

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 відновлення колінчастого валу
автотракторних двигунів з розробкою пристрою для перевірки овальності шийок»

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-3-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Стасюк Вадим Валентинович
(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)

_____ Стасюку Вадиму Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення технології відновлення колінчастого валу автотракторних двигунів з розробкою пристрою для перевірки овальності шийок»

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. № 01-06/130

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: технічні умови на відновлення колінчастого валу двигуна Д – 240; способи відновлення поверхонь

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; технічні умови на виготовлення основних деталей та вузлів пристрою; будова та принцип роботи пристрою; 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. Характеристика об'єкту дослідження	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)Стасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)Дідур В.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	5
2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	14
2.1 Характер умов роботи та процесів зношування.....	14
2.2 Дефектування деталей.....	14
2.3 Технічні умови на відновлення колінчастого валу двигуна Д – 240.....	15
2.4 Способи відновлення поверхонь.....	16
2.5 Розрахунок і вибір режимів виконання технологічних операцій.....	20
2.6. Нормування операцій розробленого технологічного процесу.....	26
2.7 Обґрунтування вибору пристрою, що проектується.....	32
2.8 Опис конструкції та умови роботи установки.....	34
2.9. Розрахунок циліндричної гвинтової пружини на стискання.....	34
2.10 Розрахунок опорних валів.....	35
2.11 Технічні умови на виготовлення основних деталей та вузлів пристрою.....	35
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	37
3.1. Загальна характеристика умов праці під час відновлення колінчастого валу.....	37
3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	38
3.3 Вимоги безпеки під час роботи з пристроєм для перевірки овальності шийок.....	40
3.4 Інструктажі та навчання працівників.....	41
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	43
4.1 Загальні положення.....	43
4.2 Вихідні дані для розрахунку.....	43
4.3 Розрахунок зниження трудомісткості.....	44
4.4 Розрахунок економії заробітної плати.....	44
4.5 Розрахунок вартості виготовлення пристрою.....	45
4.6 Розрахунок річного економічного ефекту.....	46
4.7 Розрахунок строку окупності.....	46
ВИСНОВОК.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

МТЗ-80 «Беларусь» і МТЗ-82 «Беларусь» належать до сімейства універсально-просапних колісних тракторів, виробництво яких було розпочато на Мінському тракторному заводі у 1974 році. У подальшому ці моделі неодноразово модернізувалися та стали основою для створення нових представників модельного ряду, зокрема тракторів серій BELARUS 892, 920, 82.1, 952, 1021 та інших.

Трактори МТЗ-80 і МТЗ-82 були створені як результат глибокого вдосконалення попередніх моделей МТЗ-50 та МТЗ-52. Рівень уніфікації деталей і складальних одиниць між ними досягає близько 70 %, що значно спростило їх виробництво, обслуговування та ремонт. Конструктивно ці трактори виконані за класичною для даної серії схемою: напіврамна будова, встановлені на ній картери агрегатів трансмісії, переднє розташування двигуна, а також великі задні та менші за розміром передні колеса. Основна відмінність між базовими моделями полягає в типі приводу: МТЗ-80 має привід на задні колеса, тоді як МТЗ-82 оснащений повним приводом.

Упродовж тривалого періоду випуску ці трактори вироблялися в численних модифікаціях, що відрізнялися між собою конструкцією трансмісії, передавальними числами, способом запуску двигуна, типом кабіни, особливостями приєднання навісного обладнання, видом шин, величиною агротехнічного просвіту, а також наявністю спеціальних систем для роботи на схилах.

До основних модифікацій тракторів цієї серії належать такі моделі. МТЗ-80 є універсально-просапним трактором із заднім приводом і малою кабіною. Модель МТЗ-80.1 відрізняється наявністю великої кабіни. Трактор МТЗ-82 є повнопривідною версією з малою кабіною, а МТЗ-82.1 — аналогічною моделлю з великою кабіною. Модифікація МТЗ-82Р була призначена для догляду за рисовими посівами. Трактор МТЗ-82Н створювався для роботи на схилах до 16°, мав зменшений кліренс 400 мм, спеціально підібрані колеса та сидіння з можливістю нахилу для забезпечення вертикального положення тракториста під час роботи на похилих ділянках.

Ще однією спеціалізованою модифікацією був трактор МТЗ-82К, призначений для експлуатації на крутих схилах до 20°. Його конструкція включала повний привод, хитні бортові редуктори, гідравлічну систему автоматичного стабілізування положення остова, передній ведучий міст із паралелограмним механізмом, а також додаткові гідроциліндри в системі навішування, що забезпечували стійкість агрегованих машин.

Серед спеціальних модифікацій також варто виділити МТЗ-80Х та МТЗ-80ХМ, які використовувалися в бавовництві. Вони відрізнялися одним керованим колесом, спеціальними бортовими передачами для збільшення кліренсу до 650 мм, а модифікація ХМ додатково оснащувалася двигуном Д-240Т потужністю 100 к. с.

На базі цієї серії був розроблений і гусеничний трактор Т-70В/С класу 2 т, що застосовувався для обробітку виноградників і цукрових буряків. Він відрізнявся від колісної базової моделі гусеничним рушієм, іншою кабіною, зміненою обшивкою, двигуном Д-241Л потужністю 70 к. с., а також модернізованою гідросистемою. Окремі варіанти цієї машини різнилися між собою параметрами гусеничного ланцюга.

До інших відомих модифікацій належать трактори МТЗ-80В та МТЗ-82В, які мали реверсивний редуктор, а також МТЗ-82Т — овоче-баштанна версія з підвищеним кліренсом, досягнутим шляхом встановлення додаткових колісних редукторів. Лісогосподарська модифікація Т-80Л використовувалася для трелювання деревини, проведення лісовідновлювальних, агрохімічних і протипожежних робіт. Вона мала зміщений уперед двигун зниженої потужності Д-243Л, іншу конструкцію кабіни й облицювання, однакові за розміром колеса, а також підвищену транспортну швидкість до 36 км/год. Рівень уніфікації цієї машини з трактором МТЗ-82 становив близько 80 %.

На основі трактора МТЗ-82.2.26 було створено також український універсально-просапний трактор КИЙ-14102, який мав повний привод і велику кабіну.

У сучасних умовах модельний ряд тракторів BELARUS продовжує розвиватися. Серед машин, що нині перебувають у виробництві, можна відзначити BELARUS-09Н, BELARUS-084, а також малогабаритний трактор BELARUS 320.4, який може комплектуватися фронтальним навантажувачем і щітковим обладнанням. Базою для цієї модифікації є модель «Білорус-320».



Рисунок 1.1 – Малогабаритний трактор BELARUS МТЗ-320.4, оснащений фронтальним навантажувачем і щітковим обладнанням

До числа малогабаритних і серійних тракторів, що випускаються під торговельною маркою МТЗ, належить широкий модельний ряд машин різного призначення та тягового класу. Серед них варто виділити базову модель BELARUS-422, яка належить до категорії малогабаритних тракторів. До цієї ж групи можна віднести й інші компактні машини, призначені для виконання робіт у сільському господарстві, комунальній сфері та на невеликих виробничих об'єктах.

Модель BELARUS-550 є результатом глибокого удосконалення трактора МТЗ-50, тоді як BELARUS-80.1 створено на основі модернізації трактора МТЗ-80. Крім того, у виробничій програмі заводу представлені моделі BELARUS-622, BELARUS-923, BELARUS-921, BELARUS-1025, BELARUS-1220, а також BELARUS-1221, який належить до групи тракторів середнього класу.

До середніх тракторів також відносять модель BELARUS-1523, а серед гусеничних машин цього класу виділяють BELARUS-1502. Для виконання більш енергоємних робіт призначені великі трактори BELARUS-2022, а також великі гусеничні машини BELARUS-2103. Окрему групу складають енергонасичені трактори, представником яких є модель BELARUS-3022.

На базі трактора МТЗ-82.1 Сморгонський агрегатний завод випускає спеціалізовану техніку для комунального господарства. До такої техніки належать, зокрема, трактори «Беларус МУП-750» і «Беларус-82МК», які використовуються для виконання різноманітних робіт із благоустрою територій, очищення вулиць та обслуговування міської інфраструктури. Окрім цього, трактор МТЗ-80 застосовується як енергетичний засіб у складі бурякозбирального комбайна РКС-6 та буряконавантажувача СПС-4,2.

На тракторах МТЗ-80 і МТЗ-82 встановлюються чотирициліндрові чотиритактні дизельні двигуни сімейства 4Ч11/12,5, а саме моделі Д-240 та Д-243, що виготовляються Мінським моторним заводом. Ці силові агрегати мають напіврозділену камеру згоряння, розташовану в поршні, та рідинну систему охолодження. Частина двигунів додатково комплектувалася передпусковим підігрівачем ПЖБ-200Б, що забезпечувало полегшений запуск у холодний період року.

Робочий об'єм двигуна становить 4,75 л. Номінальна потужність силового агрегату дорівнює 59,25 кВт (80 к. с.), тоді як у початковому виконанні вона складала 55,16 кВт (75 к. с.). Запуск двигуна здійснюється або за допомогою електростартера, що характерно для модифікацій Д-240 і Д-243, або із застосуванням пускового двигуна ПД-10 потужністю 10

к. с., який використовувався на модифікаціях Д-240Л і Д-243Л. У конструкції передбачено блокування запуску в разі ввімкненої передачі, що підвищує безпеку експлуатації техніки.



Рисунок 1.2 – Чотирициліндровий чотиритактний дизельний двигун сімейства 4Ч11/12,5

До основних елементів кривошипно-шатунного механізму трактора МТЗ належать колінчастий вал (рис. 1.3, поз. 14), поршні (поз. 7), шатуни (поз. 18), поршневі пальці (поз. 9), поршневі кільця, маховик (поз. 3), а також корінні та шатунні вкладиші підшипників.

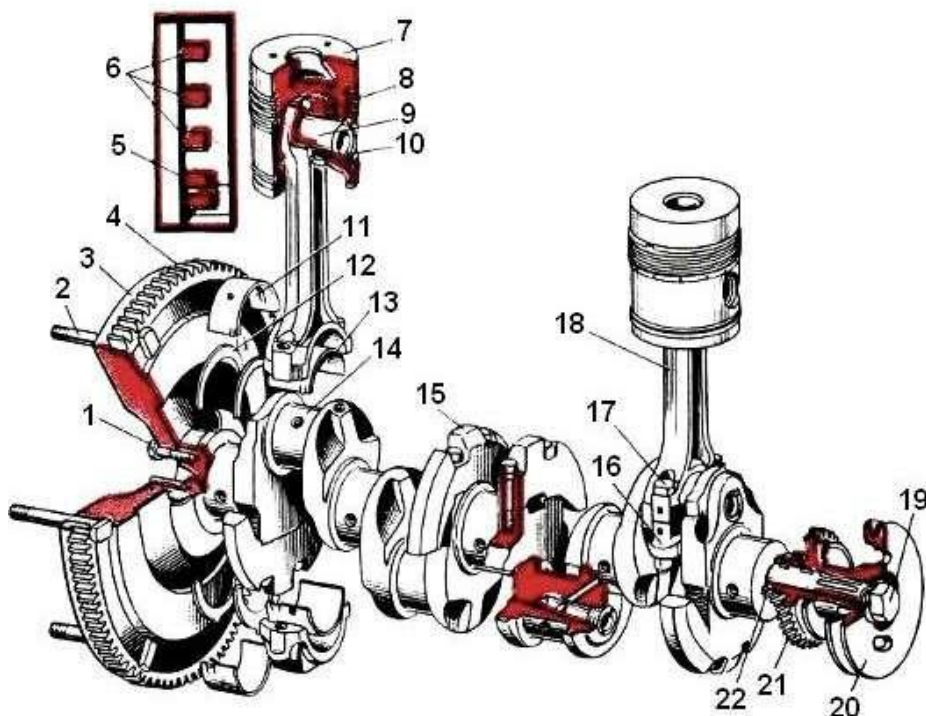


Рисунок 1.3 – Кривошипно-шатунний механізм трактора МТЗ-80, МТЗ-82 (двигуни Д-240, Д-243)

Колінчастий вал є однією з основних деталей кривошипно-шатунного механізму двигунів Д-240 і Д-243. За конструкцією він є повноопорним, виготовляється зі сталі та

має чотири шатунні й п'ять корінних шийок, поверхня яких зміцнена гартуванням струмами високої частоти. Для зменшення дії відцентрових сил, що виникають унаслідок невірноваженості кривошипно-шатунного механізму, а також для зниження навантаження на корінні підшипники, на окремих шийках вала встановлюються знімні противаги.

На передньому кінці колінчастого вала розміщені шестерня приводу розподільного механізму, шестерня приводу масляного насоса та шків, який забезпечує привід водяного насоса, генератора і вентилятора. На задньому фланці вала кріпиться маховик із зубчастим вінцем. Осьове переміщення колінчастого вала обмежується упорними півкільцями, виготовленими зі сплаву алюмінію, які встановлюються з обох боків п'ятого корінного підшипника та фіксуються від провертання спеціальними виступами.

Шатуни двигунів Д-240 і Д-243 виготовляються зі сталі методом штампування та мають двотавровий переріз. У верхню головку шатуна запресовано біметалічну втулку, через яку, а також через спеціальні отвори, забезпечується мащення поршневого пальця. Нижня головка шатуна виконана рознімною та пристосована для встановлення шатунних вкладишів. Кришка нижньої головки кріпиться до шатуна болтами, а від осьового зміщення вкладиші утримуються завдяки спеціальним вусикам.

Поршні виготовлені з алюмінієвого сплаву, що забезпечує поєднання достатньої міцності з малою масою. На їхній бічній поверхні виконано канавки для встановлення компресійних і маслознімних кілець. У днищі поршня розташована камера згоряння шатрової форми. У бобишках поршня передбачено отвори під поршневий палець, а також канавки для стопорних кілець. Поршневі пальці виготовляються з хромонікелевої сталі, мають порожнисту конструкцію і працюють за плаваючою схемою, а від осьового зміщення утримуються стопорними кільцями.

Поршневі кільця виготовляються зі спеціального чавуну. На кожному поршні встановлюються компресійні та маслознімні кільця, які забезпечують необхідну герметизацію камери згоряння та відведення надлишків мастила зі стінок циліндра. Корінні й шатунні вкладиші підшипників виробляються з біметалічної сталіалюмінієвої стрічки. Верхні половини корінних вкладишів мають отвори, що суміщаються з каналами підведення мастила в блоці циліндрів.

Маховик двигуна є масивною деталлю, яку відливають із сірого чавуну. Він кріпиться до фланця колінчастого вала болтами та додатково фіксується установочними

штифтами. На маховик напресовується зубчастий вінець, із яким під час запуску двигуна входить у зачеплення шестерня стартера або пускового двигуна. Крім того, через спеціальний отвір у маховику виконують контроль і встановлення кута випередження впорскування палива.

У процесі експлуатації кривошипно-шатунний механізм не потребує окремого спеціального технічного обслуговування. Однак для забезпечення його довговічної та надійної роботи необхідно суворо дотримуватися правил пуску двигуна, режимів мащення та своєчасного обслуговування системи очищення повітря. Саме якісне очищення повітря, що надходить до циліндрів, значною мірою впливає на строк служби поршнів, гільз і поршневих кілець.

Колінчастий вал двигуна Д-240 належить до найбільш відповідальних деталей силового агрегату. Його виготовляють із високоякісної сталі методом кування. За конструкцією він складається з кривошипів, шатунних і корінних шийок. У середині шатунних шийок передбачені спеціальні порожнини, у яких під дією відцентрової сили відбувається додаткове очищення мастила від домішок. Ці порожнини закриті різьбовими пробками, що дає змогу періодично видаляти осад. Передня частина вала використовується для встановлення шестерень приводу газорозподільного механізму, паливного та масляного насосів, а задня — для кріплення маховика.

За умови правильного обслуговування колінчастий вал може працювати тривалий час, а його шийки, у разі зношування, можуть бути відновлені до ремонтних розмірів. Проте з часом виникає потреба у заміні вала. Для цього необхідно повністю розібрати двигун, що потребує значних трудових і матеріальних витрат. Саме тому вибір нового колінчастого вала повинен бути особливо ретельним і обґрунтованим.

На сучасному ринку запасних частин для тракторів МТЗ в Україні пропонуються колінчасті вали різних виробників. Найчастіше зустрічаються вироби білоруського, індійського, китайського та турецького виробництва, що дає змогу підібрати необхідну деталь залежно від технічних вимог, вартості та умов подальшої експлуатації.



Рисунок 1.4 – Вартість оригінального колінчастого вала для тракторів МТЗ

На рисунку 1.5 представлено колінчастий вал Д-240-1005015-Б1 марки Balu, виготовлений методом кування зі сталі. Виробником цієї деталі є компанія Balu (Індія). Виріб комплектується номерним сертифікатом, що засвідчує його оригінальність і якісні характеристики. Зазначений колінчастий вал використовується в двигунах моделей Д-240, Д-242, Д-243, Д-244, якими комплектуються трактори МТЗ-80 і МТЗ-82.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд і вартість колінчастого вала МТЗ індійського виробництва

Виготовлення кованих колінчастих валів здійснюється із застосуванням потужного ковальсько-пресового обладнання, зокрема ковальських молотів зусиллям до 16000 т і пресів потужністю до 4000 т. У результаті такого технологічного процесу отримують виріб, який за показниками міцності та якості суттєво перевершує аналогічні деталі, виготовлені методом лиття. Після кування заготовки проходять комплекс подальших операцій, серед яких термічна обробка, дробоструминне очищення поверхні, а також контроль на наявність тріщин методом магнітної дефектоскопії.

Зміцнення шийок колінчастого вала виконується методом індукційного гартування на глибину до 5 мм, унаслідок чого досягається твердість у межах 60–65 HRC. Для зниження рівня внутрішніх напружень вал додатково піддають термічному впливу за температури близько 650 °С протягом приблизно однієї години або до моменту рівномірного прогрівання всієї деталі. Така обробка дає змогу усунути понад 90 % внутрішніх напружень, що позитивно впливає на довговічність виробу.

З метою підвищення плавності роботи двигуна та запобігання виникненню небажаних вібрацій колінчастий вал проходить динамічне балансування. Ковані колінчасті вали особливо доцільно застосовувати в умовах передачі значних навантажень, високої потужності та підвищених частот обертання. На відміну від них, литі вали розраховані на менш напружені режими роботи.

Основною перевагою кованого колінчастого вала є його висока міцність і надійність, які істотно перевищують характеристики литих або виготовлених із суцільного прутка аналогів. Саме тому ковані вали вважаються найбільш доцільним вибором для тих випадків, де до деталей ставляться підвищені вимоги щодо міцності, стабільності роботи та експлуатаційної якості.

До загальних переваг кованого колінчастого вала порівняно з литим належать: вища механічна міцність, дрібніша та більш однорідна зерниста структура металу, покращена мікроструктура матеріалу, підвищена стійкість до втомного руйнування, а також менша ймовірність утворення внутрішніх порожнин і прихованих дефектів.

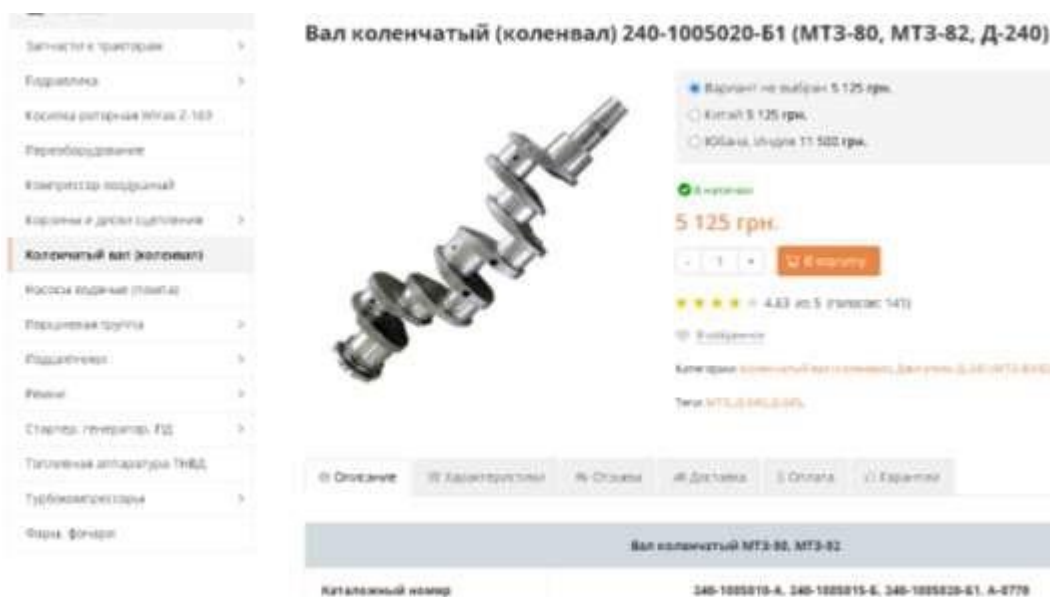


Рисунок 1.6 – Прайс-лист із цінами на колінчасті вали МТЗ китайського та індійського виробництва

2. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характер умов роботи та процесів зношування

Колінчастий вал двигуна Д-240 під час експлуатації перебуває під дією комплексу навантажень, до яких належать сили тиску газів, відцентрові сили, сили інерції та навантаження від крутильних коливань. Унаслідок цього він працює в умовах постійного динамічного впливу та зазнає деформацій кручення.

Шатунні й корінні шийки колінчастого вала утворюють рухомі спряження з підшипниками ковзання. Поверхні, що взаємодіють зі шківом, шестернями та фланцями, належать до нерухомих спряжень. Тривала дія змінних навантажень призводить до поступового зношування як рухомих, так і нерухомих з'єднань, а також до спрацювання шпонкових пазів.

2.2 Дефектування деталей

Основним завданням дефектування є встановлення технічного стану спряжених поверхонь деталей та їх подальше сортування за групами відповідно до встановлених технічних вимог.

Залежно від ступеня спрацювання, характеру та виду пошкоджень деталі поділяють на п'ять категорій, кожен з яких позначають певним кольором. До першої групи належать придатні до подальшої експлуатації деталі, які маркують зеленим кольором. До другої відносять деталі, що можуть бути використані лише у поєднанні з новими або відновленими до номінальних розмірів елементами, їх позначають жовтим кольором. Третю групу становлять деталі, які підлягають відновленню в умовах власної майстерні, і їх маркують білим кольором. До четвертої групи входять деталі, що можуть бути відновлені тільки на спеціалізованих ремонтних підприємствах; для них застосовують синє маркування. П'яту групу складають деталі, непридатні до відновлення, які позначають червоним кольором.

Пошкодження нерухомих з'єднань нерідко виникають унаслідок ударного впливу під час складання або розбирання посадок із натягом. Щоб запобігти таким дефектам, розбирання і складання подібних з'єднань слід виконувати із застосуванням наставок, виготовлених із кольорових металів. Замість ударних навантажень, що створюються молотком, доцільніше використовувати статичне зусилля преса, яке забезпечує більш рівномірний і безпечний вплив на деталь.

Посадочні поверхні під шатунні та корінні шийки колінчастого вала переважно

спрацьовуються внаслідок дії сил тертя, що виникають між контактуючими поверхнями. Зменшення інтенсивності спрацювання цих ділянок може бути досягнуте різними шляхами, зокрема підвищенням поверхневої твердості за рахунок наплавлення зносостійкими присадними матеріалами, використанням методів пластичного деформування, а також застосуванням вкладишів із матеріалів, які характеризуються нижчим коефіцієнтом тертя.

Шпонкові пази здебільшого зношуються по бічних поверхнях. Їх відновлення, як правило, виконують шляхом заварювання з подальшим нарізанням нового шпонкового паза відповідно до встановлених розмірів.

Різьбові з'єднання втрачають працездатність у результаті зриву різьби, її змінання та інших механічних пошкоджень. Для усунення таких дефектів застосовують розсвердлювання або розвертання отвору під ремонтний розмір із подальшим нарізанням нової ремонтної різьби, а також установлення різьбових спіральних вставок.

2.3 Технічні умови на відновлення колінчастого валу двигуна Д – 240

Під час механічної обробки, а також після гартування струмами високої частоти, правка колінчастого вала не допускається. Виконувати її дозволяється лише після накатування галтелей. При цьому стріла прогину в процесі правки не повинна перевищувати 1 мм.

У разі шліфування шатунних шийок необхідно обов'язково забезпечити збереження початкових радіусів кривошипа, що становлять $62,5 \pm 0,04$ мм, а також незмінність параметрів галтелей.

Шорсткість оброблених поверхонь корінних і шатунних шийок має відповідати вимогам $Ra \leq 0,32$ мкм. Допуск на округлість і профіль поздовжнього перерізу як шатунних, так і корінних шийок не повинен перевищувати 0,01 мм.

Після шліфування твердість поверхонь шийок повинна бути не нижчою за 46 HRC_э. Гартування галтелей не допускається. Після перешліфування вала під ремонтний розмір биття середньої корінної шийки відносно крайніх шийок не повинно перевищувати 0,07 мм, тоді як для нового колінчастого вала це значення має бути не більше 0,03 мм.

Відхилення від паралельності твірних поверхонь шатунних шийок відносно осі вала, встановленого на крайні корінні шийки, допускається не більше 0,03 мм на довжині 100 мм. Зміщення всіх шатунних шийок відносно діаметральної площини першої корінної та першої шатунної шийок, тобто розвал шийок після перешліфування, не повинно

перевищувати 0,3 мм.

Биття циліндричної та торцевої поверхонь фланця кріплення маховика, виміряне в крайніх точках відносно поверхонь крайніх корінних шийок, допускається до 0,05 мм, а для нового колінчастого вала — не більше 0,03 мм.

Трубки, встановлені в шатунних шийках колінчастого вала, повинні бути запресовані щільно, без будь-якого люфту. Краї розвальцьованих трубок мають бути втоплені відносно поверхні шийок на глибину 1,3 мм.

Заглушки повинні бути загвинчені в різьбу не менше ніж на 2 мм та обов'язково зашплінтовані. Зубчасте колесо колінчастого вала необхідно напресовувати міткою назовні до упору в торець корінної шийки вала.

Колінчастий вал повинен проходити динамічне балансування шляхом зняття металу з периферійної частини будь-якої щок. Допустимий залишковий дисбаланс не повинен перевищувати 900 г·мм на кожному кінці вала.

Колінчастий вал у зборі з противагами також підлягає динамічному балансуванню. Коригування маси здійснюється свердлінням противаг у радіальному напрямку отворами діаметром 10 мм на глибину не більше 25 мм. У цьому випадку залишковий дисбаланс допускається не більше 650 г·мм на кожному кінці вала.

Після завершення всіх операцій кінцевої обробки колінчасті вали необхідно контролювати за допомогою магнітного дефектоскопа для виявлення можливих поверхневих дефектів відповідно до вимог технологічних інструкцій ТИ 212-59-74 і ТИ 150.12.700.252.03.92.001. Після проведення перевірки колінчастий вал обов'язково повинен бути розмагнічений.

2.4 Способи відновлення поверхонь

У даному випадку для відновлення спрацьованих поверхонь доцільно застосовувати кілька технологічних способів, серед яких одним із найбільш ефективних є вібродугове наплавлення. Цей метод являє собою автоматизований процес наплавлення з використанням електрода, що здійснює вібраційні коливання. Наплавлення може виконуватися на повітрі, у середовищі захисного газу або в рідині.

З метою забезпечення необхідної твердості відновлених поверхонь у даній роботі доцільно прийняти найбільш поширений варіант — вібродугове наплавлення в рідині. Застосування цього способу дає змогу одержати наплавлений шар із потрібними експлуатаційними властивостями та забезпечити належну якість відновлення деталі.

Схему вібродугового наплавлення наведено на рисунку 2.1.

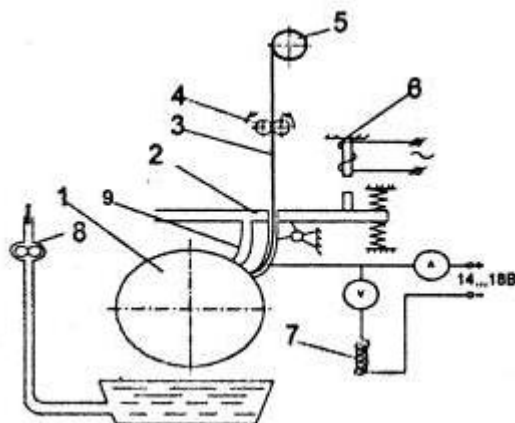


Рисунок 2.1 – Схема вібродугового наплавлення в рідинному середовищі

1 – деталь; 2 – вібруючий мундштук; 3 – електродний дріт; 4 – ролики механізму подачі;
5 – касета; 6 – вібратор; 7 – котушка самоіндукції; 8 – насос; 9 – канал подачі
охолоджувальної рідини.

Для подавання електродного дроту 3 у зону дугового розряду та створення коливальних рухів застосовують спеціальні наплавлювальні головки. Таку головку встановлюють на супорті токарного верстата. Подача дроту до мундштука здійснюється за допомогою роликів подавального механізму. Коливання електродного дроту з амплітудою 1–3 мм і частотою 50–110 Гц забезпечуються електромагнітними або механічними вібраторами.

Вібродугове наплавлення виконують на постійному струмі з напругою 14–20 В при зворотній полярності. У електричне коло послідовно вмикають регульований індуктивний опір. Подача охолоджувальної рідини в робочу зону здійснюється за допомогою насоса.

Процес вібродугового наплавлення включає три послідовно повторювані періоди, що схематично подані на рисунку 2.2: коротке замикання, горіння дуги та холостий хід.

Основна частина енергії, а саме близько 80–95 %, виділяється саме в період горіння дуги, коли відбувається плавлення електродного металу. Тривалість цього періоду становить 4–10 с. За цей час на торці електрода накопичується розплавлений метал у вигляді напівсферичної краплі. Наприкінці горіння дуги ця крапля з'єднується зі зварювальною ванною, унаслідок чого починається період короткого замикання. У цей момент сила струму в колі зростає, котушка індуктивності накопичує енергію, а електрод змінює напрямок руху та відривається від зварювальної ванни, після чого цикл повторюється і знову настає період горіння дуги.

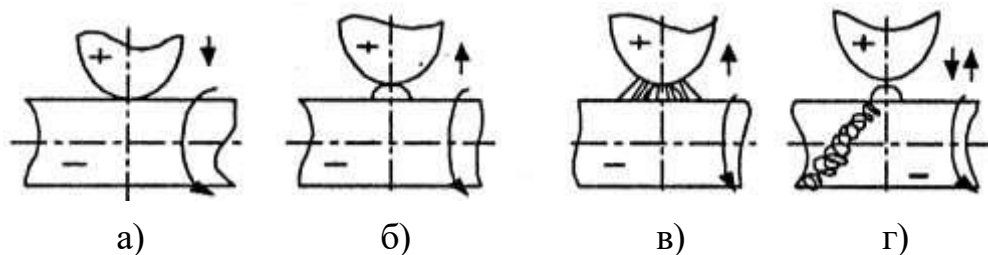


Рисунок 2.2 – Схема формування валика при вібродуговому наплавленні: а) коротке замикання; б) відрив електрода; в) горіння дуги; г) холостий хід

Під час зниження сили струму індуктивність кола віддає накопичену енергію, унаслідок чого виникає електрорушійна сила самоіндукції та підвищується напруга на електродах. Це забезпечує стійке горіння дуги навіть за напруги джерела живлення 12–22 В, тоді як напруга горіння дуги становить 30–35 В. Вібродугове наплавлення може виконуватися на постійному, змінному або комбінованому струмі, однак найкраща якість наплавленого шару досягається при використанні постійного струму зворотної полярності. Безперервне охолодження та переривчастий характер процесу зменшують глибину термічного впливу до 1–3 мм і знижують деформацію деталі. Якість наплавлення залежить від швидкості подачі дроту, амплітуди його коливань, індуктивності та кроку наплавлення. Для відновлення колінчастих валів також застосовують електроконтактне наплавлення, при якому з'єднання наплавленого металу з поверхнею деталі забезпечується частковим розплавленням, дифузійними процесами та тужавінням металу. Кожен цикл такого наплавлення складається з імпульсу струму та паузи, а схема установки наведена на рисунку 2.3.

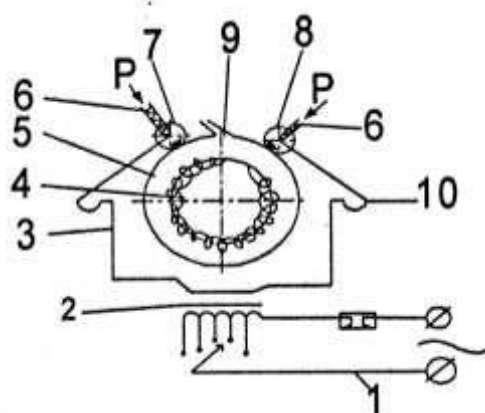


Рисунок 2.3 – Схема установки для електроконтактного наплавлення валів:

1 – переривник струму; 2 – трансформатор; 3 – вторинний контур трансформатора; 4 – деталь; 5 – наплавлений метал; 6 – пружина; 7 – контактний ролик; 8 – наплавлювальний ролик; 9 – дріт; 10 – компенсатор.

Процес електроконтактного наплавлення здійснюється за низької напруги, яка, як правило, не перевищує 7 В. Товщина наплавленого шару при цьому може становити від 0,1 до 1,0 мм. Деталь 4 установлюють у патроні токарного верстата та додатково підтримують задньою бабкою. Як джерело живлення використовується переобладнаний зварювальний трансформатор 2 з великим коефіцієнтом трансформації. Переріз вторинного контуру має бути достатнім для пропускання струму силою до 20000 А.

Необхідне зусилля притискання між деталлю 4 та електродним дротом або стрічкою 9 створюється роликами 7 і 8 за допомогою притискного механізму 6. Для забезпечення можливості наплавлення деталей різного діаметра у вторинному контурі 3 трансформатора передбачено компенсатори 10, які дають змогу переміщувати ролики та пристосовувати установку до зміни розмірів оброблюваної деталі.

Зусилля притискання ролика до поверхні деталі рекомендується визначати відповідно до встановленого співвідношення:

$$P = 100d^2 \quad (2.1)$$

де d — діаметр дроту, мм.

Тривалість імпульсів у процесі електроконтактного наплавлення, як правило, перебуває в межах 0,04–0,08 с, а тривалість пауз має забезпечувати перекриття не менше 25 % площі кожної окремої точки наплавлення.

Одним із відомих способів відновлення зношених шийок колінчастого вала є метод установлення додаткової деталі. Розглянемо два варіанти реалізації цього способу. Перший із них передбачає механічну обробку зношених шийок, виготовлення розрізних оболонок та їх подальше встановлення на відновлювані поверхні.

Принципову схему відновлення колінчастого вала методом установлення додаткових деталей наведено на рисунку 2.4.

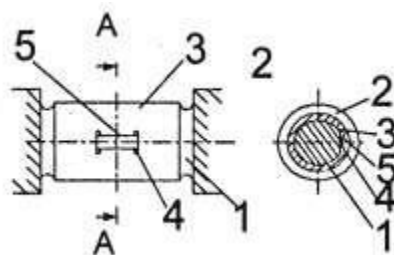


Рисунок 2.4 – Схема відновленої шийки в зборі:

1 – шийка; 2 – колінчастий вал; 3 – оболонка; 4 – перемичка; 5 – виступи

Для зменшення трудомісткості процесу відновлення колінчастого вала на поверхні

шийок виконують дві симетрично розташовані сегментні лиски, між якими залишають перегородку з опорними поверхнями, орієнтованими вздовж осі вала. У центральній частині втулки передбачають висічку з двома виступами, частково відігнутими всередину в протилежні боки. Ці виступи розміщують на відстані, що відповідає товщині перегородки між лисками. Установлення втулки на шийку колінчастого вала здійснюють таким чином, щоб торці виступів суміщалися з опорними поверхнями перегородки, забезпечуючи надійну фіксацію елемента.

Інший спосіб відновлення передбачає попередню механічну обробку зношеної шийки колінчастого вала, підготовку посадочних місць під кріпильні елементи, виготовлення змінної розрізної тонкостінної втулки, її встановлення на шийку та подальше механічне закріплення за допомогою спеціальних кріпильних деталей. Схему відновленої шийки в зборі за цим способом наведено на рисунку 2.5.

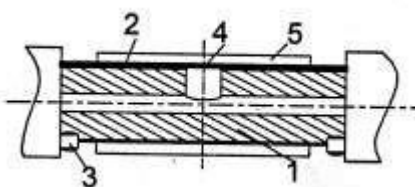


Рисунок 2.5 – Схема відновленої шийки колінчастого вала:

1 – шийка; 2 – пружна втулка; 3 – штифт; 4 – отвір; 5 – вкладиш.

З метою підвищення технологічності способу відновлення та забезпечення більшої надійності колінчастого вала втулку виготовляють методом навивання пружної стрічки в рулон. При цьому діаметр одержаної втулки повинен бути меншим за діаметр шийки вала. Під час установлення пружної втулки на шийку колінчастого вала початкову ділянку навивки стрічки розміщують перед місцем стику кінців оболонки за напрямком обертання вала. Таке конструктивне виконання сприяє підвищенню міцності з'єднання та покращує надійність роботи відновленої деталі.

2.5 Розрахунок і вибір режимів виконання технологічних операцій

Схему вібродугового наплавлення наведено на рисунку 2.1. На даному етапі необхідно визначити технологічну послідовність відновлення поверхонь, а також установити й розрахувати основні режими наплавлення.

Для відновлення поверхонь 5 і 6 приймаємо наплавлювальний дріт марки Св-08Г2 за ГОСТ 2246–70 діаметром $d_{др} = 1,8$ мм. Довжина наплавлюваних поверхонь становить: для поверхні 6 — 26 мм, для поверхні 5 — 28 мм. Ширина наплавлення шпонкових пазів

дорівнює: $b_6 = 8$ мм і $b_5 = 8$ мм. Товщина шару наплавленого металу приймається $h = 1,5$ мм.

Кількість проходів, необхідних для заварювання шпонкових пазів, визначають за формулою:

$$i = \frac{t \cdot b}{2 \cdot h_n \cdot \eta_n} \quad (2.2)$$

де b — ширина зони наплавлення, мм;

t — глибина наплавленого шару, мм; згідно з технічними вимогами на відновлення деталі приймаємо $t_6 = t_5 = 10$ мм;

η_n — коефіцієнт, що враховує нерівномірність форми наплавленого валика; у розрахунках приймається $\eta_n = 0,75$.

$$l_6 = 8 \cdot \frac{10}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 36$$

$$i_s = 8 \cdot \frac{10}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 36$$

Для заварювання шпонкових пазів приймається ручна подача. Швидкість наплавлення встановлюється на рівні $v_n = 1,5$ м/хв, а швидкість подачі електродного дроту — $v_{\pi} = 1,5$ м/хв.

Для наплавлення поверхонь 4, 3 і 2 обираємо наплавлювальний дріт марки Св-18ХГС за ГОСТ 2246–70 діаметром $d_{\text{др}} = 1,8$ мм. Довжина наплавлюваних поверхонь становить: для поверхні 4 — 26 мм, для поверхні 3 — 22 мм, для поверхні 2 — 28 мм.

Товщину шару наплавленого металу визначають за відповідною формулою:

$$h_n = c + a \quad (2.3)$$

де c — величина зношування поверхні понад допустиму межу, мм; у розрахунках приймаємо $c = 0,10$ мм;

a — припуск на механічну обробку після наплавлення, мм; приймаємо $a = 0,90$ мм.

Отже, необхідна товщина наплавленого шару дорівнює:

$$h_n = 0,10 + 0,90 = 1,0 \text{ мм}$$

Після цього кількість проходів наплавлення визначають за відповідною формулою:

$$i = \frac{h_n}{h_0} \quad (2.4)$$

де h_0 — раціональна товщина шару металу, що може бути нанесена за один прохід наплавлення без порушення якості сформованого шару; у даному випадку приймається $h_0 = 1$ мм.

$$i = \frac{1,0}{1,0} = 1$$

Відповідно до довідникової літератури [2], у розрахунках використовуємо такі параметри.

- Сила струму: $I = 140 \text{ A}$;
- Напруга: $U = 16 \text{ В}$;
- Крок наплавки: $S_H = 1,8 \text{ мм/об}$;
- Швидкість подачі електродного дроту: $V_H = 1,5 \text{ м/хв}$;
- Швидкість наплавлення: $V_H = 1,5 \text{ м/хв}$.

Розраховуємо частоту обертання колінчастого вала при здійсненні наплавки:

$$n_4 = 318 \frac{V_H}{d_{e.H.}} \quad (2.5)$$

$$n_4 = 318 \frac{1,5}{106} = 4,5$$

$$n_3 = 318 \frac{1,5}{71} = 6,72$$

$$n_2 = 318 \frac{1,5}{70} = 6,8$$

Для поверхні 4, поверхні 3 та поверхні 2 розрахунок виконують окремо. З урахуванням технічних характеристик верстата приймають найближчі паспортні значення частоти обертання деталі: для поверхні 4 — 5 об/хв, а для поверхонь 3 і 2 — 7,5 об/хв.

Відповідно до прийнятих значень частоти обертання визначають дійсну швидкість наплавлення:

$$V_{д4} = \frac{n_{4Д} \cdot d_4}{318} \quad (2.6)$$

$$V_{д4} = \frac{5 \cdot 106}{318} = 1,67$$

$$V_{д4} = \frac{7,5 \cdot 71}{318} = 1,67$$

$$V_{д4} = \frac{7,5 \cdot 70}{318} = 1,65$$

Операція електроконтактного наплавлення. Схему установки для електроконтактного наплавлення наведено на рисунку 2.3. На цьому етапі необхідно встановити та розрахувати основні параметри режиму наплавлення. Довжина, ширина і товщина заварювання шпонкових пазів приймаються відповідно до попередньої

наплавлювальної операції. Довжина наплавлення та кількість проходів для відновлення поверхонь 2, 3 і 4 також визначаються відповідно до раніше прийнятих параметрів наплавлення.

Для виконання електроконтактного наплавлення приймаємо такі режими:

- сила струму $I = 20$ кА;
- напруга $U = 1,2$ В;
- тиск ролика 60 МПа;
- крок наплавлення $S_H = 3,5$ мм/об;
- швидкість подачі електродної стрічки $V_H = 1,2$ м/хв;
- швидкість наплавлення $V_H = 0,2$ м/хв;
- наплавлювальна стрічка розміром $1,6 \times 4$ мм, марки Св-08Г2, згідно з ГОСТ

10453–75.

Після прийняття вихідних параметрів визначаємо кількість проходів, необхідних для заварювання шпонкових пазів:

$$i = \frac{b \cdot t}{t_c \cdot b_c \cdot \eta_n} \quad (2.7)$$

$$i_6 = \frac{8 \cdot 10}{1,6 \cdot 4 \cdot 0,8} = 15,6 \text{ приймаємо } i_6 = 16$$

$$i_5 = \frac{8 \cdot 10}{1,6 \cdot 4 \cdot 0,8} = 15,6 \text{ приймаємо } i_5 = 16$$

Частоту обертання колінчастого вала в процесі наплавлення визначаємо за формулою:

$$\text{Для 4 поверхні розрахунок виглядає: } n_4 = \frac{0,2}{106} 318 = 0,6;$$

$$\text{Для 3 поверхні розрахунок має вигляд: } n_3 = \frac{0,2}{71} 318 = 0,9;$$

$$\text{Для 2 поверхні розрахунок виглядає: } n_2 = \frac{0,2}{70} 318 = 0,6.$$

Відповідно до технічних характеристик верстата приймаємо мінімально можливу паспортну частоту обертання деталі, яка для поверхонь 2, 3 і 4 становить 2,5 об/хв. Отже, приймаємо: $n_{д4} = n_{д3} = n_{д2} = n_{дmin} = 2,5$ об/хв.

Дійсну швидкість наплавлення визначаємо:

$$V_{д4} = \frac{2,5 \cdot 106}{318} = 0,83$$

Операція токарної обробки. Для виконання токарної операції насамперед визначають припуск на обробку, який у даному випадку відповідає глибині різання:

$$h = \frac{D-d}{2} \quad (2.8)$$

де D — діаметр вала до виконання механічної обробки, мм;

d — діаметр вала після обробки, мм.

$$h_4 = \frac{108 - 106,6}{2} = 0,7$$

$$h_3 = \frac{73 - 71,6}{2} = 0,7$$

$$h_2 = \frac{72 - 70,6}{2} = 0,7$$

Число проходів, необхідних для виконання токарної обробки, визначаємо за відповідною формулою:

$$i = \frac{h}{t} \quad (2.9)$$

де t — величина глибини різання, що приймається для даної операції механічної обробки, мм.

$$t = \frac{0,7}{0,7} = 1$$

Згідно з паспортними даними верстата подачу приймаємо $S = 0,8$ мм/об. Швидкість різання при розточуванні, за даними довідкової літератури, становить $V = 131$ м/хв. На основі прийнятих параметрів визначаємо частоту обертання колінчастого вала під час розточування.

$$n_4 = 318 \frac{131}{108} = 393$$

$$n_3 = 318 \frac{131}{73} = 586,7$$

$$n_2 = 318 \frac{131}{72} = 595$$

Відповідно до паспортних даних верстата приймаємо найближчі допустимі значення частоти обертання колінчастого вала: для поверхні 4 — 380 об/хв, а для поверхонь 3 і 2 — 600 об/хв. На основі прийнятих параметрів далі визначаємо фактичну швидкість різання під час розточування.

$$V_{д4} = \frac{380 \cdot 108}{318} = 129$$

$$V_{д3} = \frac{380 \cdot 73}{318} = 139$$

$$V_{d2} = \frac{380 \cdot 72}{318} = 136$$

Операція фрезерної обробки. Для формування сегментного шпонкового паза доцільно застосовувати дискові фрези. Під час нарізання шпонкових пазів вихідні параметри обробки приймають згідно з паспортними даними верстата. У розрахунку використовують такі значення: подача 0,80 мм/об, частота обертання фрези 272 об/хв, швидкість різання 51 м/хв, діаметр фрези 28 мм, ширина фрези для поверхонь 5 і 6 — 8 мм.

Глибину різання, що відповідає припуску на обробку, визначають на підставі технічних вимог до відновлення деталі: $h_6 = h_5 = 10$ мм.

Відповідно до паспортних характеристик верстата приймаємо найближчу частоту обертання фрези: $n_d = 300$ об/хв.

Після вибору частоти обертання фрези визначаємо дійсну швидкість різання при фрезеруванні шпонкових пазів:

$$V_d = \frac{300 \cdot 28}{318} = 26,5$$

Операція шліфувальна. Для виконання шліфувальної обробки попередньо визначають припуск на шліфування, який розраховують за встановленою формулою:

$$h = \frac{D-d}{2} \quad (2.10)$$

де D — діаметр вала перед виконанням обробки, мм;

d — діаметр вала після завершення обробки, мм.

$$h_4 = \frac{106,6 - 106}{2} = 0,3$$

$$h_3 = \frac{71,6 - 71}{2} = 0,3$$

$$h_2 = \frac{70,6 - 70}{2} = 0,3$$

Для виконання шліфувальної операції глибину різання приймають за довідковими даними, у даному випадку $t = 0,005$ мм. Довжина поверхонь, що підлягають шліфуванню, становить: $L_4 = 26$ мм, $L_3 = 22$ мм, $L_2 = 28$ мм.

Оскільки ширина шліфувального круга більша за довжину оброблюваних ділянок, шліфування проводять методом врізання, без застосування поздовжньої подачі. Таким чином, поздовжня подача дорівнює нулю, а поперечна подача на один оберт приймається

0,005 мм/об.

Швидкість обертання деталі при шліфуванні, за рекомендаціями довідкової літератури, може становити від 15 до 25 м/хв. Для подальших розрахунків приймаємо значення 20 м/хв. На основі цього визначають частоту обертання колінчастого вала при шліфуванні.

$$n_n = \frac{v}{d_n} \quad (2.11)$$

$$n_4 = 318 \frac{20}{106,6} = 59,7$$

$$n_3 = 318 \frac{20}{71,6} = 88,8$$

$$n_2 = 318 \frac{20}{70,6} = 90,1$$

Згідно з технічними характеристиками верстата для подальших розрахунків приймаємо найближчу паспортну частоту обертання деталі: $n_4 = 64$ об/хв, $n_{д3} = n_{д2} = 115$ об/хв.

На підставі прийнятого значення частоти обертання визначаємо фактичну швидкість шліфування:

$$V_{д4} = \frac{106,6 \cdot 64}{318} = 21,5$$

$$V_{д3} = \frac{71,6 \cdot 115}{318} = 25,9$$

$$V_{д2} = \frac{70,6 \cdot 115}{318} = 25,5$$

2.6 Нормування операцій розробленого технологічного процесу

Операція вібродугового наплавлення. Тривалість основного часу на виконання заварювання шпонкових пазів 5 та 6 розраховуємо за встановленою формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{1000 \cdot V_H} \quad (2.12)$$

де L — довжина наплавлюваної ділянки поверхні, мм;

i — число проходів, необхідних для виконання наплавлення;

V_H — швидкість виконання наплавлювальної операції.

$$T_{o6} = \frac{26 \cdot 36}{1000 \cdot 1,5} = 0,624$$

$$T_{o5} = \frac{28 \cdot 36}{1000 \cdot 1,5} = 0,672$$

Сумарний основний час на виконання заварювання шпонкових пазів, хв:

$$T'_o = T_{o6} + T_{o5} \quad (2.13)$$

$$T'_o = 0,624 + 0,672 = 1,296$$

Тривалість основного часу на виконання наплавлення поверхонь 4, 3 та 2 розраховуємо за відповідною формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S_M} \quad (2.14)$$

де n — частота обертання відновлюваної деталі під час наплавлення, об/хв;

S_M — величина поздовжньої подачі мундштука, що відповідає кроку наплавлення, мм/об.

$$T_{o4} = \frac{26 \cdot 1}{5 \cdot 1,8} = 1,9$$

$$T_{o3} = \frac{22 \cdot 1}{7,5 \cdot 1,8} = 1,6$$

$$T_{o2} = \frac{28 \cdot 1}{7,5 \cdot 1,8} = 2,1$$

Сумарний основний час на виконання наплавлення поверхонь 4, 3 та 2, хв:

$$T''_o = T_{o4} + T_{o3} + T_{o2} \quad (2.15)$$

$$T''_o = 1,9 + 1,6 + 2,1 = 5,6 \text{ хв}$$

Сумарний основний час, необхідний для виконання даної операції, хв:

$$T_o = T'_o + T''_o \quad (2.16)$$

$$T_o = 1,296 + 5,6 = 6,896 \text{ хв}$$

До складу допоміжного часу входить час на встановлення та зняття деталі, який приймається 1,5 хв, а також час, пов'язаний безпосередньо з виконанням технологічних переходів наплавлення поверхонь 6, 5, 4, 3 і 2. Для кожного переходу цей час становить 0,9 хв, тому сумарно: $T_{д2} = 0,9 \cdot 5 = 4,5 \text{ хв}$.

Таким чином, загальний допоміжний час на виконання операції визначають як суму зазначених складових:

$$T_d = T_{д1} + T_{д2} \quad (2.17)$$

$$T_d = 1,5 + 4,5 = 6$$

Оперативний час, хв:

$$T_{оп} = T_o + T_d \quad (2.18)$$

$$T_{оп} = 6,896 + 6 = 12,896 \text{ хв}$$

Додатковий час, хв:

$$T_{\text{дод}} = 0,15 \cdot T_{\text{оп}} \quad (2.19)$$

$$T_{\text{дод}} = 0,15 \cdot 12,896 = 1,934 \text{ хв}$$

Штучний час, хв:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.20)$$

$$T_{\text{шт}} = 12,896 + 1,934 = 14,831 \text{ хв}$$

Норма часу на дану операцію, хв:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{шк}} - T_{\text{шт}} + T_{\text{пз}}/n \quad (2.21)$$

де $T_{\text{пз}}$ — час на підготовчо-заклучні роботи; відповідно до довідкової літератури його значення приймають 20 хв.

$$T_{\text{н}} = T_{\text{шк}} = 14,83 \cdot 1 + \frac{20}{10} = 16,831 \text{ хв}$$

Операція електроконтактної наплавки. Тривалість основного часу на заварювання шпонкових пазів визначаємо в хвилинах:

$$T_{\text{о6}} = \frac{26 \cdot 16}{1000 \cdot 3,5} = 0,112$$

$$T_{\text{о5}} = \frac{28 \cdot 16}{1000 \cdot 3,5} = 0,128$$

Сумарний основний час на виконання заварювання шпонкових пазів, хв:

$$T'_0 = 112 + 0,128 - 0,24$$

Тривалість основного часу на виконання наплавлення поверхонь 4, 3 та 2, хв:

$$T_{\text{о4}} = \frac{26 \cdot 1}{2,5 \cdot 3,5} = 2,98$$

$$T_{\text{о3}} = \frac{22 \cdot 1}{2,5 \cdot 3,5} = 2,514$$

$$T_{\text{о2}} = \frac{28 \cdot 1}{2,5 \cdot 3,5} = 3,2$$

Сумарний основний час на виконання наплавлення поверхонь 4, 3 та 2, хв:

$$T''_0 = 2,98 + 2,514 + 3,2 = 8,694$$

Сумарний основний час, необхідний для виконання даної операції, хв:

$$T_0 = 8,694 + 0,24 = 8,934 \text{ хв}$$

До допоміжного часу входить час на встановлення та зняття деталей, який становить 1,5 хв, а також час, пов'язаний із виконанням технологічних переходів наплавлення поверхонь 6, 5, 4, 3 і 2. Для кожного переходу приймається 0,9 хв, тому загальна величина

цього часу дорівнює: $T_{d2} = 0,9 \cdot 5 = 4,5$ хв.

$$T_d = 1,5 + 4,5 = 6 \text{ хв}$$

Оперативний час на виконання операції, хв:

$$T_{оп} = 8,934 + 6 = 14,934 \text{ хв}$$

Додатковий час, хв:

$$T_{дод} = 0,15 \cdot 14,934 = 2,24 \text{ хв}$$

Штучний час, необхідний для виконання операції, хв:

$$T_{шт} = 14,934 + 2,24 = 17,174 \text{ хв}$$

Норма часу, необхідна для виконання даної операції, хв:

$$T_n = T_{шк} = 17,174 + \frac{20}{10} = 17,174 \text{ хв}$$

Операція токарної обробки. Тривалість основного часу на виконання токарної операції розраховуємо за відповідною формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \quad (2.22)$$

де L — довжина поверхні, що підлягає обробці, визначена з урахуванням додаткових ділянок врізання і перебігу інструмента, мм.

$$L = l + y \quad (2.23)$$

де l — фактична довжина оброблюваної поверхні, мм;

y — додаткова величина, що враховує врізання та перебіг інструмента; у даному випадку приймається $y = 3$ мм.

$$L_4 = 26 + 3 = 29$$

$$L_3 = 22 + 3 = 25$$

$$L_2 = 28 + 3 = 31$$

$$T_{o4} = \frac{29 \cdot 1}{380 \cdot 0,8} = 0,1$$

$$T_{o3} = \frac{25 \cdot 1}{600 \cdot 0,8} = 0,052$$

$$T_{o2} = \frac{31 \cdot 1}{600 \cdot 0,8} = 0,065$$

Згідно з нормативними даними, основний час на обробку однієї фаски $1 \times 45^\circ$ для поверхонь діаметром до 80 мм приймається рівним 0,12 хв. Тоді для відновлення фасок на поверхнях 3 та 2 загальний основний час становитиме:

$$T_o^\phi = 0,12 \cdot 3 = 0,36 \text{ хв}$$

Сумарний основний час, необхідний для виконання даної операції, хв:

$$T_o = T_{o4} + T_{o3} + T_{o2} + T_o^{\Phi} \quad (2.24)$$

$$T_o = 0,1 + 0,052 + 0,065 + 0,36 = 0,577 \text{ хв}$$

До допоміжного часу входить час на встановлення та зняття деталі, який становить 1,75 хв, а також час, пов'язаний із виконанням окремих технологічних переходів. Для трьох переходів цей час визначається як: $T_{д3} = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ хв}$.

Загальний допоміжний час на операцію, хв:

$$T_d = 1,75 + 2,1 + 0,6 = 4,45$$

Оперативний час на виконання операції, хв:

$$T_{оп} = 0,577 + 4,45 = 5,027 \text{ хв}$$

Додатковий час, хв:

$$T_{дод} = 0,08 \cdot 5,027 = 0,402 \text{ хв}$$

Штучний час, необхідний для виконання операції, хв:

$$T_{шт} = 5,027 + 0,402 = 5,429 \text{ хв}$$

Норма часу, необхідна для виконання даної операції, хв:

$$T_n = T_{шк} + T_{шт} + T_{п.з.}/n \quad (2.25)$$

Де $T_{п.з.} = 15 \text{ хв}$

$$T_n = T_{шк} = 5,429 + \frac{15}{10} = 6,929 \text{ хв}$$

Операція фрезерної обробки. Тривалість основного часу на виконання фрезерної операції розраховуємо за відповідною формулою:

$$T_o = \frac{V_d \cdot h}{1000} \quad (2.26)$$

де V_d — фактична швидкість різання при фрезеруванні шпонкового паза, м/хв;

h — глибина різання, що приймається для даної операції, мм.

$$T_{o6} = \frac{26,5 \cdot 10}{1000} = 0,265$$

$$T_{o5} = \frac{26,5 \cdot 10}{1000} = 0,265$$

Сумарний основний час на виконання операції, хв:

$$T'_o = 0,265 + 0,265 = 0,53 \text{ хв}$$

Допоміжний час, хв:

а) час на встановлення та зняття деталі приймаємо $T_{д1} = 2,4 \text{ хв}$;

б) час, пов'язаний із виконанням технологічних переходів, становить $T_{д2} = 0,8 + 0,1 = 0,9$ хв;

Загальний допоміжний час на операцію, хв:

$$T_d = 2,4 + 0,9 = 3,3 \text{ хв}$$

Оперативний час на виконання операції, хв:

$$T_{оп} = 0,053 + 3,3 = 3,83 \text{ хв}$$

Додатковий час, хв:

$$T_{дод} = 0,08 \cdot T_{оп} \quad (2.27)$$

$$T_{дод} = 0,08 \cdot 3,83 = 0,306 \text{ хв}$$

Штучний час, необхідний для виконання операції, хв:

$$T_{шт} = 3,83 + 0,306 = 4,136 \text{ хв}$$

Норма часу, необхідна для виконання даної операції, хв:

$$T_n = T_{шк} = T_{шт} + T_{п.з.}/n \quad (2.28)$$

де $T_{п.з.}$ — час на підготовчо-заклучні роботи; для цієї операції його значення приймається рівним 22 хв.

$$T_n = 4,136 + \frac{22}{10} = 6,336 \text{ хв}$$

Тривалість основного часу для виконання даної операції розраховуємо за відповідною формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S_{поп}} \cdot K_3 \quad (2.29)$$

де L — величина врізання при шліфуванні врізним методом, мм; для поверхонь 2, 3 і 4 вона приймається однаковою і становить 0,3 мм;

$S_{поп}$ — поперечна подача круга на один оберт деталі, 0,005 мм/об;

n — частота обертання колінчастого вала, об/хв; у розрахунках приймаємо: для поверхні 4 — 64 об/хв, для поверхонь 3 і 2 — 115 об/хв;

K_3 — коефіцієнт, що враховує запасні ходи; його значення приймають у межах 1,2–1,7.

Отже, маємо:

$$T_{o4} = \frac{0,3}{64 \cdot 0,0005} \cdot 1,5 = 1,4$$

$$T_{o3} = T_{o2} = \frac{0,3}{115 \cdot 0,005} \cdot 1,5 = 0,78$$

Сумарний основний час на виконання шліфувальної операції, хв:

$$T_o = 1,4 + 0,78 + 0,78 = 2,96 \text{ хв}$$

До допоміжного часу входить час на встановлення та зняття деталі, який становить 3,2 хв, а також час, пов'язаний із виконанням технологічного переходу. У даному випадку його визначають за виразом: $T_{д2} = 1,2 + 2 = 0,7 \text{ хв}$.

Загальний допоміжний час на операцію, хв:

$$T_d = 3,2 + 2,6 = 5,8 \text{ хв}$$

Оперативний час на виконання операції, хв:

$$T_{оп} = T_o + T_{дод} \quad (2.30)$$

$$T_{оп} = 2,96 + 5,8 = 8,76$$

Додатковий час, хв:

$$T_{дод} = 0,09 \cdot T_{оп} \quad (2.31)$$

$$T_{дод} = 0,09 \cdot 8,76 = 0,79 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час на виконання операції, хв: $T_{п.з.} = 8 \text{ хв}$.

Норма часу, необхідна для виконання даної операції, хв:

$$T_n = 8,76 + 0,79 + \frac{8}{10} = 10,35 \text{ хв}$$

Повний час технологічного процесу відновлення колінчастого вала отримують шляхом підсумовування норм часу за всіма операціями, що входять до складу процесу.

$$T_{шк}^p = 16,831 + 6,929 + 6,336 + 10,35 = 40,446 \text{ хв}$$

$$T_{шк}^б = 19,174 + 6,929 + 6,336 + 10,35 = 42,789 \text{ хв}$$

2.7 Обґрунтування вибору пристрою, що проектується

У виробничому циклі капітального ремонту автотракторної техніки, її агрегатів і окремих вузлів важливе місце посідає процес дефектування, оскільки саме він забезпечує відбір значної кількості деталей для повторного використання. За практичними даними, після проведення якісної дефектації ремонтні підприємства можуть повторно використовувати близько 60–70 % деталей.

Основним призначенням дефектування є встановлення технічного стану деталей у момент надходження машин і агрегатів на ремонт. Для прийняття обґрунтованого рішення щодо подальшого використання кожної деталі керуються чинними нормативно-технічними документами, розробленими для конкретного виду та об'єкта ремонту. Порівняння фактичних параметрів, отриманих шляхом вимірювання або іншими методами контролю, з нормативними значеннями дає змогу виявити наявні дефекти та

оцінити придатність деталі до подальшої експлуатації чи відновлення.

У технічних вимогах на дефектування, як правило, передбачають два основних критерії оцінювання технічного стану деталей. Перший — це критерій допустимості подальшого використання, за яким деталь може забезпечити працездатність до наступного ремонту. Другий — критерій граничного стану, при досягненні якого встановлення деталі на машину вже не допускається. У такому випадку деталь або підлягає відновленню, якщо це технічно можливо та економічно виправдано, або замінюється новою запасною частиною.

Кількість придатних для подальшого використання деталей, їх якісний стан, а також трудомісткість дефектувальних, розбиральних і складальних робіт значною мірою залежать від рівня організації процесу дефектування, застосованої технології та ефективності використовуваного обладнання. Такі дефекти, як тріщини, пробоїни, деформації, овальність та інші пошкодження, часто неможливо виявити без використання спеціальних пристроїв, контрольних приладів і стендів. Недостатньо точне визначення технічного стану деталей може призвести до їх повторного встановлення в агрегати, внаслідок чого вони швидко виходять з ладу, що негативно впливає на надійність відремонтованої техніки.

Практика передових ремонтних підприємств підтверджує, що вдосконалення технології дефектувальних робіт і застосування сучасних засобів механізації дають змогу збільшити обсяг повторного використання деталей до 25 %, а також знизити собівартість ремонту приблизно на 5–6 %. Отже, правильна організація дефектувальних операцій має суттєвий вплив на тривалість ремонту, його трудомісткість і загальну якість відновлення машин та агрегатів.

Використання спеціальних пристроїв, контрольних стендів і механізованих установок у процесі дефектування сприяє підвищенню продуктивності праці, точності контролю, збереженню деталей, розширенню технологічних можливостей обладнання, а також покращенню умов і безпеки праці. Саме тому в ремонтному виробництві дедалі ширше застосовуються спеціалізовані пристрої та установки з механізованим приводом.

У зв'язку з цим виникає потреба у розробленні та впровадженні спеціальної установки, призначеної для перевірки овальності шийок колінчастого вала Д-240, а також для контролю величини його прогину.

2.8 Опис конструкції та умови роботи установки

Характеристика установки:

- установка за конструктивним виконанням належить до мобільного типу;
- як робочий орган використовується комплект індикаторних пристроїв, що забезпечує можливість перевірки колінчастих валів різних двигунів.

Опис конструкції. Запропонований пристрій виконаний у вигляді зварного каркаса, виготовленого зі стандартних кутникових профілів і підсиленого ребрами жорсткості. На верхній частині каркаса встановлено два важелі, які жорстко закріплені, але мають можливість переміщення в горизонтальному напрямку. Опора важелів здійснюється через балансири пружини.

Кінці важелів обладнані роликами, що забезпечують вільне обертання колінчастого вала під час контролю. У нижній частині кронштейна розташовані рухомі опори, призначені для підтримування вала та забезпечення його обертання навколо осі. Регулювання висоти цих опор виконується гвинтовим механізмом.

У верхній зоні пристрою розміщено три блоки вимірювальних приладів, виконаних на базі індикаторів годинникового типу. Кожен індикатор через систему важелів безпосередньо контактує з поверхнею колінчастого вала, що дозволяє контролювати овальність шийок і величину прогину з необхідною точністю.

Умови роботи пристрою. Запропонований пристрій призначений для дефектування колінчастих валів двигунів різних типів. Його основним призначенням є перевірка прогину колінчастого вала та визначення овальності корінних і шатунних шийок.

Під час виконання контролю колінчастий вал установлюється на систему важелів та опор, що забезпечують можливість його вільного обертання як по корінних, так і по шатунних шийках залежно від виду вимірювання. У верхній частині конструкції змонтовані вимірювальні пристрої, які дозволяють з достатньою точністю контролювати прогин вала та геометричний стан його шийок.

2.9 Розрахунок циліндричної гвинтової пружини на стискання

Розглядається циліндрична пружина стиску, на яку діє осьова сила F . Для проведення розрахунку приймаємо такі позначення: $D = 2R$ — середній діаметр витка пружини; $d = 2r$ — діаметр дроту пружини; F — навантаження стиску; n — число робочих витків; G — модуль зсуву матеріалу пружини.

Вихідними даними для розрахунку є: $D = 56$ мм, $d = 4$ мм, $F = 0,25$ кН.

Тоді умова міцності пружини записується у вигляді:

$$\tau_{max} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau] \quad (2.32)$$

$$[\tau] = 20 \text{ МПа [18]}$$

$$\tau_{max} = \frac{8 \cdot 0,25 \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^3} = 557324,84 \text{ Па} \approx 0,5 \text{ МПа}$$

Отримані результати свідчать про те, що умова міцності пружини виконується, а отже її робота під дією заданого навантаження є надійною.

2.10 Розрахунок опорних валів

Опорні вали в процесі роботи зазнають дії зрізувальних навантажень, які виникають унаслідок моменту, створюваного вагою колінчастого вала. Виходячи з умови забезпечення необхідної міцності, визначають потрібний діаметр опорного вала.

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}} \quad (2.33)$$

де $[\tau]$ — допустиме напруження на зріз, МПа;

Залежно від умов роботи та властивостей матеріалу його значення приймають у межах 10–20 МПа.;

$$d = \sqrt[3]{\frac{87,5}{0,2 \cdot 25 \cdot 10^6}} = 0,0259 \text{ м} \approx 26 \text{ мм}$$

З урахуванням конструктивних особливостей пристрою діаметр опорного вала приймаємо $d = 30 \text{ мм}$.

2.11 Технічні умови на виготовлення основних деталей та вузлів пристрою

Вали і опори пристрою слід виготовляти зі сталі 45 відповідно до вимог ГОСТ 1050-88 та ДСТУ 7809:2015. Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей ці деталі мають проходити термічну обробку нормалізацією з досягненням твердості 38–46 HRC.

Пружини необхідно виготовляти зі спеціальної пружинної сталі. Основні деталі конструкції також доцільно виконувати зі сталі 45. Опорний каркас рекомендується виготовляти із сірого чавуну СЧ15 згідно з ДСТУ 8833:2019 (ГОСТ 1412-85). Конструкцію каркаса приймають зварною, а зварні шви повинні відповідати вимогам ГОСТ 5264-88. При цьому катети швів мають бути не меншими за товщину зварюваних деталей, а дефекти типу пропалів і непроварів не допускаються.

Зовнішні необроблені поверхні пристрою слід покривати світло-зеленою емаллю ПФ-115 по ґрунту ГФ-020. Робочі та рухомі поверхні також повинні мати захисне

лакофарбове покриття, виконане із застосуванням емалі ПФ-115 по ґрунту ГФ-020.

Є ще можливість зробити цей фрагмент у вигляді технічних вимог пунктами, щоб він виглядав як готовий текст для конструкторського розділу.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальна характеристика умов праці під час відновлення колінчастого валу

Відновлення колінчастого валу автотракторних двигунів належить до робіт підвищеної відповідальності, оскільки під час виконання технологічного процесу застосовуються металообробні верстати, абразивний інструмент, підіймально-транспортні засоби, контрольно-вимірювальні пристрої та електрообладнання. Відповідно до Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний створити на кожному робочому місці безпечні й нешкідливі умови праці [1]. Загальні вимоги до безпечного використання інструменту та пристроїв під час виконання ремонтних робіт регламентуються чинними правилами охорони праці [2]. Закон України «Про охорону праці» визначає загальні правові, організаційні та соціально-економічні основи охорони праці в Україні. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями затверджені наказом Міністерства енергетики України № 966 від 19.12.2013 р.

Основною метою розділу охорони праці є визначення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час виконання робіт із відновлення колінчастого валу, а також розробка організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів для запобігання травматизму та професійним захворюванням.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», охорона праці спрямована на забезпечення безпечних і здорових умов праці працівників у процесі трудової діяльності, а роботодавець зобов'язаний створити належні умови праці на кожному робочому місці. Тому під час організації ремонтної ділянки необхідно передбачити комплекс заходів, які забезпечують безпечне виконання всіх операцій технологічного процесу.

До основних робіт, що виконуються під час відновлення колінчастого валу, належать:

1. зовнішнє очищення та миття деталей;
2. візуальний контроль і дефектація;
3. перевірка биття, овальності та конусності шийок;
4. шліфування корінних і шатунних шийок;
5. полірування робочих поверхонь;
6. контроль якості відновлених поверхонь;
7. транспортування вала між робочими місцями;

8. встановлення вала на пристрій для перевірки овальності шийок.

Під час виконання зазначених операцій працівник може зазнавати впливу рухомих частин верстатів, абразивного пилу, шуму, вібрації, охолоджувально-мастильних рідин, електричного струму, підвищеного фізичного навантаження та небезпеки падіння важких деталей.

3.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час контролю овальності шийок колінчастого валу працівник може зазнавати впливу механічних небезпек, шуму, вібрації, абразивного та металевого пилу, мастильно-охолоджувальних рідин і електричного струму. Особливу небезпеку становлять рухомі частини верстатів, обертання деталі, абразивний круг, а також можливе падіння важкого колінчастого валу при його неправильному встановленні на опори пристрою [2; 7]. Під час проєктування або вдосконалення пристрою необхідно враховувати принципи оцінювання та зменшення ризиків, установлені стандартом ДСТУ EN ISO 12100:2016 [7]. Цей стандарт визначає принципи оцінювання ризику й зменшення ризиків під час проєктування машин і обладнання:

Механічні небезпеки. До них належать обертальні частини шліфувального верстата, рухомі елементи пристроїв, абразивні круги, затискні механізми, а також сама деталь, яка має значну масу. Недостатнє закріплення колінчастого валу може призвести до його зміщення, падіння або травмування працівника.

Підвищений рівень шуму. Шум виникає під час роботи шліфувального обладнання, електродвигунів, вентиляційних установок, компресорів та іншого ремонтного устаткування. Санітарні норми виробничого шуму встановлюють вимоги до оцінювання шумового навантаження на працівників, а максимальний рівень шуму, що коливається в часі, не повинен перевищувати 110 дБА .

Вібрація. Вібраційний вплив виникає під час роботи шліфувальних і полірувальних машин, а також при обробці деталей із порушеним балансуванням. Тривалий вплив вібрації може спричинити втому, зниження точності рухів і погіршення самопочуття працівника.

Абразивний і металевий пил. Під час шліфування шийок колінчастого валу утворюються дрібні частинки металу та абразиву. Вони можуть потрапляти в органи дихання, очі, на шкіру, а також осідати на поверхнях обладнання. Тому робочі місця повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією.

Небезпека ураження електричним струмом. Ремонтна дільниця містить електрифіковане обладнання: верстати, електродвигуни, освітлювальні прилади, вентиляційні системи, переносний електроінструмент. Порухення ізоляції, несправне заземлення або використання пошкодженого кабелю може призвести до ураження працівника електричним струмом.

Контакт із мастильно-охолоджувальними рідинами. Під час шліфування використовуються охолоджувальні рідини, які зменшують температуру оброблюваної поверхні та запобігають припиканню металу. Проте тривалий контакт із такими речовинами може викликати подразнення шкіри, тому необхідно застосовувати захисні рукавиці та дотримуватися правил особистої гігієни.

Підвищене фізичне навантаження. Колінчасті вали автотракторних двигунів мають значну масу, тому їх переміщення вручну є небезпечним. Для транспортування необхідно використовувати кран-балки, талі, візки, підставки або інші підіймально-транспортні засоби.

Вимоги безпеки до робочого місця. Робоче місце для контролю та відновлення колінчастого валу повинно бути організоване таким чином, щоб працівник мав вільний доступ до обладнання, пристрою для перевірки овальності шийок, інструменту та вимірювальних засобів. Проходи між обладнанням повинні бути вільними, не захащеними деталями, тарою, інструментом або відходами виробництва.

Підлога на дільниці повинна бути рівною, неслизькою, стійкою до дії мастильних матеріалів і легко очищуватися від забруднень. У місцях можливого проливання мастильно-охолоджувальних рідин необхідно використовувати піддони або спеціальні решітки.

Робоче місце повинно бути забезпечене:

- справним верстатним обладнанням;
- пристроєм для надійного встановлення та фіксації колінчастого валу;
- контрольно-вимірювальними інструментами;
- місцевим освітленням;
- витяжною вентиляцією;
- засобами індивідуального захисту;
- інструкціями з охорони праці;
- первинними засобами пожежогасіння.

Особливу увагу необхідно приділяти справності пристрою для перевірки овальності шийок. Усі опорні поверхні, центрувальні елементи, індикаторні стійки, затискні гвинти та напрямні повинні бути надійно закріплені й не мати пошкоджень. Перед початком роботи необхідно перевірити стійкість пристрою, плавність переміщення вимірювальних елементів і правильність встановлення індикатора.

3.3 Вимоги безпеки під час роботи з пристроєм для перевірки овальності шийок

Розроблений пристрій для перевірки овальності шийок колінчастого валу призначений для контролю відхилень форми робочих поверхонь після дефектації або механічної обробки. Його застосування дозволяє підвищити точність вимірювання, зменшити трудомісткість контролю та знизити ймовірність помилок під час визначення технічного стану деталі.

Під час роботи з пристроєм необхідно дотримуватися таких вимог:

1. Перед початком роботи з пристроєм необхідно перевірити справність опор, затискних елементів, індикаторної головки, кронштейнів і фіксаторів. Колінчастий вал потрібно встановлювати на пристрій тільки після його очищення та попереднього огляду. Забороняється виконувати вимірювання, якщо деталь нестійко розташована на опорах або має можливість самовільного зміщення. Оскільки пристрій належить до допоміжного технологічного оснащення, його конструкція повинна забезпечувати зручність встановлення деталі, безпечне провертання вала та можливість точного зчитування показів індикатора [2; 7; 9].

2. Установлення вала виконувати лише за допомогою справних підіймально-транспортних засобів або за участю двох працівників, якщо маса деталі допускає ручне переміщення.

3. Забороняється проводити вимірювання, якщо вал нестійко розміщений на опорах.

4. Під час провертання колінчастого валу руки працівника не повинні знаходитися між шийками, щокрами вала та опорними елементами пристрою.

5. Не допускається використання пристрою з пошкодженими різьбовими з'єднаннями, тріщинами, деформаціями або ослабленими кріпленнями.

6. Після завершення вимірювання вал необхідно знімати обережно, не допускаючи ударів по індикатору та опорних поверхнях пристрою.

7. Контрольно-вимірювальні інструменти потрібно зберігати у спеціальних футлярах або шафах.

Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями затверджені наказом № 966 і поширюються на суб'єктів господарювання незалежно від форми власності, тому їх вимоги до справності інструментів і безпечної організації робіт необхідно враховувати під час експлуатації розробленого пристрою

3.4 Інструктажі та навчання працівників

До виконання робіт із відновлення колінчастих валів допускаються працівники, які пройшли вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання безпечним методам праці та перевірку знань з охорони праці.

Працівник повинен знати:

- будову та принцип роботи обладнання;
- правила встановлення і закріплення колінчастого валу;
- порядок користування пристроєм для перевірки овальності;
- правила застосування вимірювального інструменту;
- вимоги електробезпеки;
- порядок дій у разі аварійної ситуації;
- правила надання першої домедичної допомоги.

Повторний інструктаж необхідно проводити у встановлені строки, а позаплановий — у разі зміни технологічного процесу, модернізації обладнання, впровадження нового пристрою або порушення працівником вимог безпеки.

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час відновлення колінчастого валу автотракторних двигунів і використання пристрою для перевірки овальності шийок. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять рухомі частини обладнання, значна маса деталей, абразивний пи́л, шум, вібрація, електричний струм і контакт із мастильно-охолоджувальними рідинами.

Запропоновані заходи з охорони праці передбачають правильну організацію робочого місця, застосування засобів індивідуального захисту, використання справного обладнання, забезпечення вентиляції, контроль шуму, дотримання правил електробезпеки та пожежної безпеки. Виконання цих заходів дозволяє підвищити безпеку праці, зменшити ризик виробничого травматизму та створити належні умови для якісного виконання ремонтних робіт.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні положення

Економічна доцільність удосконалення технології відновлення колінчастого валу визначається зменшенням трудомісткості контрольних операцій, підвищенням точності дефектації, скороченням кількості повторних ремонтів і зниженням витрат на придбання нових деталей. Колінчастий вал двигуна Д-240 є однією з основних деталей кривошипно-шатунного механізму, а його шийки працюють у спряженні з підшипниками ковзання, тому їхній технічний стан безпосередньо впливає на ресурс двигуна [19; 20]. У вашому тексті також зазначено, що колінчастий вал Д-240 має чотири шатунні та п'ять корінних шийок, а його поверхні зміцнюються гартуванням струмами високої частоти.

Овальність шийок колінчастого валу є одним із головних показників технічного стану деталі. Якщо цей параметр перевищує допустимі значення, порушується рівномірність роботи підшипників ковзання, погіршуються умови мащення, зростає температура в зоні тертя та прискорюється зношування спряжених деталей. Тому точний контроль овальності дозволяє своєчасно приймати рішення щодо шліфування, полірування або вибраковування колінчастого валу.

Удосконалення технології відновлення передбачає:

- скорочення часу на перевірку шийок;
- підвищення точності вимірювання;
- зменшення кількості помилок під час дефектації;
- зниження витрат на повторну обробку;
- підвищення ресурсу відновленого колінчастого валу;
- зменшення простоїв ремонтної дільниці;
- підвищення продуктивності праці.

4.2 Вихідні дані для розрахунку

Для визначення економічної ефективності приймаємо такі вихідні дані таблиця 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні данні

Показник	Позначення	Значення
Річна програма відновлення колінчастих валів	N	120 шт.
Трудомісткість контролю овальності за існуючою технологією	t_1	0,65 люд.-год

Трудомісткість контролю овальності з використанням пристрою	t_2	0,30 люд.-год
Середня тарифна ставка слюсаря-ремонтника	C_t	95 грн/год
Додаткова заробітна плата	K_d	20 %
Нарахування на оплату праці	K_n	22 %
Вартість матеріалів для виготовлення пристрою	C_m	4200 грн
Вартість купованих виробів	C_k	1800 грн
Основна заробітна плата на виготовлення пристрою	$C_{зп}$	2600 грн
Накладні витрати	$K_{нв}$	70 % від основної зарплати
Річні витрати на обслуговування пристрою	$C_{обс}$	800 грн
Зменшення витрат від зниження повторних дефектів	E_d	5500 грн/рік

4.3 Розрахунок зниження трудомісткості

Економія часу на одну операцію контролю овальності визначається за формулою:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (4.1)$$

де Δt — економія часу на одну деталь, люд.-год;

t_1 — трудомісткість контролю за існуючою технологією, люд.-год;

t_2 — трудомісткість контролю з використанням пристрою, люд.-год.

Підставляємо значення:

$$\Delta t = 0,65 - 0,30 = 0,35 \text{ люд.-год}$$

Річна економія робочого часу становить:

$$T_{ек} = \Delta t \cdot N \quad (4.2)$$

$$T_{ек} = 0,35 \cdot 120 = 42 \text{ люд.-год}$$

Отже, використання пристрою дозволяє скоротити витрати робочого часу на 42 люд.-год на рік.

4.4 Розрахунок економії заробітної плати

Економія основної заробітної плати визначається за формулою:

$$E_{зп} = T_{ек} C_t \quad (4.3)$$

де $E_{зп}$ — економія основної заробітної плати, грн;

$T_{ек}$ — річна економія часу, люд.-год;

C_t — тарифна ставка працівника, грн/год.

$$E_{зп} = 42 \cdot 95 = 3990 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата:

$$E_{дод} = E_{зп} \cdot \frac{K_d}{100} \quad (4.4)$$

$$E_{дод} = 3990 \cdot \frac{20}{100} = 798 \text{ грн}$$

Загальна економія заробітної плати:

$$E_{заг.зп} = E_{зп} + E_{дод} \quad (4.5)$$

$$E_{заг.зп} = 3990 + 798 = 4788 \text{ грн}$$

Нарахування на оплату праці:

$$E_{нар} = E_{заг.зп} \cdot \frac{K_n}{100} \quad (4.6)$$

$$E_{нар} = 4788 \cdot \frac{22}{100} = 1053,36 \text{ грн}$$

Загальна економія з урахуванням нарахувань:

$$E_{прац} = E_{заг.зп} + E_{нар} \quad (4.7)$$

$$E_{прац} = 4788 + 1053,36 = 5841,36 \text{ грн}$$

Отже, річна економія витрат на оплату праці становить 5841,36 грн.

4.5 Розрахунок вартості виготовлення пристрою

Собівартість виготовлення пристрою для перевірки овальності шийок колінчастого валу визначається за формулою:

$$C_{пр} = C_m + C_k + C_{зп} + C_{дод} + C_{нар} + C_{нв} \quad (4.8)$$

де $C_{пр}$ — собівартість виготовлення пристрою, грн;

C_m — вартість матеріалів, грн;

C_k — вартість купованих виробів, грн;

$C_{зп}$ — основна заробітна плата виробничих робітників, грн;

$C_{дод}$ — додаткова заробітна плата, грн;

$C_{нар}$ — нарахування на оплату праці, грн;

$C_{нв}$ — накладні витрати, грн.

Додаткова заробітна плата на виготовлення пристрою:

$$C_{дод} = C_{зп} \cdot \frac{20}{100} \quad (4.9)$$

$$C_{дод} = 2600 \cdot 0,20 = 520 \text{ грн}$$

Нарахування на оплату праці:

$$C_{\text{нар}} = (C_{\text{зп}} + C_{\text{дод}}) \frac{22}{100} \quad (4.10)$$

$$C_{\text{нар}} = (2600 + 520)0,22 = 686,40 \text{ грн}$$

Накладні витрати:

$$C_{\text{нв}} = C_{\text{зп}} \cdot \frac{70}{100} \quad (4.11)$$

$$C_{\text{нв}} = 2600 \cdot 0,70 = 1820 \text{ грн}$$

Тоді загальна собівартість виготовлення пристрою становить:

$$C_{\text{пр}} = 4200 + 1800 + 2600 + 520 + 686,40 + 1820 = 11626,40 \text{ грн}$$

Отже, орієнтовна вартість виготовлення пристрою становить 11626,40 грн.

4.6 Розрахунок річного економічного ефекту

Запропонований пристрій для перевірки овальності шийок дає змогу скоротити час контролю однієї деталі, зменшити залежність результату від кваліфікації працівника та підвищити точність дефектації. Внаслідок цього знижується ймовірність помилкового допуску зношеної деталі до подальшої експлуатації або зайвого вибракування придатного колінчастого валу [9; 10; 17]. Застосування пристроїв для вимірювання овальності колінчастого валу пов'язане з контролем напрямку вимірювання, температури, номера двигуна та збереженням результатів вимірювання [17]. У довіднику Taylor Hobson з контролю круглості зазначено, що метод із V-блоком і індикатором є одним із простих способів оцінювання відхилень форми деталі під час її обертання

Річний економічний ефект від упровадження пристрою складається з економії витрат на оплату праці та додаткового ефекту від зменшення повторних дефектів під час контролю колінчастих валів.

Загальний річний ефект визначається за формулою:

$$E_{\text{річ}} = E_{\text{прац}} + E_d - C_{\text{обс}} \quad (4.12)$$

де $E_{\text{річ}}$ — річний економічний ефект, грн;

$E_{\text{прац}}$ — економія витрат на оплату праці, грн;

E_d — економія від зниження кількості повторних дефектів, грн;

$C_{\text{обс}}$ — витрати на обслуговування пристрою, грн.

$$E_{\text{річ}} = 5841,36 + 5500 - 800 = 10541,36 \text{ грн}$$

Отже, очікуваний річний економічний ефект становить 10541,36 грн.

4.7 Розрахунок строку окупності

Річний економічний ефект від упровадження пристрою визначається як сума економії витрат праці, зменшення витрат на повторні ремонтні операції та зниження браку. Строк окупності пристрою визначають відношенням витрат на його виготовлення до річного економічного ефекту [18; 19; 21]. Якщо строк окупності становить близько одного року, упровадження пристрою можна вважати економічно доцільним, оскільки після завершення періоду окупності він забезпечуватиме чисту економію витрат ремонтної ділянки.

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{пр}}}{E_{\text{річ}}} \quad (4.13)$$

де $T_{\text{ок}}$ — строк окупності, років;

$C_{\text{пр}}$ — вартість виготовлення пристрою, грн;

$E_{\text{річ}}$ — річний економічний ефект, грн.

$$T_{\text{ок}} = \frac{11626,40}{10541,36} = 1,10 \text{ року}$$

Отже, строк окупності пристрою становить приблизно 1,1 року, що свідчить про економічну доцільність його впровадження у ремонтний процес.

ВИСНОВОК

Проблема ремонту сільськогосподарської техніки виникла досить давно, однак навіть у попередні десятиліття забезпечити високоефективну роботу ремонтно-обслуговуючої бази повною мірою не вдалося. Міжремонтний ресурс тракторів становив лише 45–50 % від установленого, простої техніки під час ремонту досягали 30 % календарного часу, дефіцит запасних частин залишався значним, а спеціалізовані ремонтні підприємства не завжди гарантували нормативну довговічність відновлених деталей.

У випусковій роботі розроблено технологію відновлення колінчастих валів двигунів Д-240 в умовах господарства. Подано ескіз деталі, схему її розбирання та ремонтне креслення. Також спроектовано пристрій для дефектування колінчастих валів різних двигунів, який дає можливість перевіряти прогин вала та овальність його шийок під час виконання ремонтних робіт. Для виготовлення пристрою розроблено відповідні креслення деталей.

У роботі також опрацьовано заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища, сформульовано висновки й практичні пропозиції, подано список використаної літератури та оформлено додатки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
2. .Про затвердження Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.12.2013 р. № 966. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0327-14>
3. .ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va037282-99>
4. .ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 42. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/va042282-99>
5. .ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2
6. .Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 р. № 1417. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15>
7. .ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проєктування. Оцінювання ризиків і зниження ризиків. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71627
8. .ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. URL: <https://nv-oneu.com.ua/downloads/dstu-8302-2015.pdf>
9. .Taylor Hobson. Exploring Roundness. Leicester : Taylor Hobson Ltd, 2022. URL: <https://www.taylor-hobson.com.cn/-/media/ametektaylorhobson/files/learning-zone/chinese/books/exploring-roundness.pdf>
10. .García-Martínez E., Miguel V., Manjabacas M. C. Validation of a Manual Methodology for Measuring Roundness and Cylindricity Tolerances. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 17. Article 9702. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179702>
11. .Nozdrzykowski K., Chybowski L. A Force-Sensor-Based Method to Eliminate Deformation of Large Crankshafts during Measurements of Their Geometric Condition. Sensors. 2019. Vol. 19, No. 16. Article 3507. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19163507>
12. .Nozdrzykowski K., Grządziel Z., Dunaj P. Determining Geometrical Deviations of

Crankshafts with Limited Detection Possibilities Due to Support Conditions. Measurement. 2022. Vol. 189. Article 110438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110438>

13. .Kotliar A., Gasanov M., Basova Y., Panamariova O., Gubskiy S. Ensuring the Reliability and Performance Criterias of Crankshafts. Diagnostyka. 2019. Vol. 20, No. 1. P. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/99605>

14. .Prathamesh S., Gawade S., Ghodke S., et al. Preventive Scrap Analysis of Crankshaft Ovality in Grinding Process. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2017. URL: https://ijritcc.org/download/conferences/ICIIME_2017/ICIIME_2017_Track/1498208646_23-06-2017.pdf

15. .SKF Bearing Maintenance Handbook. Gothenburg : SKF Group, 2018. URL: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968013be94/pdf_preview_medium/0901d1968013be94_pdf_preview_medium.pdf

16. .SKF Bearing Lubrication. Gothenburg : SKF Group, 2020. URL: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0941f795342272f4/pdf_preview_medium/0941f795342272f4_pdf_preview_medium.pdf

17. .TXM DI-5C. Crankshaft Measurement / Ovality Measurement. TX Marine Messtechnik GmbH, 2018. URL: https://txmarine.com/wp-content/uploads/2018/05/TXM_DI5-1_LR.pdf

18. .Engine Crankshaft Repairs In Situ. Metalock Engineering. URL: <https://www.metalockengineering.com/en/services/engine-crankshaft-repairs-in-situ-from-metalock-engineering>

19. .Марченко Д. Д. Технологія ремонту машин : навчальний посібник. Миколаїв : МНАУ, 2018. 133 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5009/1/Tekhnolohiya%20remontu%20mashyn.pdf>

20. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів : навчальний посібник. Кн. 2. Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2007. 348 с. URL: https://old.library.kr.ua/elib/chabannyi/Chabannyi_Remont_avto_kn2.pdf

21. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Ляшук О. Л., Левкович М. Г., Гудь В. З., Сташків М. Я., Сіправська М. Д. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : навчальний посібник. Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

22. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи

допусків, відхилів та посадок. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68810