х1,5-вд	1	-	1
2	Зношування шатунних шийок до розміру не менше d=28,48мм	2	2	-
3	Зношування корінних шийок, до розміру не менше d=35,003мм	3	-	-
4	Знос паза шпанки по ширині до розміру не більше d=5,02мм	4	-	-
5	Зношування конусної поверхні під шкіф Компресора до розміру не менше d=21мм з Розбіжністю торців ±0,4мм	5	-	5

6	Зношування поверхні під сальник до розміру не менше $d=23,5\text{мм}$	6	6	6
7	Зношування внутрішньої поверхні під сплатник задньої кришки до розміру не більше $d=25,09\text{мм}$	7	7	7
8	Збільшення довжини шатунної шийки до розміру трохи більше $27,5\text{мм}$	-	-	-
	Задири, ризики на робочих поверхнях не допускаються	+	-	+
	Тріщини, злами не допускаються	-	-	-

Найменування та позначення деталі: колінчастий вал компресора 130-3509110-А.

2.3 Технологічний процес відновлення деталей

2.3.1 Обґрунтування технологічного процесу відновлення деталей

Поєднання певних технологічних способів, обладнання та оснащення, що використовуються під час ремонту виробу, формує різні варіанти технологічних процесів усунення окремих дефектів або відновлення виробу в цілому.

У процесі розроблення технологічних процесів, а також методів управління й організації виробництва, виникає потреба в об'єктивному комплексному аналізі можливих варіантів та виборі з них найбільш оптимальних для конкретних виробничих умов.

Комплексне оцінювання порівнюваних варіантів технологічних процесів передбачає врахування технічної, організаційної, соціальної, екологічної та економічної доцільності їх застосування.

2.3.2 Аналіз та вибір варіантів технологічних процесів

Для усунення дефекту, пов'язаного зі зношуванням або пошкодженням різьблення, можуть застосовуватися такі технологічні процеси:

1. наплавлення;

2. токарна обробка;
3. нарізання різьби.

Для усунення дефекту «зношування шатунних шийок» використовують такі технологічні процеси [1–18]:

1. наплавлення;
2. токарна обробка;
3. шліфування.

Для дефекту «зношування корінних шийок» також застосовують такі технологічні процеси:

1. наплавлення;
2. токарна обробка;
3. шліфування.

Для усунення дефекту «зношування шпонкового паза по ширині» використовують такі тех. процеси:

1. наплавлення;
2. токарну обробку;
3. шліфування;
4. фрезерування.

Для дефекту «зношування конічної поверхні під шків компресора» можуть бути використані такі технологічні процеси:

1. наплавлення;
2. токарна обробка;
3. шліфування.

Для усунення дефектів «задири та риски на робочих поверхнях» і «зношування поверхні під сальник» доцільно застосовувати такі технологічні процеси:

1. наплавлення;
2. токарну обробку;
3. шліфування.

Для дефекту «зношування внутрішньої поверхні під ущільнювач задньої кришки» використовується такий технологічний процес:

1. місцеве залізнення.

Таблиця 2.2 – План операцій з відновлення деталі.

Номер операції	Найменування операції. Спосіб встановлення. Обладнання, пристрій, інструмент	Номер переходу	Зміст переходу
1	2	3	4
005	Наплавна		
	Встановлення в пристрій	1	Встановити деталь у пристрій, закріпити
1	2	3	4
	Установка для наплавлення УД-209 Перетворювач ВДУ-506 Балон із СО2 40-150 ГОСТ 949-73 Штангенциркуль ШЦ-2-250-0,05 ГОСТ 8043-83	2	Наплавити поверхню дефектів 1, 2, 3, 5, 6 дротом Ø1,0 НП-30ХГСА ГОСТ 10548-75 з: -Ø28,48 мм до Ø 31,5 на довжині 27 мм (деф. 2); -Ø14 мм до Ø17 мм на довжині 15 мм (деф. 1); -Ø35,003 до 38 мм на довжині 18 та 21 мм (деф.3); -Ø20,25 до 23,25 мм на довжині 32 мм (деф. 5); -Ø23,5 до 26,5 мм на довжині 25 мм (деф. 6);
	Зварюванняручним електродом марки Св-08 ГС		-заварити шпоночну канавку (деф. 4)
		3	Зняти деталь
010	Токарна		
	Патрон 7100-0008 ГОСТ 2675-80	1	Встановити деталь у патрон, закріпити
	Токарно-гвинторізний верстат 1К-62 Штангенциркуль ШЦ-2-250-0,05 ГОСТ 166-80	2	Точити наплавлену поверхню з:
			-Ø17 мм до Ø15 мм (деф. 1); -Ø31,5 мм до Ø28,7 мм (деф. 2); -Ø38 мм до Ø35,2 мм (деф. 3); -Ø26,5 мм до Ø24.2 мм (деф.6);
		3	Точити фаску 1,5 x450 (деф. 1);

2.3.3 Вибір режимів обробки та нормування операцій

Параметри режиму наплавлення [1–18] становлять:

- діаметр електродного дроту — 0,81–1,0 мм;
- швидкість його подачі — 2,5 м/год;
- робоча напруга — 18–19 В;
- сила зварювального струму — 90–120 А;
- крок наплавлення — 2 мм на оберт;
- товщина сформованого наплавленого шару — 1,5 мм.

Додаткові параметри режиму наплавлення:

- швидкість наплавлення — 54 м/год;
- виліт електрода — 10 мм;
- кількість проходів — 1.

Зміщення електрода для окремих дефектів становить:

- для дефекту 1 — 0,8 мм;
- для дефекту 2 — 1,7 мм;
- для дефекту 3 — 2,0 мм;
- для дефекту 5 — 1,2 мм;
- для дефекту 6 — 1,4 мм.

Частота обертання деталі при наплавленні для відповідних дефектів дорівнює:

- для дефекту 1 — 20 об/хв;
- для дефекту 2 — 10 об/хв;
- для дефекту 3 — 8 об/хв;
- для дефекту 5 — 14 об/хв;
- для дефекту 6 — 12 об/хв.

Довжина поверхонь, що підлягають наплавленню, становить:

- для дефекту 1 — 15 мм;
- для дефекту 2 — 27 мм;
- для дефекту 3 — 18 мм і 21 мм;
- для дефекту 5 — 32 мм;
- для дефекту 6 — 25 мм.

Норму часу на наплавлювальні роботи визначають за відповідною методикою:

$$T_H = T_o + T_d + T_{\text{дод}} + T_{\text{пз}}/n \quad (2.1)$$

де T_o — основний час.

$$T_o = \frac{L \cdot c}{n \cdot S} \quad (2.2)$$

де L — довжина поверхні, що підлягає наплавленню, мм;

i — кількість проходів;

n — частота обертання деталі, об/хв;

S — крок наплавлення, мм/об.

Для дефекту 1 основний час становить: $T_o = \frac{15 \cdot 1}{20 \cdot 2} = 0,4$ хв;

Для дефекту 2 розрахункове значення основного часу дорівнює: $T_o = \frac{27 \cdot 1}{10 \cdot 2} = 1,35$ хв;

Отже, для цього дефекту приймаємо: $T_o = 1,35$ хв.

Для дефекту 3 отримано такі значення основного часу: $T_o = \frac{18 \cdot 1}{8 \cdot 2} = 1,2$ хв та $T_o = \frac{21 \cdot 1}{8 \cdot 2} = 1,3$ хв;

Для дефекту 5 основний час становить: $T_o = \frac{32 \cdot 1}{14 \cdot 2} = 1,15$ хв;

Для дефекту 6 основний час дорівнює: $T_o = \frac{25 \cdot 1}{12 \cdot 2} = 1,05$ хв.

У результаті сумарний основний час становить: $T_o = 7,8$ хв.

T_d — допоміжний час, який приймається в межах 2...4 хв;

$T_{\text{дод}}$ — додатковий час.

$$T_{\text{дод}} = \frac{(T_o + T_{\text{вс}})K}{100} \quad (2.3)$$

де K — коефіцієнт, який відображає частку додаткового часу від суми основного та допоміжного часу, % ($K = 10$).

$$T_{\text{дод}} = \frac{(7,8 + 4)10}{100} = 1,18 \text{ хв}$$

$T_{\text{пз}}$ — підготовчо-завершальний час, який, як правило, приймають у межах 16...20 хв.

$$T_H = 7,8 + 4 + 1,2 + \frac{20}{20} = 15 \text{ хв}$$

Для виконання токарної операції прийнято такі режими обробки: глибина різання становить 0,6 мм, подача — 0,5 мм/об, а швидкість різання — 35 м/хв.

Частоту обертання деталі встановлено окремо для кожного дефекту:

– дефект 1 — 400 об/хв;

- дефект 2 — 220 об/хв;
- дефект 3 — 127 об/хв;
- дефект 5 — 305 об/хв;
- дефект 6 — 200 об/хв.

Далі виконується розрахунок оперативного часу обробки:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_v \quad (2.4)$$

де T_o — основний час, який витрачається на виконання операції точіння.

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i \quad (2.5)$$

де L — розрахункова довжина обробки в напрямку подачі, яка визначається за виразом $L = l + l_1 + l_2 + l_3$;

l — довжина оброблюваної поверхні;

l_1 — довжина врізання інструмента, 0,6 мм;

l_2 — довжина підходу та перебігу інструмента, 2...5 мм;

l_3 — довжина проходу під час зняття пробної стружки, 5...8 мм.

Для окремих дефектів розрахункова довжина обробки становить:

для дефекту 1: $L_1 = 15 + 0,6 + 4 + 6 = 25,6$ мм

для дефекту 2: $L_2 = 27 + 0,6 + 4 + 6 = 37,6$ мм

для дефекту 3: $L_3 = 18 + 0,6 + 6 + 4 = 28,6$ мм

для дефекту 5: $L_5 = 32 + 0,6 + 4 + 6 = 42,6$ мм

для дефекту 6: $L_6 = 25 + 0,6 + 4 + 6 = 35,6$ мм

Тоді основний час точіння для кожного дефекту становить:

для дефекту 1: $T_o = 0,26$ хв

для дефекту 2: $T_o = 0,50$ хв

для дефекту 3: $T_o = 0,90$ хв

для дефекту 5: $T_o = 0,56$ хв

для дефекту 6: $T_o = 0,71$ хв

Отже, сумарний основний час дорівнює:

$$T_o = 3,7 \text{ хв}$$

T_d — допоміжний час на встановлення та зняття деталі, який становить 0,56 хв.

$$T_{\text{оп}} = 3,7 + 0,56 = 4,25 \text{ хв}$$

Для операції шліфування прийнято такі режими обробки: глибина шліфування

становить 0,01 мм, подача — 5 мм/об, а швидкість шліфування — 3,5 мм/об.

Кількість проходів для окремих дефектів становить:

- для дефекту 2 — 22 об;
- для дефекту 3 — 26 об;
- для дефекту 5 — 15 об;
- для дефекту 6 — 30 об.

Частота обертання деталі під час шліфування дорівнює:

- для дефекту 2 — 36 об/хв;
- для дефекту 3 — 32 об/хв;
- для дефекту 5 — 40 об/хв;
- для дефекту 6 — 38 об/хв.

Далі визначається основний час шліфування:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_v \quad (2.6)$$

$$T_o = \frac{L}{n_d \cdot S} \cdot K \quad (2.7)$$

де T_o — основний час виконання шліфувальної операції;

L — довжина поздовжнього ходу, яку визначають за формулою: $L = l + (0,2 \dots 0,4) \cdot V_k$, мм.

Для окремих дефектів довжина поздовжнього ходу становить:

для дефекту 2: $L_2 = 27 + 10 = 37$ мм

для дефекту 3: $L_3 = 18 + 10 = 28$ мм та $L_3 = 21 + 10 = 31$ мм

для дефекту 5: $L_5 = 32 + 10 = 42$ мм

для дефекту 6: $L_6 = 25 + 10 = 35$ мм

Тоді основний час шліфування для окремих дефектів дорівнює:

для дефекту 2: $T_o = \frac{37 \cdot 22}{36 \cdot 5} \cdot 1,4 = 6,3$ хв;

для дефекту 3: $T_o = \frac{28 \cdot 26}{36 \cdot 5} \cdot 1,4 = 6,4$ хв та $T_o = \frac{31 \cdot 26}{32 \cdot 5} \cdot 1,4 = 7$ хв;

для дефекту 5: $T_o = \frac{42 \cdot 15}{40 \cdot 5} \cdot 1,4 = 4,4$ хв;

для дефекту 6: $T_o = \frac{35 \cdot 30}{38 \cdot 5} \cdot 1,4 = 7,7$ хв;

У підсумку сумарний основний час шліфування становить:

$$T_o = 38,1 \text{ хв}$$

T_d — допоміжний час, який приймається рівним 0,62 хв.

Отже, оперативний час дорівнює:

$$T_{\text{оп}} = 38,1 + 0,62 = 38,72 \text{ хв}$$

Для операції фрезерування прийнято такі режими обробки:

- глибина фрезерування — 0,6 мм;
- частота обертання — 110 об/хв.
- подача — 0,05 мм/об.

Режим залізнення. Силу струму визначають за формулою:

$$I = D_K \cdot F_K \quad (2.8)$$

де D_K — катодна щільність струму, А/дм² (20...30 А/дм²);

F_K — площа поверхні, що підлягає покриттю, дм² ($F_K = 0,0214$ дм²).

Тоді сила струму становить:

$$I = 30 \cdot 0,0214 = 0,75 \text{ А}$$

Тривалість гальванічної операції визначають за формулою:

$$T = (t_0 + t_1) K_{\text{пз}} \quad (2.9)$$

де t_0 — тривалість електролітичного осадження металу у ванні, год.

$$t_0 = \frac{1000h \cdot j}{C \cdot D_K \cdot \eta_v} \quad (2.10)$$

де h — товщина нарощуваного шару, мм ($h = 0,5$ мм);

j — густина осаджуваного матеріалу, г/см³ ($j = 7,8$ г/см³);

C — електролітичний еквівалент, г/А·год ($C = 1,042$);

η_v — вихід металу за струмом, % ($\eta_v = 80...95$ %).

$$t_0 = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 7,8}{30 \cdot 1,042 \cdot 0,9} = 142 \text{ хв}$$

t_1 — час, необхідний на завантаження та вивантаження, год ($t_1 = 0,1...0,2$ год);

$K_{\text{пз}}$ — коефіцієнт, який враховує підготовчо-завершальний час ($K_{\text{пз}} = 1,1...1,2$).

$$T = (2,4 + 0,2) 1,15 = 3 \text{ год}$$

2.4 Ремонтне креслення деталі

До складу нормативно-технічної документації, що використовується під час ремонту, входять ремонтні креслення деталей [1].

Ремонтні креслення належать до робочих конструкторських документів, призначених для організації ремонтного виробництва, і містять значний обсяг відомостей технологічного характеру.

Для розроблення ремонтного креслення деталі необхідний певний комплект

вихідних документів і даних, до якого належать:

- робоче креслення деталі для її виготовлення;
- технічні вимоги до проведення дефектації;
- технічні вимоги щодо відновлення деталі;
- технологічні способи усунення виявлених дефектів.

Ремонтне креслення оформлюють відповідно до вимог, установлених ДСТУ ГОСТ 2.604:2005. Ремонтне креслення деталі наведено в графічній частині курсового проєкту.

Можна ще так, більш академічно:

До вихідних даних для розроблення ремонтного креслення належать: робоче креслення на виготовлення деталі, технічні вимоги до її дефектації, технічні вимоги до відновлення, а також технологічні способи усунення дефектів.

Оформлення ремонтного креслення виконують згідно з правилами ДСТУ ГОСТ 2.604:2005. Саме ремонтне креслення деталі подано в графічній частині курсового проєкту.

2.5 Призначення та будова технологічного оснащення, що розробляється

Значну частину трудомісткості розбирально-складальних робіт під час ремонту машин становить демонтаж складальних одиниць, деталі яких з'єднані з натягом, характерним для гарячих або пресових посадок. Реальні зусилля, необхідні для розпресування таких з'єднань, часто істотно перевищують теоретично розраховані, особливо у випадках, коли ці з'єднання тривалий час працювали в умовах корозійного впливу.

Основною ознакою класифікації з'єднань з натягом, або пресових з'єднань, є форма охоплювальної деталі. Додатково враховують ступінь доступності з'єднання для засобів складання і розбирання, фізико-механічні властивості матеріалів деталей, тип сполучуваних поверхонь (циліндричні, конічні, еліптичні), а також наявність мастильного шару в зоні контакту. Загалом виділяють три класи таких з'єднань, у яких охоплювальна деталь може бути виконана у вигляді тіла обертання, некруглого стрижня (наприклад, важеля чи шатуна) або корпусу.

Розбирання складальних одиниць із натягнутими з'єднаннями може здійснюватися різними способами. За принципом впливу на посадочні поверхні сполучених деталей ці способи поділяють на механічні, гідравлічні, термічні та комбіновані.

Під час розбирання механічним способом деталей, що охоплюється, під дією

прикладених до неї зусиль виводиться з охоплювальної деталі, тобто виконується операція, зворотна запресуванню, — розпресування. При цьому зусилля, необхідне для розпресування, зазвичай на 10–15 % перевищує зусилля запресування.

Основними засобами для демонтажу з'єднань з натягом є знімачі, преси, стенди та спеціальні пристосування. Для зменшення необхідного зусилля розпресування в окремих випадках додатково застосовують вібраційний вплив.

У графічній частині кваліфікаційної роботи представлено конструкцію знімача, призначеного для зняття шківів з компресора. До його складу входять гвинт, планка, захвати, стяжний гвинт, стяжка та опорна п'ята.

Для спрощення виготовлення доцільно передбачити виконання всіх деталей пристрою з одного матеріалу.

Порядок роботи пристрою:

- попередньо зняти гайку з вала компресора;
- за допомогою двох захватів охопити щок шківів;
- затягнути стяжний гвинт;
- обертаючи гвинт, підвести опорну п'яту до упору у вал компресора.

2.6 Визначення величини діючих сил і розробка кінематичної схеми технологічного оснащення

У разі застосування механічного способу розбирання посадок з натягом основним розрахунковим параметром є зусилля, яке створюється пресом або знімачем, тобто зусилля випресовування $P_{\text{розп}}$, що визначається за відповідним виразом [19–21]:

$$P_{\text{розп}} = \frac{\pi \cdot l \cdot \delta \cdot f_{\text{розп}}}{\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right)} \quad (2.11)$$

де $f_{\text{розп}}$ — коефіцієнт тертя в з'єднанні з натягом під час розпресування;

δ — розрахунковий натяг.

Величину натягу визначають на етапі проектування машини, виходячи із заданих зовнішніх навантажень, прийнятих геометричних розмірів та вибраного матеріалу (рис. 2.1).

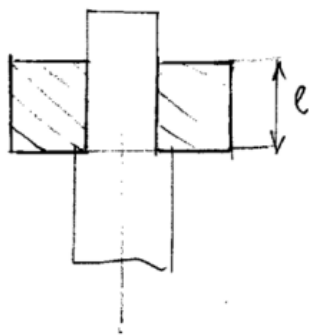


Рисунок 2.1 — Схема з'єднання

Розрахункову величину натягу визначають за відповідною формулою:

$$\delta = p \cdot d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \quad (2.12)$$

де p — контактний тиск;

d — діаметр посадочної поверхні;

C_1 і C_2 — коефіцієнти Ламе;

E_1 і E_2 — модулі пружності матеріалів деталей, що відповідно охоплюється та охоплює.

Контактний тиск визначають з урахуванням дії зовнішніх навантажень:

$$p = \frac{K}{\pi \cdot d \cdot l \cdot f} \sqrt{P_{oc}^2 + \left(\frac{2M_{кр}}{d} \right)^2} \quad (2.13)$$

де K — коефіцієнт запасу, який приймається в межах 1,5...2,5;

f — коефіцієнт тертя між сполучуваними деталями;

P_{oc} — найбільша осьова сила, яку має витримувати вузол;

$M_{кр}$ — максимальний крутний момент;

l — довжина з'єднання.

Значення коефіцієнтів C_1 і C_2 визначають за відповідними формулами:

$$C_1 = \frac{1+\chi_1^2}{1-\chi_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1+\chi_2^2}{1-\chi_2^2} + \mu_2 \quad (2.14)$$

де $\chi_1 = d_1 / d$, $\chi_2 = d / d_2$ — коефіцієнти, що характеризують тонкостінні деталі;

d_1 — внутрішній діаметр охоплюваної деталі;

d_2 — зовнішній діаметр деталі, що охоплює;

μ_1 і μ_2 — коефіцієнти Пуассона відповідно для охоплюваної та охоплюючої деталей.

Якщо охоплювана деталь виконана у вигляді суцільного вала, то $\chi_1 = 0$, а $C_1 = 1$.

$$P_{розп} = 6898,6 \text{ Н} \cdot 1,2 = 8277,6 \text{ Н}$$

2.7 Інженерний розрахунок елементів конструкції технологічного оснащення

Зусилля, необхідне для демонтажу шківів компресора, визначають за такою розрахунковою формулою [1, 19–21]:

$$Q = \frac{P \cdot L}{r \cdot \operatorname{tg}(2 + \varphi)} \quad (2.15)$$

де P — зусилля, яке прикладається до рукоятки вручну, Н ($P = 200$ Н);

L — плече рукоятки, м ($L = 0,135$ м);

r — середній радіус різьби силового гвинта, м;

Середній радіус різьби визначають за формулою:

$$r = d_{\text{cp}} / 2 \quad (2.16)$$

де d_{cp} — середній діаметр різьби силового гвинта;

Середній діаметр різьби обчислюють так:

$$d_{\text{cp}} = D - 2 + 0,701 \quad (2.17)$$

де D — зовнішній діаметр гвинта ($D = 30$ мм).

Тоді:

$$d_{\text{cp}} = 30 - 2 + 0,701 = 28,7 \text{ мм};$$

$$r = 14,35 \text{ мм} = 0,01435 \text{ м}.$$

α — кут підйому гвинтової лінії, або кут підйому різьби на середньому діаметрі, град.

$$\alpha = \frac{t}{\pi \cdot d_{\text{cp}}} \quad (2.18)$$

де t — крок різьби, мм ($t = 2$ мм).

$$\alpha = \frac{2}{3,14 \cdot 28,7} = 0,0222 \quad (2.19)$$

тоді $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{arctg} 0,0222 = 1018'$

α — кут тертя, град. ($\varphi = 8035'$)

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \operatorname{tg} \cdot (1018' + 8035') = 0,175$$

$$Q = \frac{200 \cdot 0,135}{0,01435 \cdot 0,175} = 10755,2 \text{ Н}$$

$$Q > P_{\text{розп}} \quad (2.20)$$

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні положення з охорони праці під час ремонту турбокомпресора та колінчастого валу

Охорона праці є важливою складовою організації ремонтного виробництва, оскільки ремонт тракторів, двигунів та їхніх агрегатів пов'язаний із використанням вантажопідіймальних механізмів, металообробного обладнання, мийних рідин, мастильних матеріалів, стисненого повітря, електроінструменту та нагрівальних пристроїв. Під час виконання робіт з удосконалення технології ремонту турбокомпресора трактора ХТЗ-17221 і відновлення колінчастого валу особливу увагу необхідно приділяти безпечним умовам праці, правильній організації робочого місця та дотриманню технологічної дисципліни [11].

Основною метою охорони праці на ремонтній дільниці є запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням, аварійним ситуаціям і шкідливому впливу виробничих факторів на працівників. Для цього необхідно забезпечити справний стан обладнання, наявність засобів індивідуального захисту, належне освітлення, вентиляцію, пожежну безпеку, правильне зберігання паливно-мастильних матеріалів і безпечне виконання всіх ремонтних операцій.

Ремонт турбокомпресора та колінчастого валу потребує підвищеної точності, тому працівники повинні мати відповідну кваліфікацію, знати будову агрегатів, правила роботи з вимірювальним інструментом, верстатним обладнанням і пристроями для розбирання, складання та контролю деталей. Перед початком роботи кожен працівник повинен пройти інструктаж з охорони праці, ознайомитися з технологічною картою ремонту, перевірити справність інструменту, обладнання та засобів захисту.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці. Працівник повинен дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, не виконувати операції, які не передбачені його посадовими обов'язками, не працювати на несправному обладнанні та негайно повідомляти керівника про виявлені несправності або небезпечні ситуації.

3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час ремонту турбокомпресора та відновлення колінчастого валу на працівника можуть діяти різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх своєчасне виявлення та усунення є необхідною умовою безпечної організації праці [12].

До основних небезпечних факторів належать:

- рухомі частини верстатів, шліфувальних кругів, приводів і пристроїв;
- можливість травмування під час зняття, переміщення та встановлення важких деталей;
- гострі кромки деталей, задирки, металеві стружки;
- виліт частинок металу або абразиву під час шліфування та полірування;
- підвищена температура окремих деталей після нагрівання або роботи двигуна;
- ураження електричним струмом при використанні електроінструменту;
- пожежна небезпека через наявність мастил, пального, гасу, розчинників та інших легкозаймистих речовин;
- можливість падіння деталей, інструментів або пристроїв.

До шкідливих виробничих факторів належать:

- підвищений рівень шуму під час роботи верстатів і компресорного обладнання;
- вібрація від шліфувальних, свердлильних і полірувальних машин;
- запиленість повітря металевим та абразивним пилом;
- випаровування мийних рідин, мастил і розчинників;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена або знижена температура повітря в приміщенні;
- фізичне перевантаження під час переміщення важких деталей;
- напруження зору під час дефектації та вимірювання деталей.

Особливо небезпечними є операції шліфування шийок колінчастого валу, очищення масляних каналів, розбирання турбокомпресора, промивання деталей, перевірка зазорів і складання вузлів із малими допусками. Під час цих операцій необхідно використовувати справний інструмент, захисні окуляри, рукавиці, спецодяг і засоби захисту органів дихання.

3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком виконання ремонтних робіт працівник повинен підготувати робоче місце, перевірити стан обладнання, інструментів і пристроїв. Робоча зона має бути очищена від зайвих предметів, залишків мастила, металевої стружки та інших матеріалів, які можуть спричинити травмування або падіння.

Перед початком роботи необхідно:

1. одягнути справний спецодяг, застебнути рукави, прибрати звисаючі частини одягу;
2. підготувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавиці, спецвзуття, респіратор за потреби;
3. перевірити справність слюсарного та вимірювального інструменту;
4. переконатися у справності верстатного обладнання, огорожень, захисних екранів і кнопок аварійної зупинки;
5. перевірити заземлення електрообладнання;
6. переконатися у наявності достатнього освітлення робочої зони;
7. підготувати тару для відпрацьованого масла, ганчір'я та забруднених деталей;
8. перевірити справність вантажопідіймальних пристроїв, якщо передбачається переміщення важких деталей;
9. переконатися, що підлога не слизька, не забруднена мастилом або паливом;
10. ознайомитися з послідовністю виконання технологічних операцій.

Забороняється починати роботу, якщо обладнання має несправності, відсутні захисні кожухи, пошкоджені електропроводи, несправні вимірювальні прилади або робоче місце не підготовлене до безпечного виконання операцій.

3.4 Вимоги безпеки під час розбирання та дефектації турбокомпресора

Розбирання турбокомпресора необхідно виконувати на спеціально обладнаному робочому місці з використанням справного слюсарного інструменту. Перед розбиранням агрегат очищають від зовнішніх забруднень, залишків масла, пилу та нагару. Забороняється виконувати розбирання забрудненого агрегату, оскільки це може призвести до потрапляння сторонніх частинок у внутрішні канали та спричинити пошкодження деталей.

Під час розбирання турбокомпресора необхідно дотримуватися таких вимог:

- надійно закріплювати агрегат у пристрої або на верстаку;
- не застосовувати надмірні ударні навантаження;
- використовувати знімачі для демонтажу деталей, які мають щільну посадку;
- не пошкоджувати лопатки компресорного та турбінного коліс;
- не допускати падіння ротора, корпусу або інших деталей;
- деталі складати в окрему чисту тару;
- дрібні елементи, гайки, кільця та шайби зберігати так, щоб уникнути їх втрати;

- не продувати забруднені канали стисненим повітрям без захисних окулярів.

Під час дефектації турбокомпресора особливу увагу звертають на стан ротора, підшипників, ущільнювальних кілець, корпусів компресора та турбіни. Не допускається використання деталей із тріщинами, значним зношуванням, слідами перегріву, деформацією або пошкодженням лопаток.

Під час промивання деталей необхідно використовувати рукавиці та уникати потрапляння мийних рідин на шкіру й в очі. Роботи з розчинниками слід виконувати тільки в зоні з ефективною вентиляцією. Забороняється використовувати відкритий вогонь поблизу місць промивання деталей.

3.5 Вимоги безпеки під час відновлення колінчастого валу

Колінчастий вал є важкою та відповідальною деталлю двигуна, тому його переміщення, встановлення на обладнання та обробку необхідно виконувати з дотриманням вимог безпеки. Під час транспортування вала слід використовувати вантажопідіймальні механізми, справні стропи, захвати або спеціальні візки. Забороняється переносити важкий вал вручну без застосування допоміжних засобів, оскільки це може призвести до травмування працівників або пошкодження деталі.

Перед установленням колінчастого валу на шліфувальний верстат необхідно перевірити:

- справність центрів, люнетів і затискних пристроїв;
- надійність кріплення вала;
- відсутність тріщин на шліфувальному крузі;
- наявність захисного кожуха;
- справність системи охолодження;
- правильність встановлення упорів і обмежувачів;
- роботу аварійної зупинки верстата.

Під час шліфування шийок колінчастого валу працівник повинен перебувати поза площиною можливого вильоту частинок абразивного круга. Не дозволяється торкатися руками обертових частин, вимірювати деталь під час обертання, знімати захисні кожухи або залишати верстат без нагляду.

Під час полірування шийок необхідно використовувати пристрої, які виключають захоплення рук або одягу обертовими частинами. Забороняється працювати в рукавицях біля відкритих обертових елементів, якщо існує небезпека їх затягування. Вимірювання

діаметрів шийок виконують тільки після повної зупинки верстата.

Під час очищення масляних каналів колінчастого валу слід використовувати спеціальні щітки, промивальні рідини та стиснене повітря. Продування каналів необхідно виконувати в захисних окулярах, спрямовуючи струмінь повітря від себе та інших працівників. Забороняється перевіряти чистоту каналів пальцями або продувати їх у напрямку обличчя.

3.6 Організація безпечного робочого місця

Рациональна організація робочого місця є важливою умовою безпечного та продуктивного виконання ремонтних операцій. Робоче місце слюсаря-ремонтника повинно бути обладнане верстаком, лещатами, полицями для інструментів, тарою для деталей, ємностями для відпрацьованих матеріалів і засобами пожежогасіння.

Інструменти необхідно розміщувати так, щоб працівник міг швидко й безпечно ними користуватися. Важкі предмети не слід зберігати на верхніх полицях. Деталі турбокомпресора та колінчастого валу повинні розміщуватися на стійких підставках або в спеціальних касетах, що запобігають їх падінню.

Підлога в ремонтному приміщенні має бути рівною, неслизькою, без вибоїн і виступів. Розлиті мастила, паливо або мийні рідини необхідно негайно прибирати. Проходи між обладнанням повинні залишатися вільними, не захащені деталями, тарою або інструментами.

Робоче місце має бути забезпечене достатнім освітленням. Недостатнє освітлення може призвести до помилок під час дефектації, неправильного вимірювання деталей і травмування. Для точних вимірювальних робіт доцільно використовувати місцеве освітлення.

На робочому місці повинні бути:

- технологічна карта виконання операцій;
- інструкція з охорони праці;
- справний інструмент;
- вимірювальні прилади;
- засоби індивідуального захисту;
- ємності для відпрацьованого масла;
- аптечка першої допомоги;
- вогнегасник

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічна ефективність відновлення деталей

Економічна ефективність відновлення деталей, вузлів, агрегатів і машин у цілому проявляється у зменшенні витрат матеріалів, праці та грошових ресурсів, необхідних для підтримання техніки в працездатному стані. Крім того, відновлення дає змогу оперативно повернути машину до роботи у період виконання сільськогосподарських операцій, що сприяє зниженню втрат, пов'язаних із порушенням агротехнічних строків.

У практиці підприємств технічного сервісу найчастіше оцінюють саме економічну ефективність відновлення окремих деталей.

Маючи дані про витрати на відновлення деталей та їхній післяремонтний ресурс за діючою або запропонованою технологією, можна виконати розрахунок ефективності ремонту і визначити господарську доцільність відновлення деталей певної номенклатури в умовах конкретного підприємства.

У ряді випадків доцільність ремонту або відновлення оцінюють шляхом порівняння вартості нової деталі із собівартістю її відновлення. Якщо собівартість відновлення є меншою або дорівнює витратам на придбання нової деталі, такий ремонт вважається економічно виправданим. Цю умову можна записати у вигляді [23–25]:

$$C_p \leq C_n \quad (4.1)$$

де C_p — собівартість ремонту або відновлення деталі з урахуванням усіх витрат, пов'язаних із виконанням ремонтних робіт, зокрема витрат на розбирання, складання, заготівлю, транспортування та інші супутні операції;

C_n — вартість нової деталі з урахуванням усіх витрат на її доставку та встановлення, грн.

Наведена умова правильно відображає економічну доцільність ремонту або відновлення лише в тому випадку, коли повністю відновлюється втрачена споживча вартість виробу, а ресурс деталі після ремонту дорівнює ресурсу нової деталі.

За умови, що ресурс відновленої деталі відрізняється від ресурсу нової, оцінювання економічної доцільності ремонту здійснюють за критерієм зниження питомих витрат у розрахунку на одиницю ресурсу:

$$\frac{C_n - C_{20ст}}{T_n} \geq \frac{C_{10ст} + C_p + E_n \cdot K_y - C_{20ст}}{T_p} \quad (4.2)$$

Ліва частина нерівності відображає нормативний критерій ефективності

відновлення, тоді як права характеризує фактичне значення ефективності відновлення конкретної деталі.

Насамперед потрібно обчислити критерій ефективності відновлення K_e :

$$K_e = \frac{C_H - C_{2ост}}{T_H} \quad (4.3)$$

де K_e — гранично допустиме значення критерію ефективності, виражене у грошовому еквіваленті на одиницю ресурсу, грн/1000 мото-год;

C_H — вартість нової деталі з урахуванням усіх торговельно-заготівельних і транспортних витрат, грн ($C_H = 2750$ грн);

$C_{2ост}$ — залишкова вартість деталі на момент завершення строку її служби або списання, грн ($C_{2ост} = 117$ грн);

T_H — ресурс нової деталі до наступного ремонтного втручання або вибракування, мото-год.

$$T_H = 6000 \text{ мото-год}; K_e = 433,3 \text{ грн/100 мото-год}$$

Після визначення граничного критерію ефективності відновлення слід перейти до обчислення фактичного критерію ефективності відновлення деталі за відповідною формулою:

$$K_p = \frac{C_{1ост} + C_p + E_H \cdot K_y - C_{2ост}}{T_p} \quad (4.4)$$

де K_p — фактичний критерій ефективності відновлення деталі, грн/1000 мото-год;

$C_{1ост}$ — залишкова вартість деталі з урахуванням усіх транспортно-заготівельних витрат, тобто вартість ремонтного фонду, грн.

$$C_{1ост} = 1,2 \cdot C_{2ост} \quad (4.5)$$

$$C_{1ост} = 1,2 \cdot 7 = 8,4 \text{ грн}$$

C_p — собівартість відновлення деталі, грн;

K_y — питомі капітальні вкладення в розрахунку на одну деталь, грн;

E_H — нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

T_p — ресурс або строк служби деталі після відновлення.

$$T_p = (0,8 \dots 1,1) \cdot T_H \quad (4.6)$$

$$T_p = 0,95 \cdot 6000 = 5700 \text{ мото-год}$$

Собівартість відновлення деталі включає сукупність усіх витрат підприємства, пов'язаних із виконанням виробничого процесу, і визначається за відповідною

розрахунковою формулою:

$$C_p = C_m + Z_{пл} + C_{вб} + C_{пі} + H_{ц} + H_3 + C_{вп} \quad (4.7)$$

де C_p — собівартість відновлення деталі, грн;

C_m — витрати на ремонтні матеріали, грн.

$$C_m = (0,25 \dots 0,40) \cdot C_{10ст} \quad (4.8)$$

$$C_m = 0,3 \cdot 8,4 = 2,52 \text{ грн}$$

$Z_{пл}$ — сума основної та додаткової заробітної плати виробничих працівників разом із відрахуваннями на соціальне страхування, грн;

$C_{вб}$ — витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн;

$C_{пі}$ — витрати, пов'язані з утриманням інструменту, пристроїв і технологічного оснащення спеціального призначення, грн.

$$C_{пі} = (0,1 \dots 0,15) \cdot C_{об} \quad (4.9)$$

$$C_{пі} = 0,12 \cdot 81,08 = 9,73 \text{ грн}$$

$H_{ц}$ — цехові витрати, грн;

H_3 — загальногосподарські витрати, пов'язані з управлінням підприємством, грн.

$$H_3 = 0,27 \cdot Z_{пл} \quad (4.10)$$

$$H_3 = 0,27 \cdot 6,37 = 172 \text{ грн}$$

$C_{вп}$ — позавиробничі витрати, пов'язані з реалізацією продукції, зокрема витрати на тару й пакування на складах готової продукції, транспортування та інші витрати, що супроводжують збут продукції, грн. У розрахунках цю величину приймають на рівні 3 % від виробничої собівартості:

$$C_{вп} = 0,03 \cdot (C_m + Z_{пл} + C_{об} + C_{пі} + H_{ц}) \quad (4.11)$$

$$C_{вп} = 40,9 \text{ грн}$$

Основну й додаткову заробітну плату виробничих працівників разом із відрахуваннями до державних страхових фондів визначають за таким розрахунковим виразом:

$$Z_{пл} = \left(\frac{T_{н1} \cdot C_1}{60} + \frac{T_{н2} \cdot C_2}{60} + \dots + \frac{T_{н6} \cdot C_6}{60} \right) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{cc} \quad (4.12)$$

де $T_{н1}, T_{н2}, \dots, T_{н6}$ — норми часу на виконання операцій від першого до шостого розряду включно (з урахуванням підготовчо-завершального часу) у розрахунку на одну деталь, хв;

$C_1, C_2, \dots, C_6$ — відповідні тарифні ставки за розрядами, що приймаються на основі

середньогодинної тарифної ставки;

$C_{\text{ср.ч.}}$ — годинна тарифна ставка робітника середнього розряду, грн/год: $C_{\text{ср.ч.}} = 84,2$ грн/год;

K_c , K_d , $K_{\text{сс}}$ — коефіцієнти, які враховують відповідно доплату за понаднормові та інші роботи ($K_c = 1,025 \dots 1,03$), додаткову заробітну плату ($K_d = 1,1 \dots 1,3$) і відрахування до державних соціальних фондів ($K_{\text{сс}} = 1,425$).

У результаті розрахунку основна та додаткова заробітна плата виробничих працівників з урахуванням відповідних відрахувань становить: $Z_{\text{пл}} = 637$ грн.

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання визначають у відсотковому співвідношенні до суми амортизаційних відрахувань за такою формулою:

$$C_{\text{об}} = 2,49 \sum_{j=1}^m \frac{C_{aj} \cdot a_j \cdot t_j}{100 \cdot \Phi \partial \cdot \eta_{oj}} \quad (4.13)$$

де C_{aj} — балансова вартість одиниці обладнання, на якому виконується j -та операція, грн.

Балансова вартість обладнання приймається такою:

- для установки електродугового наплавлення УД-209 (джерело живлення ВДУ-504) — 66 350 грн;
- для установки електролітичного нарощування ОГ-1349А — 113 950 грн;
- для токарно-гвинторізних верстатів типу 1К62 — 38 900 грн;
- для фрезерного верстата типу 6М82 — 24 100 грн;
- для шліфувального верстата для колінчастих валів типу 3А423 — 121 800 грн.

де a_j — норма амортизаційних відрахувань на обладнання, що використовується під час виконання j -ї операції, %. Для різних видів обладнання цей показник приймають таким: для стендового обладнання — 20 %, для верстатного — 10 %, для зварювально-наплавного — 40 %;

t_j — трудомісткість j -ї операції, люд.-год.

Трудомісткість окремих операцій становить:

- для токарних робіт — 3,46 люд.-год;
- для наплавлення — 1,15 люд.-год;
- для фрезерування — 2,19 люд.-год;
- для шліфування — 2,36 люд.-год.

$\Phi \partial$ — дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год. У розрахунках його

приймають рівним 2000 год;

η_{oj} — коефіцієнт завантаження обладнання на j -ій операції. Його значення становить:

- для токарних операцій — 0,65;
- для фрезерних — 0,87;
- для шліфувальних — 0,93;
- для наплавних — 0,48;
- для зварювальних — 0,70.

У результаті розрахунку витрати на утримання та експлуатацію обладнання становлять: $C_{об} = 810,8$ грн.

Цехові витрати визначають за такою формулою:

$$H_{ц} = 2,33(0,3 \cdot Z_{пл} + 0,17 \cdot C_{об}) \quad (4.14)$$

$$H_{ц} = 2,33(0,3 \cdot 637 + 0,17 \cdot 810,8) = 365,7 \text{ грн}$$

$$C_p = 2,52 + 637 + 810,8 + 63,7 + 365,7 + 172 + 40,9 = 2091,92 \text{ грн}$$

Після обчислення собівартості відновлення деталі потрібно визначити величину питомих капітальних вкладень, скоригованих на нормативний коефіцієнт ефективності, використовуючи відповідну розрахункову залежність:

$$E_n \cdot K_y = \frac{K \cdot E_n}{O_{пр}} \quad (4.15)$$

Де E_n — нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, який у розрахунках приймають рівним 0,15;

K_y — питомі капітальні вкладення на організацію ділянки цеху відновлення, грн.

$$K = (1,1 \dots 1,3) \cdot C_p \cdot O_{пр} \quad (4.16)$$

$O_{пр}$ — річна програма відновлення деталей, шт. Для виконання розрахунку в даному випадку приймаємо $O_{пр} = 1$ шт.

$$K = 1,2 \cdot 2091,92 = 2510,3 \text{ грн}$$

$$0,15K_y = 376,5$$

$$K_p = 412,42$$

$$K_e > K_p \quad (4.17)$$

Після виконання необхідних розрахунків було встановлено, що застосування обраного способу відновлення є економічно виправданим і доцільним у виробничих

умовах.

Отримані результати розрахунків зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Техніко-економічні показники для оцінки ефективності відновлення деталі за обраним технологічним маршрутом

Номер п/п	Найменування показника. Позначення та одиниця виміру	Значення показника
1	Вартість нової деталі C_H , грн	2750
2	Залишкова вартість деталі (вартість ремонтного фонду) $C_{1ост}$, грн	2,52
3	Залишкова вартість деталі до моменту закінчення терміну її служби або вибракування $C_{2ост}$, грн	117
4	Термін служби нової деталі T_H , мото-год	6000
5	Термін служби деталі після відновлення T_P , мото-год	5700
6	Питомі капітальні вкладення, скориговані на нормативний коефіцієнт ефективності $E_H \cdot K_y$, грн.	376,5
7	Річна програма відновлення деталей $O_{ПР}$, шт	-
8	Собівартість відновлення деталі, C_P , грн	2092,91
9	Граничне значення критерію ефективності відновлення деталі K_E , грн/1000 мото-год	433,3
10	Дійсний критерій ефективності відновлення деталі K_P , грн/1000 мото-год	412,42

ВИСНОВОК

Розроблена технологія ремонту колінчастого вала турбокомпресора трактора ХТЗ-17221 забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу деталі, що є важливою передумовою для покращення надійності роботи всього вузла в цілому. Запропонований технологічний маршрут відновлення дає можливість не лише усунути наявні дефекти робочих поверхонь, а й відновити функціональні параметри деталі до рівня, достатнього для її подальшої тривалої та безпечної експлуатації. Це свідчить про практичну придатність розроблених технічних і технологічних рішень для використання в ремонтному виробництві.

Проведені розрахунки підтвердили економічну доцільність відновлення колінчастого вала порівняно із заміною його на новий. Вартість нової деталі становить 2750 грн, тоді як собівартість відновлення дорівнює 2092,91 грн. Отже, застосування запропонованої технології дозволяє зменшити витрати на ремонт і отримати економію коштів, що особливо важливо в умовах необхідності раціонального використання матеріальних ресурсів та зниження собівартості ремонтних робіт. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності діяльності ремонтного підприємства або сервісної дільниці.

Крім економічного ефекту, запропонована технологія має й вагоме виробниче значення, оскільки дає змогу скоротити потребу у придбанні нових запасних частин, зменшити втрати, пов'язані з простоем техніки, та забезпечити більш повне використання ресурсу дороговартісних деталей. Відновлення колінчастого вала за обраним маршрутом дозволяє раціонально поєднати технічну ефективність, виробничу доцільність і економічну вигоду.

Таким чином, результати виконаної роботи підтверджують, що запропонована технологія ремонту колінчастого вала турбокомпресора трактора ХТЗ-17221 є технічно обґрунтованою, економічно вигідною та придатною до впровадження у практику ремонтного виробництва. Її застосування сприятиме підвищенню довговічності деталі, зменшенню витрат на відновлення та покращенню загальної ефективності експлуатації машинно-тракторного парку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трактори ХТЗ-17021 та ХТЗ-17221. Посібник з експлуатації 170.00.000 РЭ. Харків : Харківський тракторний завод, 2013. 189 с. URL: <https://xtz.ua/files/pdf/170172.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).
2. Технічна документація ХТЗ. Харківський тракторний завод : офіційний сайт. URL: <https://xtz.ua/ua/technical-doc.html> (дата звернення: 26.04.2026).
3. Сідашенко О. І., Науменко О. А., Поліський А. Я. та ін. Ремонт машин та обладнання : підручник / за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. Київ : Агроосвіта, 2014. 665 с.
4. Сідашенко О. І., Поліський А. Я. Ремонт машин : підручник. Київ : Урожай, 1994. 400 с.
5. Хітров І. О., Гавриш В. С. Ремонт машин і обладнання : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2012. 184 с.
6. Молодик М. В., Зенкін А. С. Відновлення деталей машин : довідник. Київ : Урожай, 1989. 256 с.
7. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : підручник. Київ : Вища школа, 1994. 342 с.
8. Костецький Б. І. Надійність і довговічність машин. Київ : Техніка, 1975. 408 с.
9. Основи технології відновлення деталей : конспект лекцій. Кам'янське : Дніпровський державний технічний університет, 2017. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/27/1-27-kl16.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).
10. Відновлення деталей сільськогосподарських машин. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2011. № 2. С. 140–144. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/02/140.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).
11. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 26.04.2026).
12. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.12.2013 № 966 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0327-14> (дата звернення: 26.04.2026).
13. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи

проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

14. Garrett Turbochargers Troubleshooting Guide. Garrett Motion. URL: https://www.garrettmotion.com/wp-content/uploads/2018/05/Garrett_Troubleshooting_Guide-1.pdf (date accessed: 26.04.2026).

15. Garrett Turbocharger Installation Guide. Part 1. Garrett Motion. URL: <https://www.garrettmotion.com/knowledge-center-category/turbo-replacement/part-1-garrett-turbocharger-installation-guide/> (date accessed: 26.04.2026).

16. Garrett Turbocharger Installation Instructions. Garrett Motion. URL: <https://www.thoroughbreddiesel.com/assets/1/pdf/garrett-turbo-installation-instructions.pdf> (date accessed: 26.04.2026).

17. EFR Turbocharger Technical Training Guide. BorgWarner. URL: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/iam/boosting-technologies/efr_technical_training_book.pdf (date accessed: 26.04.2026).

18. Checklist for Installing Turbochargers. BorgWarner. URL: <https://borgwarner.svmdev.com/dl-129617/BorgWarner%20AirWerks%20%26%20Other%20Turbochargers%20Install%20Guidelines.pdf> (date accessed: 26.04.2026).

19. Dempsey P. Troubleshooting and Repairing Diesel Engines. New York : McGraw-Hill, 2008. 400 p.

20. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 1056 p.

21. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. London : Palgrave Macmillan, 2012. 516 p.

22. Guidance for Repairs of Crankshaft. Ships Classification Malaysia, 2004. URL: https://www.academia.edu/43659208/Guidance_for_Repairs_of_Crankshaft (date accessed: 26.04.2026).