

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту  
“    ”    2025 р.  
Зав. кафедри професор  
(науковий ступінь, вчене звання)  
В.В.Дідур  
(підпис)    (ініціали, прізвище)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи  
магістр  
(освітній рівень)

**тема роботи: «Підвищення зносостійкості колінчастого валу дизельних двигунів шляхом удосконалення технології наплавлення робочих поверхонь»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім  
освітньої програми магістр  
спеціальності Н7  
«Агроінженерія»  
Пархоменко Артем Олегович  
(прізвище та ініціали)

Керівник: професор Дідур В.В.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Освітня програма \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ Н7 «Агроінженерія» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
В.В. Дідур  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

### З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту \_\_\_\_\_ **Пархоменку Артему Олеговичу** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення зносостійкості колінчастого валу дизельних двигунів шляхом удосконалення технології наплавлення робочих поверхонь»

керівник роботи \_\_\_\_\_ професор Дідур В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
“14” листопада 2025 р. № 01-06/261 \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 25.11.2025 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно-тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово-зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- підвищити зносостійкість колінчастого валу дизельних двигунів шляхом удосконалення технології наплавлення робочих поверхонь;
- провести аналіз надійності роботи двигунів та визначити найбільш вразливі вузли, які потребують підвищеної уваги під час технічного обслуговування;
- проаналізувати існуючі способи відновлення деталей та обґрунтувати найбільш доцільні з них з точки зору ефективності та довговічності;
- виконати теоретичні та експериментальні дослідження;
- запропонувати технологічні рішення що сприяють зменшенню тертя, підвищенню зносостійкості та продовженню терміну служби деталей;
- розробити заходи з охорони праці, спрямовані на підвищення безпеки виробничого процесу;
- виконати техніко-економічну оцінку запропонованих проектних рішень, що підтверджує їхню економічну доцільність.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ-242К; показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                  |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці                    | Прокопенко Е.В.,<br>доцент                |                |                  |
| Техніко-економічне обґрунтування | Дідур В.В.,<br>професор                   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи                             | Строк виконання етапів роботи | При-мітка |
|-------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1.    | Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу | 30.04.2025 р.                 |           |
| 2.    | Розділ 1.                                                 | 14.05.2025 р.                 |           |
| 3.    | Розділ 2.                                                 | 28.05.2025 р.                 |           |
| 4.    | Розділ 3.                                                 | 11.06.2025 р.                 |           |
| 5.    | Розділ 4.                                                 | 25.06.2025 р.                 |           |
| 6.    | Розділ 5.                                                 | 24.09.2025 р.                 |           |
| 7.    | Виконання ілюстративної частини роботи                    | 23.10.2025 р.                 |           |
| 8.    | Представлення роботи керівнику на перевірку               | 25.11.2025 р.                 |           |

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Пархоменко А.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Дідур В.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі розглянуто питання підвищення зносостійкості колінчастого валу дизельних двигунів шляхом удосконалення технології наплавлення робочих поверхонь.. Проведено аналіз надійності роботи двигунів та визначено найбільш вразливі вузли, які потребують підвищеної уваги під час технічного обслуговування. Окрім цього, проаналізовано існуючі способи відновлення деталей та обґрунтовано найбільш доцільні з них з точки зору ефективності та довговічності.

У ході дослідження виконано теоретичні та експериментальні роботи, результати яких підтвердили правильність обраного методу відновлення та нанесення протизносних покриттів. Запропоновані технологічні рішення сприяють зменшенню тертя, підвищенню зносостійкості та продовженню терміну служби деталей, що забезпечує стабільну роботу двигуна і знижує експлуатаційні витрати.

У роботі також розроблено заходи з охорони праці, спрямовані на підвищення безпеки виробничого процесу, та виконано техніко-економічну оцінку запропонованих проектних рішень, що підтверджує їхню економічну доцільність.

Дипломна робота містить пояснювальну записку обсягом 75 сторінок та 12 аркушів графічної частини, виконаних у форматі слайдів.

Ключові слова: відновлення, електроіскрова обробка, електроіскрове зміцнення, довговічність, двигун, організація ремонту, програма ремонту, трудомісткість тощо.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                          | 6  |
| 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....                                                                                    | 8  |
| 1.1. Надійність двигунів Cummins в експлуатації.....                                                                | 8  |
| 1.2. Аналіз причин відмов шатунних підшипників.....                                                                 | 15 |
| 1.3. Загальні висновки та задачі досліджень.....                                                                    | 20 |
| 2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА.....                                                                                           | 23 |
| 2.1 Аналіз причин виходу з ладу капітально відремонтованих двигунів КамАЗ.....                                      | 23 |
| 2.2. Існуючі способи відновлення валів наплавленням зносостійкого металевого шару.....                              | 30 |
| 2.3. Розробка технологічної документації на відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу КамАЗ 740..... | 34 |
| 3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....                                                                                           | 48 |
| 3.1. Програма і загальна методика експериментальних досліджень.....                                                 | 48 |
| 3.2. Характеристика установки ЕІО й методика формування зміцнених та відновлених поверхонь.....                     | 50 |
| 3.3. Обробка результатів вимірів.....                                                                               | 52 |
| 3.4. Триботехнічні випробування відновлених пар тертя.....                                                          | 52 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                                                | 60 |
| 4.1. Загальні відомості про охорону праці в ФГ.....                                                                 | 60 |
| 4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів в ремонтній майстерні господарства.....                    | 61 |
| 4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів.....                      | 62 |
| 4.4. Правила безпечного виконання робіт на токарних верстатах.....                                                  | 67 |
| 4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації.....                                                                 | 70 |
| 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....                                                                                   | 72 |
| ВИСНОВОК.....                                                                                                       | 76 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                              | 78 |

## ВСТУП

У структурі собівартості виробництва сільськогосподарської продукції транспортні витрати становлять у середньому 10–12 %, причому домінуюча частка припадає саме на автомобільні перевезення. У періоди пікових сезонних робіт у агропромисловому комплексі експлуатується до 35 % усього наявного автопарку, причому понад половину його складають автомобілі сімейства КамАЗ [1, 2].

Собівартість автомобільних перевезень залишається доволі високою й у процесі експлуатації може зростати у 2–3 рази, тоді як продуктивність машин після пробігу приблизно 500 тис. км зменшується у 3–4 рази. Головними причинами цього є значні витрати праці, часу та коштів на підтримання техніки у справному стані, що безпосередньо пов'язано з недостатнім рівнем технічного обслуговування та ремонтних робіт. Частка витрат на ТО та ремонт становить 12–15 % загальної собівартості перевезень, а сукупні витрати на підтримання працездатності автомобіля протягом усього строку експлуатації можуть перевищувати його початкову вартість у 5–6 разів [3]. Аналіз надійності автомобілів КамАЗ показує, що 32–37 % відмов пов'язані з роботою силового агрегату, з яких 25–30 % припадає на двигун [1, 2, 3]. Варто зазначити, що двигуни КамАЗ використовуються не лише у вантажних автомобілях, а й у тракторах, комбайнах і стаціонарних установках.

Дослідження експлуатаційних відмов, у тому числі протягом гарантійного періоду, засвідчило значну частку раптових зупинок (45–50 %), зумовлених порушенням правил експлуатації, конструктивними недоліками та виробничими дефектами. Аналіз технічного стану двигунів показує закономірне його погіршення з часом, тоді як аварійні відмови часто спричиняються перевищенням допустимих параметрів через недостатнє використання діагностичних методів. Двигуни після капітального ремонту характеризуються ще нижчим рівнем надійності, що пояснюється нижчою якістю ремонтних технологій порівняно з заводськими. Основні показники надійності залежать від стану ключових елементів, які визначають ресурс двигуна, – підшипників колінчастого вала, циліндропоршневої групи та турбокомпресора. Саме ці вузли становлять до 35 % усіх відмов і забезпечують до 62 % витрат на ремонт [3].

Високі експлуатаційні витрати на підтримання працездатності двигунів зумовлені недостатнім рівнем вивченості процесів мащення деталей, очищення масла й повітря, обмеженим застосуванням діагностики технічного стану та недосконалою технологією відновлення деталей під час ремонту. Тому удосконалення систем мащення, методів очищення робочих рідин і технологій відновлення деталей є надзвичайно актуальним завданням, оскільки саме від їх вирішення залежить собівартість перевезень і продуктивність як автомобільної, так і сільськогосподарської техніки.

Метою дослідження є підвищення надійності роботи агрегатів шляхом нанесення ефективних двошарових покриттів на відновлювані поверхні та покращення умов тертя у їх вузлах.

## 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1. Надійність двигунів Cummins в експлуатації

Проблемі підвищення надійності автомобільної техніки присвячено значну кількість наукових досліджень, серед авторів яких варто відзначити Ф. Н. Авдонькіна, Д. Н. Гаркунова, М. А. Григор'єва, Вадолецького, А. С. Денисова, В. І. Казарцева, Є. С. Кузнєцова, В. С. Лукінського, В. М. Михліна, І. А. Мишина, А. В. Ніколаєнка, Г. І. Суранова, А. М. Шейніна, М. А. Масино, В. А. Шадричева та багатьох інших учених.

У низці наукових праць детально досліджено характер і причини відмов автомобілів марки КамАЗ під час експлуатації, а також запропоновано методи зменшення їх частоти та наслідків [1–5]. Загальні підходи до підвищення надійності машин на всіх етапах життєвого циклу – від виробництва до списання – висвітлені у фаховій літературі [6–10].

Результати багаторічного аналізу надійності автомобілів КамАЗ, проведеного низкою дослідників спільно з фахівцями заводу-виробника, починаючи з 1976 року – часу введення цих машин в експлуатацію, – засвідчили, що для більшості їхніх конструктивних елементів спостерігається тенденція до зростання параметра потоку відмов у процесі використання техніки (рис. 1.1) [11].

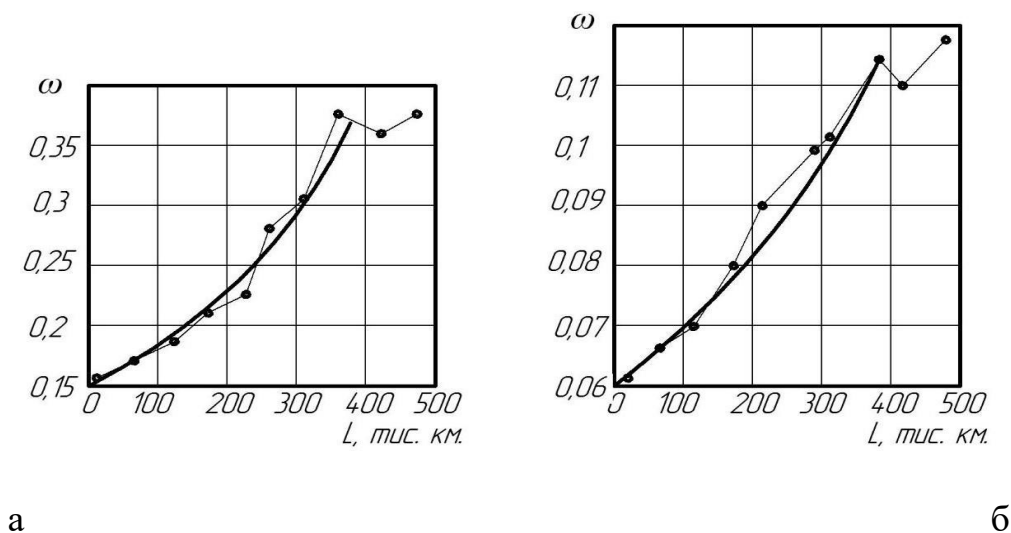


Рисунок 1.1 – Динаміка зміни параметра потоку відмов елементів автомобіля КамАЗ під час експлуатації:

а – загальний показник для автомобіля;

б – параметр потоку відмов двигуна.

Аналіз відмов складових автомобіля, усунення яких здійснюється шляхом заміни окремих деталей та вузлів, наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Приклади типових робіт із усунення відмов автомобілів КамАЗ шляхом заміни деталей та вузлів

| Найменування відмов і замін                   | Частота повторення, % | Середній наробіток, тис. км. | Коефіцієнт варіації |
|-----------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|
| Заміна вкладишів підшипників колінчатого вала | 59                    | 88                           | 0,54                |
| Заміна поршневих кілець                       | 59                    | 96                           | 0,58                |
| Ремонт паливного насоса високого тиску        | 21                    | 106                          | 0,64                |
| Заміна форсунок                               | 28                    | 87                           | 0,62                |

З даних, наведених у табл. 1.1 та на рис. 1.1, видно, що на ті елементи автомобіля, параметр потоку відмов яких у процесі експлуатації має тенденцію до зростання, припадає близько 58 % усіх відмов, 87 % загальної трудомісткості їх усунення, 76 % простоїв під час поточного ремонту та 83 % витрат на запасні частини [12].

Отримані результати підтверджують, що підвищення надійності двигуна КамАЗ за рахунок зменшення кількості відмов шатунних підшипників є надзвичайно актуальним завданням. Це зумовлено тим, що збільшення ресурсу підшипників при одночасному зростанні ступеня форсування дизельних двигунів призводить до підвищення рівня механічних і теплових навантажень на них. Водночас модернізація існуючих конструкцій дизелів зі збільшенням їх потужності за рахунок застосування турбонаддува часто відбувається без внесення змін до конструкції підшипників.

З метою отримання достовірних даних щодо відмов було проаналізовано 1183 двигуни, що проходили ремонт як у відділі гарантійного ремонту заводу-виробника, так і в зональних автоцентрах КамАЗ [12]. Усі випадки відмов розглядалися за оформленими актами-рекламаціями, у яких містилася коротка характеристика умов експлуатації двигуна, опис причин виникнення та характеру дефекту, а також результати часткового розбирання.

На основі проведеної технічної експертизи виконувалася статистична обробка

даних із використанням таких залежностей 1.1 та 1.2[13, 14]:

- $F(t)$  – функція розподілу, що характеризує накопичення частоти відмов;
- $f(t)$  – щільність розподілу частоти відмов, наведеної до величини інтервалу

вибірки.

Де  $n$  – обсяг вибірки (загальна кількість зафіксованих випадків);

$\Delta t$  – величина інтервалу спостереження;

$m_i$  – кількість випадків у  $i$ -му інтервалі вибірки.

Величина інтервалу спостереження визначають за формулою 1.3.

Де  $t_n$  і  $t_1$  – найбільше та найменше значення аргументу вибірки відповідно;

$k$  – кількість інтервалів.

Усі досліджувані двигуни були розподілені на окремі групи, критерієм належності до яких став дефект, що призвів до відмови двигуна. Додатково встановлювався взаємозв'язок між характером дефекту та пробігом автомобіля. У результаті проведеного аналізу було класифіковано 64 види дефектів, з яких 19 мали одиничний характер відмов (табл. 1.2).

Таблиця 1.4 – Перелік основних дефектів двигунів

| №   | Найменування дефекту                 | $M_i$ , шт |
|-----|--------------------------------------|------------|
| 1.  | Проворот шатунних вкладишів          | 149        |
| 2.  | Підвищена витрата масла              | 52         |
| 3.  | Задир ЦПГ                            | 69         |
| 4.  | Втрата ОР і масла                    | 91         |
| 5.  | Дефекти корінних підшипників к. в.   | 17         |
| 6.  | Руйнування шатунних болтів і шатунів | 143        |
| 7.  | Руйнування колінчатого вала          | 22         |
| 8.  | Руйнування поршнів                   | 17         |
| 9.  | Дефекти штовхачів                    | 43         |
| 10. | Розсухарювання клапанів              | 21         |

Встановлено, що найчастіше трапляються 10 основних дефектів, ймовірність появи кожного з яких становить близько 0,9 [15].

У табл. 1.3 та на рис. 1.2 подано залежності, які ілюструють якісну картину взаємозв'язку між частотою виникнення дефектів та пробігом автомобіля.

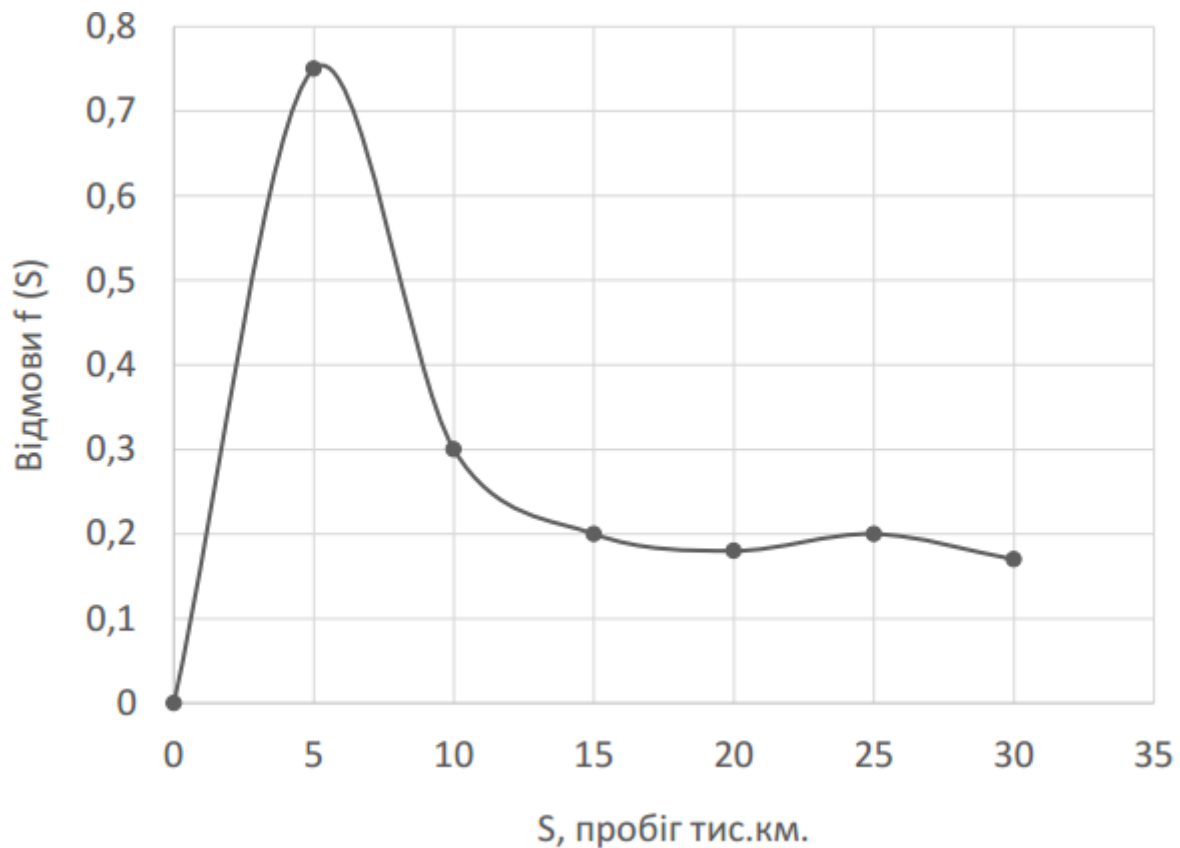


Рисунок 1.2 – Залежність частоти відмов двигуна від пробігу автомобіля

Як показано на рис. 1.2, основна частка відмов двигуна (близько 54 %) спостерігається під час експлуатації автомобіля з пробігом до 10 тис. км. Найбільш поширеною є відмова типу *«проворот шатунних вкладишів»*, на яку припадає приблизно 24 % усіх випадків. Важливо зазначити, що така відмова належить до 3-ї групи складності, а її усунення потребує значного обсягу робіт із розбирання двигуна та, як правило, передбачає заміни колінчастого вала.

Таблиця 1.3 – Розподіл відмов двигунів залежно від їх наробітку

| S              | 5     | 10    | 15    | 20   | 25    | 30   |
|----------------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| M <sub>i</sub> | 453   | 190   | 148   | 124  | 153   | 115  |
| f(S)           | 0,077 | 0,032 | 0,025 | 0,21 | 0,026 | 0,02 |

Було проаналізовано зміну кількості відмов двигунів за роками їх надходження в ремонт. Встановлено наявність тенденції до поступового зниження кількості відмов, зокрема таких, як витік масла в охолоджувальну рідину, руйнування шатунів і шатунних болтів, а також руйнування колінчастого вала. Це пояснюється проведеною на заводі-виробнику роботою зі зміни матеріалів, удосконалення технології

виготовлення та складання зазначених деталей.

Водночас кількість рекламаций, пов'язаних із *проворотом шатунних вкладишів*, залишалася практично незмінною протягом усіх років, у яких проводилися дослідження двигунів.

На рис. 1.3 наведено графіки відмов двигуна КамАЗ-740 за даними заводу-виробника, а на рис. 1.4 – за даними літературних джерел.

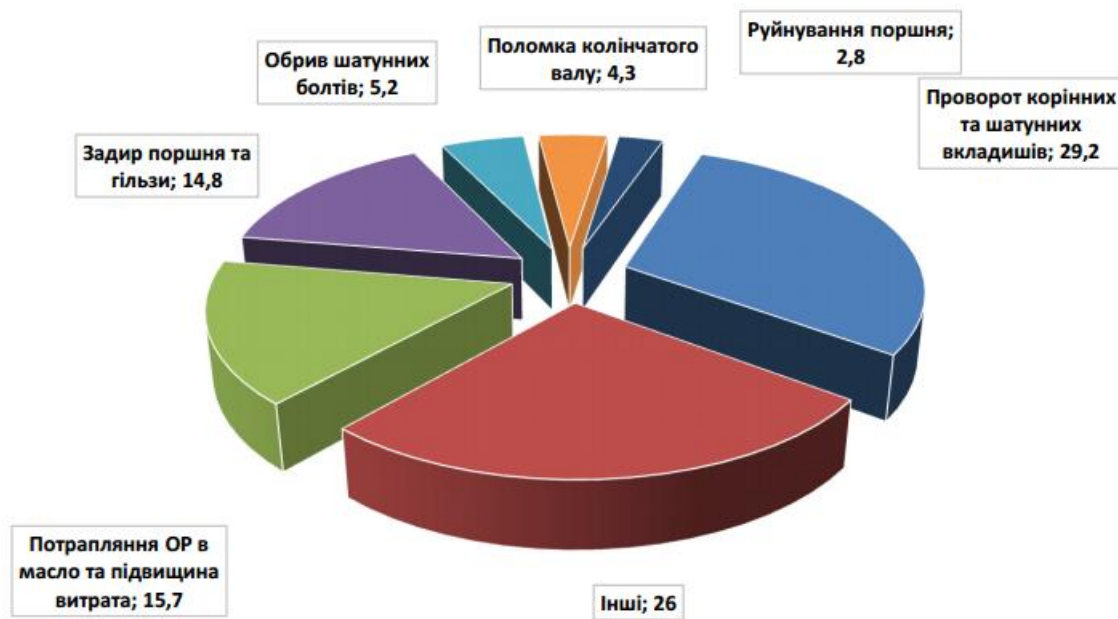


Рис. 1.3. Відмови двигунів КамАЗ-740

Аналіз актів рекламаций, у яких фіксувалися дефекти типу *проворот шатунних вкладишів колінчастих валів*, показав, що у 42 % випадків причину відмови встановити не вдалося. Приблизно 35 % відмов були зумовлені порушенням технологічної дисципліни під час виробництва та складання двигунів (табл. 1.4).

Отримана залежність частоти провороту вкладишів від пробігу автомобіля, наведена на рис. 1.5, свідчить, що лише на початковому етапі експлуатації (до 5 тис. км) інтенсивність цієї відмови зростає. У подальшому вона залишається практично стабільною та починає зменшуватися після досягнення пробігу понад 30 тис. км.

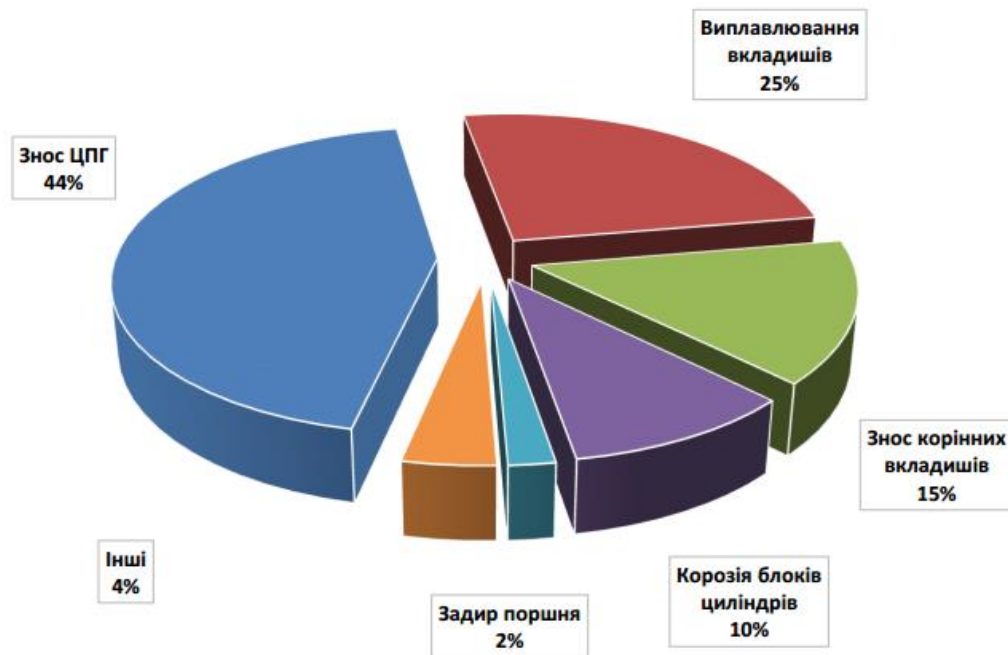


Рис. 1.4. Ресурсні відмови деталей та вузлів відремонтованих двигунів

Таблиця 1.4 - Причини відмов двигунів по провороту шатунних вкладишів

| №   | Причина дефекту                        | М1, шт | f (t) |
|-----|----------------------------------------|--------|-------|
| 1   | 2                                      | 3      | 4     |
| 1.  | Причина не визначена                   | 69     | 0,421 |
| 2.  | Неправильна орієнтація шатунного болта | 26     | 0,159 |
| 3.  | Низький рівень масла                   | 13     | 0,079 |
| 4.  | Неякісне масло, відсутність т/о        | 11     | 0,069 |
| 5.  | Недозатягування шатунних гайок         | 10     | 0,061 |
| 6.  | Неповна посадка болта по конусу        | 7      | 0,043 |
| 7.  | Тріщина вала                           | 5      | 0,03  |
| 8.  | Стружка в каналах коленвала            | 5      | 0,03  |
| 9.  | Зсув фаски масл. отв. на К.В.          | 4      | 0,024 |
| 10. | Неякісний ремонт                       | 3      | 0,018 |

|     |                                          |   |       |
|-----|------------------------------------------|---|-------|
| 11. | Інші                                     | 2 | 0,012 |
| 12. | Невідповідність геометричних р-рів К.В., | 2 | 0,012 |
| 13. | Випадання заглушки К.В.                  | 2 | 0,012 |
| 14. | Обрив усмоктувального патрубка м/насоса  | 1 | 0,006 |
| 15. | Неякісна обробка конуса шатуна           | 1 | 0,006 |

Проведені дослідження щодо визначення місця виникнення дефекту (за номером циліндра) показали, що найчастіше проворот шатунних вкладишів спостерігається на третій шатунній шийці колінчастого вала (рис. 1.6).

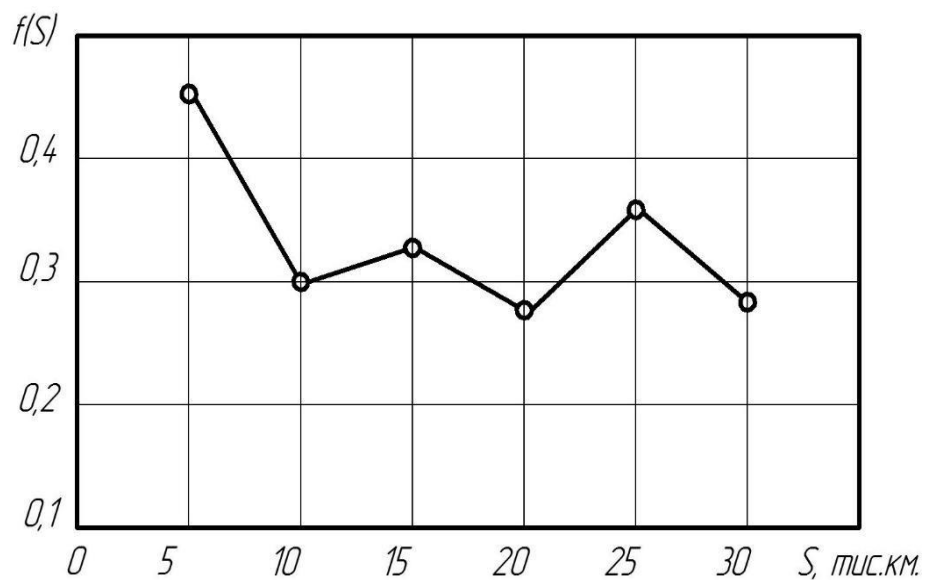


Рисунок 1.5 – Залежність частоти відмов типу «провертання шатунних вкладишів» колінчастого вала від пробігу автомобіля

Проведений аналіз літературних джерел та результати власних досліджень відмов двигунів КамАЗ під час експлуатації свідчать, що для підвищення їх надійності насамперед необхідно встановити причини виникнення дефекту типу *проворот шатунних вкладишів колінчастого вала* та розробити ефективні заходи щодо його усунення.

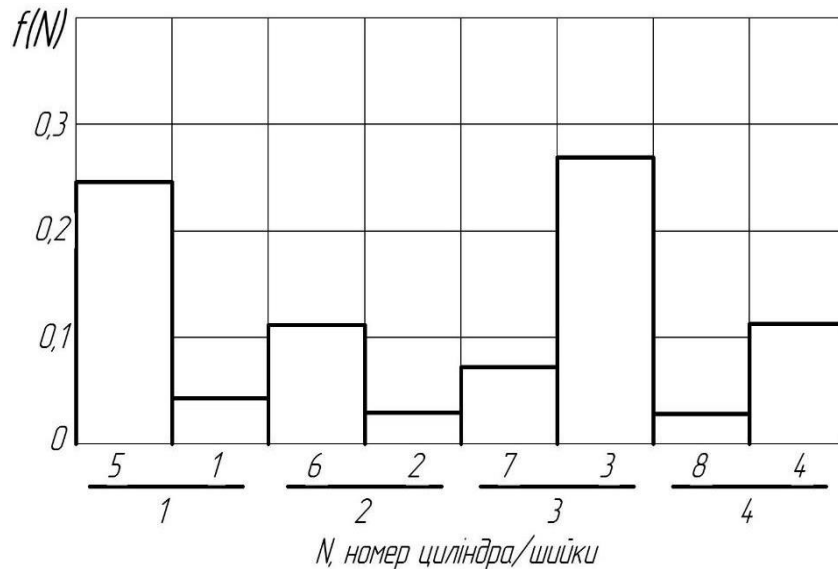


Рисунок 1.6 – Розподіл відмов типу «провертання шатунних вкладишів» залежно від місця розташування (номер циліндра, номер шийки)

## 1.2. Аналіз причин відмов шатунних підшипників

У швидкохідних дизельних двигунах, зокрема й у автомобілях КамАЗ, як корінні та шатунні підшипники колінчастого вала застосовуються тонкостінні багат шарові вкладиші [16]. У разі їх повертання фіксувальний виступ зрізається, а сам вкладиш починає обертатися разом із шийкою колінчастого вала. Це призводить до збільшення зазорів у sprzęженні, підвищення температури шийки та випаровування масла, що підтверджується збільшеною кількістю картерних газів, які виходять через сапун. Перегрів шийки спричиняє теплові напруження та деформації, у результаті яких на поверхні можуть утворюватися тріщини, колінчастий вал деформується або навіть ламається. У деяких випадках повертання вкладишів призводить до обриву шатунних болтів чи самого шатуна, пробиття блоку циліндрів, що є найтяжчим наслідком цієї відмови [16–18].

Вкладиші корінних підшипників повертаються приблизно у 5 разів рідше, ніж шатунні [19]. Серед причин їх повертання – несправності масляного насоса, вибивання заглушок у системі мащення, падіння тиску масла, абразивне зношування шийок і вкладишів, що руйнує антифрикційний шар, а також масляне голодування та деформації вкладишів [20, 21].

Як зазначалося раніше, у більшості випадків причину повертання шатунних вкладишів встановити не вдається. Вважається, що основними чинниками цієї

відмови є абразивне зношування, надмірні зазори в шатунних підшипниках, порушення геометрії поверхонь шийок і вкладишів, а також недосконалість системи мащення [6–8, 22, 23]. Абразивні частинки, потрапляючи в підшипники, утворюють кільцеві ризики на антифрикційному шарі, підвищують температуру, спричиняють жолоблення, зменшують натяг, викликають задири й у підсумку – повертання вкладишів. У результаті взаємодії з поверхнею вони утворюють пластично видавлені канавки, з боків яких метал легко викришується й зацземлюється в спряженні, що підсилює задири та перегрів [17, 24].

Для зменшення надходження абразиву в підшипники у двигунах КамАЗ були замінені фільтрувальні елементи на паперові, підвищено надійність фільтра відцентрового очищення масла та встановлено додаткову втулку в шатунну шийку, яка покращує очищення масла. Проте повністю усунути проблему повертання шатунних вкладишів не вдалося [25].

Встановлено, що кількість відкладень у порожнинах шийок, на яких сталося повертання, є меншою порівняно з іншими шийками [21, 25]. Оскільки кількість відкладень у порожнині шатунної шийки прямо пропорційна витраті масла через підшипник [26, 27], можна зробити висновок, що через шийки, де відбулося повертання, проходила менша кількість масла. Отже, головним чинником, який сприяє повертанню, є не підвищена концентрація абразиву, а зниження витрати масла через підшипник.

Основною причиною задрів шатунних підшипників, за результатами проведених досліджень, є порушення гідродинамічного мащення, що виникає через недостатню кількість масла, яке надходить до шатунних підшипників унаслідок збільшеної витрати через корінні підшипники. У нормальному тепловому режимі запас продуктивності масляного насоса може бути повністю витрачений на середніх обертах через збільшення зазору в корінних підшипниках унаслідок зношування. Для забезпечення надійної роботи шатунних підшипників на всіх режимах роботи двигуна необхідно, щоб запас продуктивності насоса був достатньо великим і не знижувався через знос підшипників.

Зменшення витрати масла через підшипник знижує тепловідведення, що може призвести до його перегріву й виходу з ладу. Однак надмірне підвищення тиску й

витрати масла є небажаним, оскільки потребує збільшення потужності на привод насоса та його розмірів. Крім того, це спричиняє підвищену витрату масла на вигорання, а за наявності абразивних часток – інтенсивнішу їх циркуляцію разом із маслом та багаторазове потрапляння у підшипники, що прискорює їх зношування [27].

За результатами статистичного аналізу 350 двигунів КамАЗ-740, проведеного Денисовим А.С. та Кулаковим А.Т. [19, 21, 26], встановлено, що найчастіше (до 30 %) повертання спостерігається на шийках циліндрів 5 та 3, а близько 10 % – на шийках 6 та 4. Автори пояснюють це тим, що ці шатунні шийки розташовані ближче до каналу підведення масла в шатунну порожнину від корінної шийки. Масло, що виходить із каналу у відцентровий грязевловлювач, динамічно впливає на рівень масла в зоні ближчого отвору, створюючи турбулентність і утворюючи «хвилю» у напрямку дальшого отвору. Такі особливості формують менш сприятливі умови мащення підшипника, розташованого ближче до каналу підведення масла, і більш сприятливі – для дальшого.

Проведені дослідження, результати яких наведені у працях [19, 21, 25, 28], дали змогу розділити процес переходу вкладиша від вихідного стану до критичного на три основні етапи [21] (табл. 1.5).

- На першому етапі відбувається деформація вкладиша до стійкого стану: зменшується загальний радіальний тиск на постіль через втрату натягу, зростає тиск відриву вкладиша від постелі. Завершується етап утворенням первинного прогину.

- Протягом другого етапу прогин збільшується до критичного стану, коли момент у підшипнику перевищує момент у контакті вкладиша з постіллю. У цей період вкладиш контактує з шийкою не всією поверхнею, а лише опуклою частиною. Через відрив середньої частини від постелі тепловідведення погіршується, відбувається місцевий перегрів, що підсилює теплові напружки й деформації, інтенсифікуючи прогин уздовж твірної. Процес набуває послідовного та незворотного характеру.

Таблиця 1.5 – Етапи переходу вкладиша від вихідного стану до критичного

| І етап                                | ІІ етап деформаційний                          | ІІІ етап критичний                                            |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Перевищення напруг над $\sigma_T$     | Підвищення температури й теплових напруг       | Перевищення моменту тертя в підшипнику над моментом у постілі |
| Зниження натягу                       | Зростання прогину                              |                                                               |
| Нерівномірні деформації по товщині    | Вирівнювання моментів тертя в підшипнику й по- | Підвищення напруг у фіксу-<br>суючому виступі до $\sigma_T$   |
| Зниження радіального тиску на постіль | Зникнення зазору                               | Зрив фіксуючого виступу й повертання вкладишів                |
| Утворення початкового прогину         |                                                |                                                               |

Другий етап може тривати досить довго, після чого настає заключний – третій етап.

Третій етап є завершальною фазою процесу повертання вкладишів. На цьому етапі вкладиш зсувається зі свого посадкового місця в постелі, і навантаження від моменту у підшипнику переходить на фіксувальний виступ. Напруження в матеріалі виступу поступово досягають межі плинності, що призводить до його зминання. Після цього вкладиш, захоплений шийкою, починає обертатися відносно шатуна, що призводить до втрати працездатності як колінчастого вала, так і самого шатуна.

Для запобігання повертання шатунних вкладишів автори [21, 25] рекомендують здійснювати діагностику прогину вкладишів. Гранична величина прогину становить 48 мкм, а рекомендована періодичність контролю – кожні 12 тис. км пробігу. Впровадження розроблених діагностичних засобів та технологічних рішень у процес технічного обслуговування ТО-2 дало змогу зменшити кількість випадків повертання шатунних вкладишів під час експлуатації та скоротити кількість капітальних ремонтів.

Попри це, частка відмов, пов'язаних із повертанням шатунних вкладишів, досі залишається найбільшою, що потребує подальших досліджень у напрямі їх усунення. На основі отриманих результатів встановлено, що необхідно усунути утворення прогину у поперечному перерізі вкладиша. Для цього важливо більш детально

дослідити деформаційні процеси шатунних вкладишів двигуна КамАЗ [22].

Витрата масла через шатунні підшипники визначається тиском у кільцевому каналі корінного підшипника, від якого вони отримують масло, а також залежить від режиму роботи та технічного стану двигуна [29]. У працях [20, 21, 25, 26] наведено дані про тиск у кільцевих каналах корінних опор, а також про нерівномірність розподілу тиску за номерами корінних опор на різних швидкісних та навантажувальних режимах (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Тиск у кільцевих каналах корінних опор колінчастого вала на різних режимах роботи двигуна

| Середній тиск масла            | Од.<br>вим. | В<br>магістралі | У корінних опорах |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                |             |                 | 1                 | 2     | 3     | 4     | 5     |
| У всьому діапазоні<br>обертів  | МПа         | 0,415           | 0,336             | 0,318 | 0,346 | 0,316 | 0,339 |
|                                | %           | 100             | 81                | 77    | 83    | 76    | 82    |
| При $n > 2000 \text{ хв}^{-1}$ | МПа         | 0,5             | 0,398             | 0,375 | 0,410 | 0,372 | 0,40  |
|                                | %           | 100             | 79,5              | 75    | 82    | 74,5  | 80    |

Як видно з табл. 1.6, шатунні підшипники третьої шатунної шийки, які мають найвищу сумарну частоту повертання вкладишів, змащуються від четвертої корінної опори, де спостерігається найнижчий тиск масла. Це свідчить про чіткий взаємозв'язок між нерівномірністю тиску масла в корінних опорах і частотою повертання шатунних вкладишів, які отримують змащення від цих опор.

За умов зниження тиску в системі мащення можуть виникати критичні режими змащення шатунних підшипників, зумовлені дією відцентрових сил у каналах подачі масла. Як встановлено у [25], критичним тиском у системі мащення при номінальному режимі обертання  $n = 2600 \text{ хв}^{-1}$  є  $P_k = 0,16 \text{ МПа}$  – саме при цьому значенні масло повністю перестав надходити до шатунних підшипників (*перший критичний режим*). За дещо вищого тиску ( $P = 0,23 \text{ МПа}$ , *другий критичний режим*) спостерігається пульсуючий режим подачі масла до шатунних підшипників. Для кожного з цих режимів характерна певна циклічність, що пояснюється роботою своєрідного «регулятора витрати» через шатунні підшипники – зміною зазору в них унаслідок утворення прогину у вкладишах.

У момент спорожнення порожнини шатунного підшипника надходження масла зменшується, що призводить до погіршення тепловідведення, нагрівання вкладиша з боку робочої поверхні та появи прогину. Це зменшує зазор у підшипнику й, відповідно, знижує витрату масла через нього. Менша витрата масла сприяє заповненню порожнини за рахунок припливу, і в цей момент масло подається під сумарним тиском, який складається зі статичного та динамічного компонентів. Унаслідок цього витрата масла через підшипник зростає, покращується тепловідведення, і вкладиш повертається до початкового стану. Цикл повторюється: порожнина знову спорожняється, і подача масла відбувається лише під дією відцентрових сил у меншій кількості, що знову викликає прогин.

Таким чином, робота шатунних вкладишів значною мірою впливає на стабільність тиску в системі мащення. Саме тому під час експлуатації тиск у системі не повинен знижуватися нижче критичних значень (при  $n = 2600 \text{ хв}^{-1}$ ,  $P_k = 0,23 \text{ МПа}$ ) [21, 25].

Тепловий стан шатунних підшипників, а отже, і ймовірність їх провертання, значною мірою залежать від величини витрати масла через них та конструктивних особливостей підшипникових вузлів.

### 1.3. Загальні висновки та задачі досліджень

Аналіз експлуатаційних відмов двигуна КамАЗ дозволяє зробити такі висновки:

1. Однією з основних відмов двигуна КамАЗ під час експлуатації є *провертання шатунних вкладишів*, частка яких становить 20–26 %. Найчастіше ця відмова спостерігається на третій шатунній шийці у перший період роботи двигуна. Значної різниці в розподілі відмов між новими двигунами та тими, що пройшли ремонт, не виявлено.

2. Основними причинами провертання шатунних підшипників є:

- зниження тиску та витрати масла нижче допустимого рівня;
- зміна геометричної форми вкладишів унаслідок деформацій і зношування;
- конструктивні недоліки системи мащення;
- порушення технологічних процесів виготовлення;

- недосконалість технології ремонту;
- недотримання умов експлуатації.

Наразі залишаються невизначеними такі питання:

- оптимальна продуктивність масляного насоса та тиск масла в системі;
- раціональна схема подачі масла до шатунних підшипників;
- оптимальні розміри отвору підведення масла та ширина кільцевої

канавки у вкладишах.

Недостатньо вивченими залишаються:

- ефект пульсації потоку масла;
- тепловий стан підшипників;
- зміна параметрів мащення в процесі експлуатації.

Вирішення цих питань дозволить розробити рекомендації з удосконалення системи мащення двигуна КамАЗ-740.

На основі аналізу науково-технічних джерел і результатів досліджень надійності автомобілів КамАЗ під час експлуатації сформульовано мету та завдання дослідження.

Мета дослідження

Підвищення надійності шатунних підшипників автотракторних двигунів шляхом нанесення бронзового покриття на сталеві поверхні.

Завдання дослідження

1. Провести аналіз надійності двигунів, визначити причини їх виходу з ладу та встановити найбільш ненадійний вузол. Дослідити експлуатаційні дефекти деталей двигунів.
2. Виконати аналіз існуючих методів і способів нанесення зносостійких трибологічних покриттів на метал та розробити технологію відновлення посадкових поверхонь дослідної деталі.
3. Провести експериментальні дослідження наплавленого шару бронзи на відновлюваній поверхні деталі.
4. Визначити оптимальне співвідношення мікротвердостей поверхонь, за якого знос є мінімальним.
5. Розробити заходи щодо поліпшення умов праці робітників.

6. Виконати техніко-економічну оцінку результатів дослідження.

## 2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз причин виходу з ладу капітально відремонтованих двигунів КамАЗ

Дослідженню підлягав двигун № 5 автомобіля КамАЗ-5511. Після проведення ремонту, під час якого було замінено деталі кривошипно-шатунного механізму, двигун пропрацював приблизно 1500 км пробігу, після чого вийшов з ладу.

З метою вирішення поставлених завдань було проведено зовнішній огляд вузлів і деталей двигуна. У результаті огляду встановлено таке:

– Поршнева група – усі поршні (рис. 2.1) перебувають у доброму технічному стані, поршневі кільця зберегли рухливість і не мають ознак заклинювання.



Рисунок 2.1 – Поршнева група

Про перегрів двигуна свідчить наявність лакоутворення на спідницях поршнів та поршневих кільцях. При цьому натири на головках поршнів відсутні, як і ризики чи подряпини на спідницях, що могли б указувати на потрапляння забрудненого масла.

На поверхні головок поршнів помітний шар сажистих відкладень, який частково обсипався. Під другим компресійним та під маслознімними кільцями спостерігаються незначні сліди лакоутворення, характерні для нормальної експлуатації двигуна.

Блок циліндрів – гільзи блоку (рис. 2.2) чисті, без видимих слідів зносу чи подряпин, що свідчить про їх задовільний технічний стан.



Рисунок 2.2 – Виробітка блоку циліндрів

На посадкових місцях трьох середніх корінних опор спостерігаються припали, натири та кольори побіжності, що свідчить про локальний перегрів і порушення умов мащення. Також виявлено, що трубка підведення масла для охолодження поршня відсутня (рис. 2.3, 2.4), що могло істотно вплинути на тепловий режим роботи двигуна та сприяти розвитку дефектів.



Рисунок 2.3 – Виробітка вкладишів



Рисунок 2.4 – Поломка масляної трубки

Кришки корінних опор – на торцях трьох середніх кришок спостерігаються кольори побіжності, що є наслідком перегріву. Крайні кришки перебувають у робочому стані та не мають ознак пошкоджень (рис. 2.5).

Шатунні вкладиші – знаходяться у робочому стані без видимих дефектів.

Корінні вкладиші – у трьох середніх опорах вони розбиті, мають задири, а вкладиші середньої опори – розкатані (рис. 2.6). На частині вкладишів відсутні фіксувальні вусики, а на їх зовнішній поверхні спостерігаються задири (рис. 2.7), що свідчить про провертання вкладишів у посадкових місцях. Вкладиші крайніх опор перебувають у задовільному стані та мають лише незначні сліди зношування.

Вкладиші, представлені для експертизи, показано на рис. 2.8.



Рисунок 2.5 – Виробіток корінних опор (сліди кольорів побіглості)



Рисунок 2.6 – Виробітка корінних вкладишів (розплескані кінці)



Рисунок 2.7 – Виробітка корінних вкладишів (риски, подряпини та обірвані вусики)



Рисунок 2.8 – Вкладиші крайніх опор (знос незначний)

Опорні півкільця – перебувають у задовільному стані (рис. 2.9); на їхніх робочих поверхнях спостерігаються лише незначні сліди припрацювання, що відповідає нормальним умовам експлуатації.



Рисунок 2.9 – Опорні півкільця

Колінчастий вал – четверта шатунна шийка перебуває у задовільному стані (рис. 2.10). На інших трьох шатунних шийках спостерігаються натири (рис. 2.11, 2.12). Корінні шийки мають натири, задири та кольори побіжності різної інтенсивності на всіх поверхнях (рис. 2.10, 2.11, 2.12, 2.13), що свідчить про перегрів та порушення умов мащення під час роботи двигуна.



Рисунок 2.10 – Четверта шатунна шийка колінчастого вала

Маслоканали колінчастого вала чисті та не забиті брудом, що свідчить про їх нормальний технічний стан.



Рисунок 2.11 – Виробітка корінної шийки



Рисунок 2.12 – Виробітка шатунної шийки



Рисунок 2.13 – Кольори побіжності на корінній шийці свідчать про перегрів та

порушення теплового режиму роботи підшипникового вузла.

### **Аналіз результатів огляду деталей і вузлів двигуна**

Стан виявлених деталей свідчить про наявність у двигуні серйозної несправності – руйнування корінних вкладишів. Відсутність на навантажених поверхнях ковзання (зокрема на четвертій шатунній шийці) слідів припалів, натирів і рисок свідчить про те, що, по-перше, масло надходило в достатній кількості для змащення, а по-друге – воно було достатньо чистим, незважаючи на зовнішній вигляд масляного фільтра. Це означає, що на момент аварії фільтр виконував свої функції належним чином, а заявлена причина виходу двигуна з ладу – *«заклинило двигун»* (зі слів представників споживача) – є наслідком саме руйнування вкладишів корінних підшипників.

Кольори побіжності на торцях кришок 2-ї, 3-ї та 4-ї опор (рис. 2.5) вказують на перегрів цих опор. Відсутність фіксувальних вусиків на вкладишах, наявність припалів і натирів на постелях корінних вкладишів (рис. 2.3) підтверджують факт повертання корінних вкладишів.

Відсутність ознак перегріву на крайніх корінних опорах, а також відсутність дефектів на поверхні четвертої шатунної шийки свідчать, що причина виходу двигуна з ладу була локалізована в зоні 2–4 корінних опор. Саме в цій області зафіксовано критичний дефект – відсутність трубки підведення масла для охолодження поршня (рис. 2.3), що призвело до зниження тиску масла, яке надходило на змащення третього корінного підшипника, а згодом – до руйнування підшипника.

Подальша експлуатація двигуна з пошкодженим третім корінним підшипником спричинила руйнування 2-го та 4-го корінних підшипників, оскільки колінчастий вал без центральної опори почав прогинатися, перевантажуючи вкладиші сусідніх опор, які також поступово вийшли з ладу. Про те, що вкладиш 3-ї опори зруйнувався раніше, свідчить сильне розклепування саме цього вкладиша (рис. 2.6).

Дефекти поверхонь трьох шатунних шийок викликані погіршенням умов мащення – масло до шатунних шийок надходить через свердління від корінних, і при повертаннях вкладишів маслопідвідні канали перекриваються, що й призводить до таких пошкоджень. Подібні ознаки можуть спостерігатися й у випадку встановлення на двигун дефектного колінчастого вала з підвищеним биттям корінних шийок.

У конкретному випадку як відсутність трубки підведення масла, так і можливе підвищене биття корінних шийок є наслідком низької якості проведеного ремонту, тому подальша деталізація причин виходу двигуна з ладу не має практичного сенсу.

Щодо зафіксованого перепробігу автомобіля без проведення ТО на 1000 км, слід зазначити наступне:

– згідно з *Сервісною книжкою KAMAZ*, під час ТО-1000 км виконуються лише зовнішній огляд, підтяжка кріплень та низка регулювань без заміни масла. Його заміна передбачена лише під час ТО-5000 км. Отже, дефект, який почав розвиватися в двигуні, міг залишитися невиявленим при виконанні ТО-1000 км.

На поверхнях тертя деталей, які не зазнали аварійних ушкоджень, не виявлено слідів абразивного зношування, що виникає при наявності великої кількості продуктів зносу в маслі. Це свідчить про відсутність причинно-наслідкового зв'язку між руйнуванням двигуна та перепробігом.

Говорити про вплив перепробігу та пов'язаної з ним експлуатації двигуна з підвищеним вмістом продуктів зношування в маслі, що може впливати на працездатність деталей протягом гарантійного терміну, доцільно лише у випадку порушення строку проведення ТО-5500 км (строку заміни масла). Саме цей факт може бути підставою для скасування гарантійних зобов'язань у частині забезпечення працездатності третьових пар двигуна протягом гарантійного періоду.

Таким чином, подальші претензії, пов'язані з підвищеним зношуванням деталей двигуна, можуть не братися до уваги. Недотримання ж строків проведення регламентних робіт під час ТО-1000 км може призвести лише до виходу з ладу окремих вузлів і деталей, які підлягають обслуговуванню саме на цьому етапі.

## **2.2. Існуючі способи відновлення валів наплавленням зносостійкого металевго шару**

### **Мідь та її властивості.**

Мідь – це м'який, пластичний метал червонуватого кольору, який вирізняється високою теплопровідністю та електропровідністю, корозійною стійкістю та доброю оброблюваністю як у холодному, так і в гарячому стані. Через її відносну дефіцитність мідь зазвичай використовують у вигляді сплавів. Технічна мідь

маркується літерою М, після якої вказується число від 0 до 4: чим більше число, тим вищий вміст домішок. Наприклад, М00 містить 99,99 % чистої міді, тоді як М4 має близько 4 % домішок.

### **Латунь.**

Латунь – це сплав міді з цинком (до 45 %), до якого можуть додавати олово, марганець, алюміній, нікель, залізо, кремній та інші елементи для поліпшення фізичних і механічних властивостей. Латуні є дешевшими за мідь, але перевершують її за в'язкістю та корозійною стійкістю, а також мають добрі легувальні властивості. Прості латуні маркуються літерою Л, після якої вказується вміст міді у відсотках. Наприклад, Л68 містить 68 % міді та 32 % цинку.

### **Бронзи.**

Бронзи – це сплави міді з оловом, свинцем, алюмінієм, марганцем, фосфором, залізом та іншими елементами. За складом їх поділяють на олов'яні та безолов'яні (алюмінієві, марганцеві, кремнієві, свинцеві тощо). Найширше застосування мають олов'яні та алюмінієві бронзи. Маркування бронз здійснюється за аналогічним принципом, як і латуней: позначення БР, після якого вказуються легувальні елементи та їх вміст. Наприклад, БР-ОЦС 3-12-5 означає бронзу з 3 % олова, 12 % цинку, 5 % свинцю, решта – мідь.

### **Алюміній.**

Алюміній – легкий метал сріблясто-білого кольору з високою тепло та електропровідністю, корозійною та жаростійкістю. Температура його плавлення становить 658 °С. Чистий алюміній є м'яким і механічно неміцним. На його поверхні утворюється захисна оксидна плівка  $Al_2O_3$ , яка плавиться при 2050 °С і захищає метал від подальшого окиснення. Алюміній маркується літерою А з числом, що вказує його вміст.

Більшість технічно чистого алюмінію використовується для виготовлення сплавів з міддю, магнієм, цинком і марганцем, які відзначаються високими механічними та легувальними властивостями й легко обробляються. У машинобудуванні алюмінієві сплави застосовують для виготовлення корпусних деталей: блоків циліндрів, головок, поршнів, елементів кузова, різноманітних кришок тощо. У деталях з кольорових металів можуть виникати тріщини, обломи, зриви

різьби, які усуваються електродуговим або газовим зварюванням.

Попри порівняно низьку температуру плавлення ( $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), зварювання та наплавлення алюмінію має певні труднощі через утворення на його поверхні щільної тугоплавкої плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що перешкоджає з'єднанню деталей і ускладнює визначення моменту початку плавлення металу. Видалення плівки під час зварювання досягається дією електричного струму, складових флюсу або покриття електрода, а також механічним способом – загостреним сталевим гачком, нагрітим до  $700\ldots 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При зварюванні постійним струмом зворотної полярності (плюс на електроді) руйнування оксидної плівки відбувається протягом усього процесу горіння дуги. При змінному струмі це відбувається лише в півперіод, коли виріб є катодом. Механізм руйнування плівки полягає у впливі позитивних іонів, які, рухаючись з великою швидкістю, потрапляють на поверхню виробу, руйнуючи плівку та видаляючи її за допомогою катодного розпилення.

Порівняно тонку плівку  $\text{Al}_2\text{O}_3$  можна видалити дією струму, тоді як товсту плівку необхідно усувати механічними або хімічними методами.

Алюміній та його сплави зварюють методом плавлення за допомогою ацетилено-кисневого полум'я, електричної дуги (плавким або неплавким електродом), забезпечуючи руйнування оксидної плівки та надійний захист розплавленого металу від окиснення.

Для різних способів зварювання застосовують різні методи руйнування оксидної плівки та захисту шва. При газовому зварюванні використовують спеціальні флюси, а при дуговому – електроди зі спеціальним покриттям або інертний газ аргон. Флюси не погіршують властивостей зварного шва, оскільки не утворюють сполук з алюмінієм, а розкислюють плівку і стабілізують горіння дуги. Завдяки меншій густині порівняно з алюмінієм флюси легко спливають на поверхню зварювальної ванни й не забруднюють її.

Найпоширенішим є флюс АФ-4А, що містить 28 % хлористого натрію, 50 % хлористого калію, 14 % хлористого літію та 8 % фтористого натрію. Основним компонентом є хлористий літій. Щоб запобігти корозії зварних з'єднань, залишки флюсу та шлаку слід видалити одразу після завершення зварювання.

Зварювання алюмінію плавким металевим електродом є найбільш простим та економічним методом. Зазвичай електроди мають такий самий хімічний склад, як і основний метал. До складу їх покриття входить переважно флюс АФ-4А.

Для зварювання застосовують електроди марки ОЗА-1 та зварювальний дріт діаметром від 0,8 до 12,0 мм. Стандарт ГОСТ 7871-75 передбачає випуск 14 марок дроту:

- технічний алюміній: Св-А97, Св-А85Т, Св-А5;
- алюмінієво-марганцеві: Св-АМц;
- алюмінієво-магнієві: Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-АМг6, Св-АМг63, Св-АМг61, Св-1557;
- алюмінієво-кремнієві: Св-АК5, Св-АК10;
- алюмінієво-мідний: Св-1201.

Найбільш продуктивним і якісним способом відновлення деталей із алюмінію є аргонодугове зварювання (рис. 2.14).

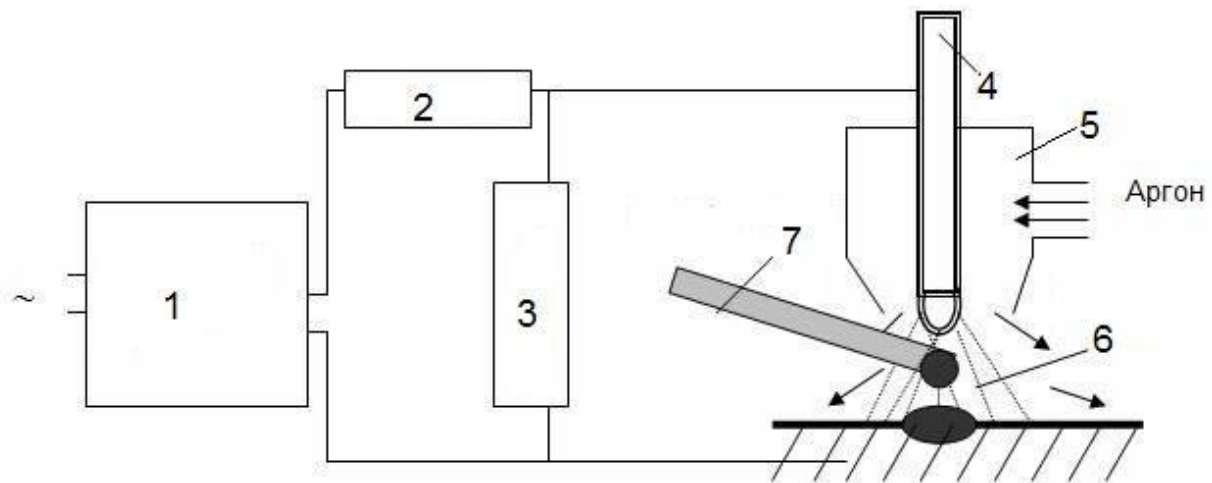


Рисунок 2.14 – Схема аргонодугового зварювання:

1 – зварювальний трансформатор; 2 – дросель; 3 – осцилятор; 4 – вольфрамовий електрод; 5 – пальник; 6 – електрична дуга; 7 – присадковий пруток.

При аргонодуговому зварюванні електрична дуга горить у середовищі інертного газу – аргону між неплавким вольфрамовим електродом і деталлю. Процес зварювання може виконуватися як із використанням присадкового матеріалу, так і без нього. Аргон забезпечує захист вольфрамового електрода та розплавленого металу від впливу кисню та азоту повітря.

Застосування вольфрамового електрода зумовлене його високою температурою плавлення – близько 4600 °С і значною термостійкістю. Для підвищення довговічності, полегшення запалювання дуги та стабілізації її горіння до складу електрода додають лантан або торій.

Аргонодугове зварювання може здійснюватися як на змінному, так і на постійному струмі. При зварюванні неплавким електродом на змінному струмі руйнування оксидної плівки досягається за рахунок катодного розпилення. Необхідність використання саме змінного струму пояснюється тим, що при зварюванні постійним струмом зворотної полярності можливе розплавлення вольфрамового електрода, а при прямій полярності утруднюється видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію.

Для виконання аргонодугового зварювання промисловість випускає установки типу УДГ-301, УДГ-501, УДАР-300, УДАР-500. Принципова схема такої установки наведена на рис. 3.10. Для полегшення збудження дуги в зварювальний ланцюг вмикається осцилятор – джерело високовольтних імпульсів підвищеної частоти. Захисний газ подається до пальника з балона через газовий редуктор, а витрата аргону визначається залежно від сили зварювального струму, яка, у свою чергу, залежить від товщини зварюваного металу.

Під час зварювання вісь вольфрамового електрода має бути нахилена у бік, протилежний напрямку зварювання, під кутом 20...60° (так зване зварювання «кут уперед»). Кут між віссю вольфрамового електрода та присадковим прутком повинен становити близько 90°. Переміщення зварювального пальника вздовж шва здійснюється вручну зварювальником.

### **2.3. Розробка технологічної документації на відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу КамАЗ 740**

#### **Характеристика деталі та експлуатаційні дефекти.**

Колінчастий вал є однією з найважливіших деталей двигуна внутрішнього згорання, що перетворює зворотно-поступальний рух поршнів на обертальний. У процесі експлуатації на його поверхні діють значні механічні навантаження, тертя, температурні коливання та фізико-хімічні процеси, що призводить до зношування та появи різноманітних дефектів. Найчастішими з них є згин валу, знос посадкових

місць під шестерні, противаги, маховик, деформація та знос шпонкових пазів, а також зменшення діаметра корінних і шатунних шийок.

### **Відновлення посадкових поверхонь.**

Серед усіх дефектів колінчастого вала найпоширенішими є зноси посадкових поверхонь. До таких поверхонь відносяться місця під установку шківів, шестірень, маховика, противаг (ЯМЗ-238НБ, СМД-60), сальників (ЯМЗ-238НБ) та ущільнювальних упорних кілець (ЯМЗ-240Б).

Відновлення зношених посадкових поверхонь виконують методом вібродугового наплавлення дротом Св18ХГС діаметром 1,2 мм (ГОСТ 2246-70) у середовищі вуглекислого газу. Для цього застосовують установку, яка складається з наплавлювальної головки ОКС-1252М, зварювального перетворювача та токарно-гвинторізного верстата.

Після наплавлення поверхні обточують та шліфують. Режими обробки:

- частота обертання при обточуванні – 200 об/хв, подача – 0,3 мм/об;
- частота обертання при шліфуванні – 125 об/хв, подача – 0,005 мм/об.

Обточування виконують на верстаті 163М, а шліфування – на круглошліфувальному верстаті 3Б161.

Торцеве биття поверхні під маховик або фланець усувають проточуванням на токарному верстаті з припуском не більше 0,1...0,2 мм.

### **Відновлення отворів і шпонкових пазів.**

Зношені отвори під штифти маховика та підшипник вала зчеплення, а також шпонкові пази заварюють дротом Св08Г2С (ГОСТ 2246-70) у середовищі CO<sub>2</sub>. Для цього застосовують напівавтомат А-547Р та зварювальний випрямляч ВР-300.

Альтернативний метод – установка втулок: отвір розточують, виготовляють втулку, запресовують її, після чого знову розточують до необхідного розміру з точністю  $\pm 0,03$  мм. Після обробки товщина втулки повинна становити 2...3 мм, овальність і конусність – не більше 0,03 мм.

Заварені отвори після зачищення обробляють на радіально-свердлильному верстаті 2Н53 з використанням накладних кондукторів, щоб зберегти початкове розташування осей. Шпонкові пази після заварювання фрезерують на горизонтально-

фрезерному верстаті 6М82Г, забезпечуючи правильність розподілу газів і паралельність бокових стінок площині симетрії вала.

### **Відновлення різьблення.**

При зношенні або зриві більше двох ниток різьбу підлягає відновленню. Незначні ушкодження усувають калібруванням, а більш значні – наплавленням дротом Св18ХГС у середовищі СО<sub>2</sub>. Перед наплавленням стару різьбу обточують, щоб уникнути включень шлаку в новому шарі металу. Товщина наплавленого шару повинна бути 2...3 мм, після чого нарізають різьбу потрібного розміру.

Різьбу в отворах для кріплення маховика або шківів відновлюють спіральними вставками. Маслозгінну різьбу при зношенні поглиблюють різцем до нормальної глибини, після чого шийку шліфують, зачищають і полірують.

### **Ремонт і відновлення корінних та шатунних шийок.**

Зношені шийки перешліфовують на ремонтні розміри. Для цього застосовують універсальний верстат 3А423 або спеціалізовані моделі:

- ХШ2-12 – для шліфування корінних шийок;
- ХШ2-01 – для шатунних шийок.

Шліфування виконують після усунення всіх інших дефектів. Спочатку обробляють корінні шийки, потім – шатунні. Для зменшення похибки базування використовують центрозміщувачі з базуванням по крайніх корінних шийках, що дозволяють досягти точності  $\leq 0,03$  мм.

Шліфування проводять алундовими або електрокорундовими колами зернистістю 16...60, твердістю СМ2, С1, СТ1 або СТ2.

- колова швидкість кола – 25...35 м/с;
- швидкість поверхні – 18...25 м/хв (корінні шийки) або 7...12 м/хв (шатунні);
- поперечна подача – 0,003...0,006 мм/об;
- поздовжня – 7...11 мм/об.

Для запобігання мікротріщинам використовують рясне охолодження 3–4% розчином кальцинованої соди або емульсією. Перед шліфуванням поглиблюють фаски масляних каналів, які також полірують.

Фінішну обробку здійснюють поліруванням на стенді 6749 із застосуванням алмазної нескінченної стрічки або методом суперфінішування на напівавтоматі 3875 До з абразивними або алмазними брусками. Останній спосіб забезпечує високу якість поверхні та збільшує ресурс деталі.

#### **Технічні характеристики деталі:**

- Каталогний номер: 238-1005015Г
- Матеріал: сталь 50 Г-СШ (ГОСТ 8479-70)
- Твердість: 207...255 НВ; шийки – 54...57 HRC<sub>e</sub>
- Маса: 94 кг

#### **Найпоширеніші дефекти колінчастого вала:**

- згин валу;
- знос посадкових місць під шестерні та противаги;
- деформація або знос шпонкових пазів;
- зношування корінних і шатунних шийок.

Таблиця 2.1 – Перелік дефектів колінчастого вала та способи їх усунення

| №<br>п/п | Дефект                            | Спосіб усунення дефекту                         |                                                       |
|----------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|          |                                   | Основний                                        | Допустимий                                            |
| 1        | Знос корінних шийок до Ø 108,7 мм | Електродугове наплавлення дротом ПП-25Х5 ФМС-0, | Електродугове наплавлення дротом НП-40 Х-12 під шаром |
| 2        | Знос шатунних шийок до Ø 86,7 мм  | Обробка до номінального розміру                 | флюсу, обробка до номінального розміру                |

#### **План технологічних операцій відновлення вала**

##### **005. Шліфувальна (деф. 1, 2)**

Виконується шліфування поверхонь 1 ... 9 до повного усунення слідів зношення.

Обладнання: кругло-шліфувальний верстат 3А-423. Оснастка: патрон 7100-

0009, напівцентр 7032-0079, упорний центр 7032-0020, хомут 7107-0005, центрозміщувач 70-7132-1518. Інструмент: шліфувальний круг ПП 1060×30×305 Э9А 25 ст 15к5. Контроль: мікрометри МК-125-1, МК-100-1.

#### **010. Слюсарна (деф. 1, 2)**

Виконується заглушення отворів масляних каналів на шийках 1 ... 9 графітовими пробками.

Обладнання: слюсарний верстак ОРГ-1468-01-060 А. Інструмент: хрестова викрутка, металева лінійка 0 ... 100 мм.

#### **015. Наплавлювальна (деф. 2)**

Наплавлення поверхонь 6 ... 9 порошковим дротом ПП 25×5 ФМС-0 (ГОСТ 2246-70).

Обладнання: наплавлювальний верстат У-653 М, центрозміщувач 70-7132-1518. Додатково: металева щітка, цеховий шаблон.

#### **020. Пресова (деф. 2)**

Усунення деформації (згину) вала.

Обладнання: шахтна піч СШО-10.10/ІОМІ, гідравлічний прес 2135-І, цеховий пристрій та стійка С-ІУ, індикатор ИЧ-2. Додатково: цехове освітлення, кліщі.

#### **025. Наплавлювальна (деф. 1)**

Наплавлення поверхонь 1 ... 5 порошковим дротом ПП 25×5 ФМС-0 (ГОСТ 2246-70).

Обладнання: У-653 М, центрозміщувач 70-7132-1518, металева щітка, цеховий шаблон.

#### **030. Шліфувальна (деф. 1, 2)**

Шліфування поверхонь 1 ... 9 після наплавлення.

Оснащення як в операції 005, шліфувальний круг ПП 1060×30×305 14А32-ПСМі-С2.

#### **035. Свердлильна (деф. 1, 2)**

Розкриття масляних каналів на шийках 1 і зняття фасок.

Обладнання: радіально-свердлильний верстат 2М55, цеховий кондуктор. Інструмент: набір 53 ИН-280, свердло 2301-1320.

#### **040. Суперфінішувальна (деф. 1, 2)**

Суперфінішна обробка поверхонь 1 ... 9 для досягнення необхідної шорсткості.

Обладнання: суперфінішувальний верстат 3875 К, центрозміщувач 70-7132-1518. Інструмент: абразивні бруски 25АМ20 СМ2-С1 7к6 (ГОСТ 2456-82), мікрометри МК-125-1, МК-100-1, еталони шорсткості.

#### **045. Контрольна**

Фінальна перевірка якості наплавлення та механічної обробки згідно з вимогами креслень.

Обладнання: стіл УЧ29700.00.000, прилад ПБП-1000, комплект вимірювальних засобів 03,06-133 «Ремдеталь».

### **2.3.3. Вибір режимів технології відновлення колінчастого вала та розрахунок норм часу**

Режими виконання операцій з відновлення шийок колінчастого вала визначаються на основі технічних характеристик застосованого обладнання та рекомендацій (2, 3). Норми часу розраховуються за методиками технічного нормування, а також за типовими нормативами для механічної та слюсарної обробки (1).

#### **005. Шліфувальна операція**

- Перехід 1 ... 5: шліфування поверхонь 1 ... 5 з діаметра Ø108,6 мм до Ø108,3 мм на довжині 50 мм × 5.
- Перехід 6 ... 9: переустановлення вала у центрозміщувачах і шліфування поверхонь 6 ... 9 з діаметра Ø86,6 мм до Ø86,3 мм на довжині 72 мм × 4.

Режим шліфування визначається з урахуванням:

- швидкості обертання шліфувального круга та деталі;
- поздовжньої та поперечної подачі;
- глибини зняття шару за прохід;
- необхідності забезпечення стабільного охолодження зони різання.

Після обробки одного-двох валів рекомендується доводити шліфувальний круг алмазним олівцем для збереження форми та різальних властивостей.

Визначити режим шліфування можна за формулами 2.1 – 2.3 а розрахунок виконується так:

$$h = \frac{108,6-108,2}{2} = 0,2 \text{ мм}$$

$$S_{\text{пол}} = 0,04 \text{ мм}; V = 23 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{пр}} = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ мм/об}; \quad i = \frac{0,2}{0,04} = 5; \quad n^{1...5} = \frac{318 \cdot 23}{108,6} = 67 \text{ хв}^{-1}$$

Основний шліфувальний час визначаємо за формулою 2.4, а розрахунок має вигляд:

$$T_0^{1...5} = \frac{(50+3)+(50-3) \cdot 4 \cdot 5}{67 \cdot 9} \cdot 1,2 = 1,32 \text{ хв}$$

де:

- LLL – довжина повздовжнього ходу столу, мм:
  - при шліфуванні на прохід:

$$L = l + (0,2 \dots 0,4) B_k$$

- при шліфуванні в упор:

$$L = l - (0,4 \dots 0,6) B_k$$

- III – довжина оброблюваної поверхні, мм;
- $B_k$  – ширина шліфувального круга, мм.

Ці залежності враховують додатковий хід столу, необхідний для забезпечення повного контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею або, навпаки, скорочення ходу при роботі в упор.

$k$  – коефіцієнт точності, що враховує ступінь точності обробки:

- для чорнового шліфування  $k=1,1$ ;
- для чистового шліфування  $k=1,4$ .

Цей коефіцієнт застосовується для коригування розрахунків часу обробки залежно від необхідної точності та якості поверхні.

$$T_0^{6...9} = \frac{(72-30) \cdot 4 \cdot 5}{84 \cdot 9} \cdot 1,2 = 1,33 \text{ хв}$$

$$T_0 = 1,32 + 1,33 = 2,65 \text{ хв}$$

Допоміжний час, який витрачається на встановлення та зняття деталі, а також пов'язаний із виконанням окремого проходу, визначається за формулою 2.5, а розрахунок має вигляд:

$$T_{\text{доп}}^{I(1...5)} = 3,2 \text{ хв}; \quad T_{\text{доп}}^{II(1...5)} = 1,2 + (0,7 \cdot 4) + (0,05 \cdot 20) = 5 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}}^{I(6...9)} = 3,2 + (0,2 \cdot 3) = 3,8 \text{ хв (враховуючи 0020ас провертання валу на 90°)}$$

$$T_{\text{доп}}^{II(6...9)} = 1,2 + (0,7 \cdot 3) + (0,05 \cdot 16) = 4,1 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}} = 3,2 + 5,0 + 3,8 + 4,1 = 16,1 \text{ хв}$$

Оперативний час виконання операції обчислюється за формулою 2.6, розрахунок має вигляд :

$$T_{\text{доп}} = 2,65 + 16,1 = 18,75 \text{ хв}$$

Додатковий час операції розраховується за формулою 2.7, розрахунок має вигляд:

$$T_{\text{дод}} = \frac{18,75 \cdot 9}{100} = 1,69 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час операції становить:

$$T_{\text{пз}} = 8 \text{ хв.}$$

Норму часу на виконання операції визначають за формулою 2.8, розраховується так:

$$T_{\text{н}} = 2,65 + 16,1 + 1,69 + 8/8 = 21,4 \text{ хв.}$$

### 010 Слюсарна

Перехід 1...9. Виконується заглушення отворів масляних каналів на шийках за допомогою графітових заглушок.

Нормативний час на виконання даної операції розраховується за формулою:

$$T_{\text{н}} = 0,43 \cdot 9 = 3,9 \text{ хв}$$

### 015 Наплавлювальна

Перехід 1...4. Виконати наплавлення поверхонь 6...9 з діаметра Ø86,3 мм до Ø89,6 на довжині 72 мм × 4. Наплавлення здійснюється для відновлення зношених поверхонь до необхідних розмірів із забезпеченням необхідних механічних властивостей та геометричної точності.

Режим наплавлення:

- Товщина наплавленого шару металу, мм – 2
- Діаметр електродного дроту, мм – 3

- Напруга дуги, В – 16...18
- Сила струму, А – 140...150
- Швидкість наплавлення, м/год – 0,75
- Крок наплавлення, мм – 7

Зазначені режими забезпечують рівномірне формування наплавленого шару, високу якість металу та мінімальні внутрішні напруження в зоні наплавлення.

$$n = \frac{318 \cdot 0,75}{86,3} = 3 \text{ хв}^{-1}$$

Основний час наплавлення визначається за формулою 2.9, розрахунок має вигляд:

$$T_0^{1...4} = \frac{(72 \cdot 4) \cdot 1}{3 \cdot 7} = 13,71 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}}^1 = 1,4 + (0,2 \cdot 3) = 2,0 \text{ хв} = 0,6 \cdot 4 = 2,4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}} = 2,0 + 2,4 = 4,4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{оп}} = 13,71 + 4,4 = 18,11 \text{ хв}$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{18,11 \cdot 15}{100} = 2,72 \text{ хв}$$

$$T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{н}} = 13,71 + 4,4 + 2,72 + 16/8 = 22,8 \text{ хв}$$

## 020 Пресова

Перехід 1. Завантажити колінчастий вал у шахтну піч, попередньо нагріту до температури  $T = 600^\circ\text{C}$ , та витримати його протягом 30 хвилин для забезпечення рівномірного прогріву металу перед виправленням.

Перехід 2. Після нагрівання встановити вал у спеціальний пристрій на гідравлічному пресі та виконати виправлення до повного усунення згину, контролюючи процес за допомогою індикаторного пристрою для досягнення необхідної прямолінійності.

$$T_{\text{шт}}^1 = \frac{30}{8} = 3,75 \text{ хв.}, \quad T_{\text{пз}} = \frac{15}{8} = 1,87 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}}^2 = 4 \text{ хв.}, \quad T_{\text{пз}} = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ хв}$$

$$T_{\text{н}} = 3,75 + 1,87 + 4,0 + 1,25 = 10,9 \text{ хв}$$

### 025 Наплавлювальна

Перехід 1...5. Виконати наплавлення поверхонь 1...5, збільшуючи їх діаметр з Ø108,3 мм до Ø111,6 мм на довжині 50 мм × 5, забезпечуючи рівномірне нанесення наплавлювального шару та дотримання необхідної геометрії для подальшої механічної обробки.

$$n = \frac{318 \cdot 0,75}{108,3} = 3 \text{ хв}^{-1}$$

$$T_0^{1...5} = \frac{(50 \cdot 5) \cdot 1}{3 \cdot 7} = 11,9 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}}^{\text{I}} = 1,4 \text{ хв.}, \quad T_{\text{доп}}^{\text{II}} = 0,6 \cdot 5 = 3,0 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}} = 1,4 + 3,0 = 4,4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{оп}} = 11,9 + 4,4 = 16,3 \text{ хв}$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{16,3 \cdot 15}{100} = 2,44 \text{ хв}$$

$$T_{\text{пз}} = 16 \text{ хв}$$

$$T_{\text{н}} = 11,9 + 4,4 + 2,44 + \frac{16}{8} = 20,7 \text{ хв}$$

### 030 Шліфувальна

Перехід 1...5. Виконати шліфування поверхонь 1...5, зменшуючи діаметр із Ø111,6 мм до Ø110–0,002 мм на довжині 50 мм × 5, забезпечуючи необхідну точність і чистоту поверхні.

Перехід 6...9. Провести шліфування поверхонь 6...9, зменшуючи діаметр із Ø89,6 мм до Ø88–0,002 мм на довжині 72 мм × 4, досягаючи встановлених параметрів точності.

Режим шліфування:

- глибина зняття шару:  $h = 0,8 \text{ мм}$
- поперечна подача:  $S_{\text{поп}} = 0,01 \text{ мм}$

– швидкість шліфування:  $V = 35 \text{ м/хв}$

$$S_{\text{пр}} = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ мм/об}, \quad i = \frac{0,8}{0,01} = 80$$

$$n^{1...5} = \frac{318 \cdot 35}{11,6} = 100 \text{ хв}^{-1}, \quad n^{6...9} = \frac{318 \cdot 35}{89,6} = 124 \text{ хв}^{-1}$$

$$T_0^{1...5} = \frac{(50+3)+100 \cdot (50-30) \cdot 4 \cdot 80}{100 \cdot 9} \cdot 1,4 = 16,55 \text{ хв}$$

$$T_0^{6...9} = \frac{(72-30) \cdot 4 \cdot 80}{124 \cdot 9} \cdot 1,4 = 16,86 \text{ хв}$$

$$T_0 = 16,55 + 16,86 = 33,41 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}} = 16,1 \text{ хв (операція 005)}$$

$$T_{\text{оп}} = 33,41 + 16,1 = 49,51 \text{ хв}$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{49,51 \cdot 9}{100} = 4,45 \text{ хв}$$

$$T_{\text{пз}} = 8 \text{ хв}$$

$$T_{\text{н}} = 33,41 + 16,1 + 4,45 + \frac{8}{8} = 55 \text{ хв}$$

### 035 Свердлильна

Перехід 1...9. Виконати розкриття масляних каналів на шийках валу для забезпечення вільного проходження мастильних матеріалів та відновлення працездатності системи мащення.

Перехід 10...19. Зняти фаски на отворах масляних каналів шийок валу з метою усунення задирок, покращення змащення під час експлуатації та запобігання утворенню тріщин і концентрації напружень.

$$T_{\text{н}}^{1...9} = 0,43 \cdot 9 = 3,9 \text{ хв}$$

Для переходів 10...19 режим обробки визначаємо з урахуванням діаметра отворів, матеріалу деталі та вимог до чистоти обробленої поверхні:

$$S = 0,5 \text{ мм/об.}, \quad V = 23 \text{ м/хв.},$$

$$V_p = 23 \cdot 0,62 \cdot 0,95 = 13,5 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{318 \cdot 13,5}{25} = 172 \text{ хв}^{-1}$$

$$T_0^{10...19} = \frac{2,5 \cdot 5}{172 \cdot 0,5} \cdot 9 = 0,78 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}}^I = 1,4 + (0,12 \cdot 8) = 2,36 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}}^{II} = 0,12 + (0,05 \cdot 8) = 0,62 \text{ хв}$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{3,66 \cdot 6}{100} = 0,22 \text{ хв}$$

$$T_{\text{пз}} = 4 \text{ хв}$$

$$T_{\text{н}} = 0,78 + 2,88 + 0,22 + \frac{4}{8} = 4,38 \text{ хв}$$

$$T_3 = 3,9 + 4,38 = 8,3 \text{ хв}$$

#### 040 Суперфінішувальна

Перехід 1...5. Провести суперфінішування поверхонь 1...5 діаметром з Ø110 – 0,02 мм до Ø110 – 0,022 мм на довжині 50 мм × 5.

Перехід 6...9. Виконати суперфінішування поверхонь 6...9 діаметром з Ø88 – 0,002 мм до Ø88 – 0,022 мм на довжині 72 мм × 4.

Режим обробки:

- Частота обертання шпинделя:  $n=60 \text{ хв}^{-1}$
- Поперечна подача:  $S_{\text{поп}}=0,003 \text{ мм}$
- Поздовжня подача:  $S_{\text{пр}}=9 \text{ мм/об}$
- Кількість подвійних ходів:  $i=7$

Такий режим забезпечує високоточну фінішну обробку поверхонь, мінімальну шорсткість і підвищення зносостійкості шийок колінчастого вала.

$$T_0^{1...5} = \frac{(50+3)+(50-30) \cdot 4 \cdot 7}{60 \cdot 9} \cdot 1,7 = 2,93 \text{ хв}$$

$$T_0^{6...9} = \frac{(72-30) \cdot 4 \cdot 7}{60 \cdot 9} \cdot 1,7 = 3,7 \text{ хв}$$

$$T_0 = 2,9 + 3,7 = 6,63 \text{ хв}$$

$$T_{\text{доп}} = 16,1 \text{ хв (операція 005)}$$

$$T_{\text{оп}} = 6,63 + 16,1 = 22,73 \text{ хв}$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{22,73 \cdot 9}{100} = 2,04 \text{ хв}$$

$$T_{пз} = 8 \text{ хв}$$

$$T_n = 6,63 + 16,1 + 2,04 + 8/8 = 25,8 \text{ хв}$$

Норма часу на відновлення колінчастого вала становить:

$$T_{нв} = 21,4 + 3,9 + 22,8 + (10,9 \cdot P, 28) + 20,7 + 55 + 8,3 + 25,8 = 160,95 \text{ хв.год.}$$

Під час розроблення технологічної документації для відновлення колінчастого вала складають маршрутну карту на усунення дефектів, зазначених у ремонтному кресленні, а також операційну карту процесу наплавлення.

Режими наплавлення за базовою та удосконаленою технологіями наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Режимы наплавлення

| № | Параметр                             | Одиниця<br>вимірювання | Технологія |            |
|---|--------------------------------------|------------------------|------------|------------|
|   |                                      |                        | Базова     | Розроблена |
| 1 | Товщина наплавлювального шару металу | мм                     | 2          | 2          |
| 2 | Діаметр електродного дроту           | мм                     | 3          | 3          |
| 3 | Напруга дуги                         | В                      | 16         | 16         |
| 4 | Сила струму                          | А                      | 140        | 140        |
| 5 | Швидкість наплавки                   | м/хв                   | 0,75       | 0,75       |
| 6 | Крок наплавки                        | мм                     | 7          | 7          |
| 7 | Частота обертання                    | хв <sup>-1</sup>       | 3          | 3          |
| 8 | Основний час наплавки                | хв                     | 13,71      | 11,9       |
| 9 | Норма часу на операцію               | хв                     | 22,8       | 20,7       |

Таким чином, розроблена технологія дозволяє скоротити тривалість процесу наплавлення на 8,7 %, що є досить високим показником ефективності.

На рисунку 2.15 представлено залежність діаметра деталі від сили струму під час наплавлення.

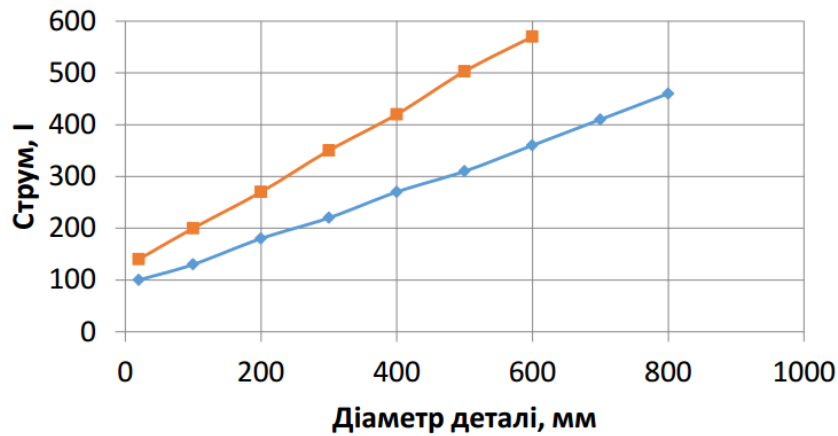


Рисунок 2.15 – Залежність діаметра деталі від сили струму під час наплавлення.

Виходячи з обраного значення сили струму, підбирають відповідний діаметр електродного дроту.

### Висновок

Проведено аналіз експлуатаційної надійності деталей двигунів, встановлено характер зношування та основні причини їх виходу з ладу. Визначено оптимальний метод відновлення деталей шляхом наплавлення антифрикційних матеріалів – міді та бронзи – на сталеву поверхню.

Розроблено технологічний процес відновлення колінчастого вала із застосуванням наплавлення бронзи на сталеві шийки вала. Час відновлення вала за цією технологією становить 2,6 години, що на 8,7 % менше, ніж за базовою технологією.

### 3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Зміна фізико-механічних характеристик поверхневого шару, яка відбувається під час процесу ЕІО, зумовлена насамперед перетвореннями фазового та структурного складу як нанесених матеріалів, так і самої підкладки. Для вивчення цих змін у дослідженні були застосовані такі методи, як металографічний аналіз, рентгеноструктурні дослідження та растрова електронна мікроскопія.

#### 3.1. Програма і загальна методика експериментальних досліджень

Увесь комплекс експериментальних досліджень було поділено на три основні етапи.

Перший етап передбачав виконання літературного аналізу причин відмов двигунів КамАЗ-740, що експлуатувалися, а також вивчення існуючих методів і технологій відновлення їх працездатності. Встановлено, що у більшості випадків спостерігається зношування тертьових поверхонь пари *«шийка колінчастого вала – вкладиш»*, і оптимальним методом їх відновлення є електроіскрова обробка (ЕІО). Додатково проведено аналіз робіт, у яких розглядається взаємозв'язок параметрів структури та субструктури покриттів із їх експлуатаційними характеристиками.

Другий етап включав нанесення покриття зі сталі 65Г та Св-08 методом ЕІО на зношені поверхні деталей. Проводилось експериментальне визначення фазового та хімічного складу модифікованого поверхневого шару, вивчався його вплив на властивості покриття. Досліджувались мікроструктура, зміни мікротвердості по глибині шару, параметри субструктури та напружений стан утвореної поверхні, а також триботехнічні характеристики одержаних пар тертя. Додатково встановлювався взаємозв'язок фізико-механічних параметрів підкладки та нанесеного покриття.

Третій етап полягав у розробці рекомендацій та внесенні коригувань до існуючої технології відновлення й зміцнення поверхонь шийок колінчастого вала та вкладишів. Запропоновані зміни дозволяють забезпечити необхідні експлуатаційні показники нової деталі, передбачені технічними умовами, за умов дотримання правил експлуатації. Також було проведено розрахунок техніко-економічної ефективності розроблених рекомендацій.

Збір даних про технічний стан двигунів здійснювався як безпосередньо у господарствах, так і в спеціалізованих ремонтних майстернях. Двигуни, зняті з автомобілів, перевірялися на стендах марки КС-276-03 із застосуванням відповідних пристроїв. Нанесення покриттів на шийки виконувалося на установці «Елітрон-22Б», модернізованій під токарно-гвинторізний верстат для обробки циліндричних поверхонь. Триботехнічні характеристики відновлених зразків визначались на машині Гросселя МИ-2.

Кількість лабораторних дослідів визначалася з урахуванням забезпечення надійності результатів на рівні 0,90 і похибки не більше 10%, згідно з прийнятими стандартами. Оскільки відсутні дані для встановлення необхідної повторюваності експериментів, прийнято триразову повторність як мінімальну.

Граничні значення структурних параметрів технічного стану визначалися за методикою, що дозволяє встановити взаємозв'язок між якістю відновлення, втратою робочої рідини та працездатністю двигуна. З метою зменшення обсягу робіт при визначенні функціональних залежностей параметрів технічного стану від напрацювання застосовано статистичний метод, при якому збір даних здійснювався шляхом періодичних спостережень (разових обстежень) двигунів. Кількість об'єктів дослідження визначалась так, щоб отримати оцінки показників надійності з довірчою імовірністю 0,9 і відносною похибкою 0,15.

У ході випробувань як робочу рідину використовували моторне масло МГ-10К2 (ТУ 38101.179-71). Агрегати випробовувалися з об'ємом масла, передбаченим заводськими вимогами, при температурі  $90 \pm 5$  °С.

Обробку експериментальних даних виконували методом найменших квадратів. Апроксимуючі функції підбирали з урахуванням максимальної відповідності експериментальним результатам. Розв'язання всіх завдань експериментальних досліджень здійснювалось за окремими детальними методиками.

### 3.2. Характеристика установки ЕІО й методика формування зміцнених та відновлених поверхонь

Для проведення електроіскрової обробки (ЕІО) матеріалів застосовують різноманітні схеми генераторів імпульсного струму та напруги, які відрізняються між собою як принципом дії, так і технологічним ефектом [33].

Однією з найефективніших є установка «Элитрон-22Б», що оснащена розділеним генератором імпульсного струму. Вона призначена для нанесення покриттів методом ЕІО на зношені поверхні деталей та для їх зміцнення. Сфера застосування установки досить широка: вона використовується для відновлення посадкових місць валів, корпусів під підшипники, зубчастих коліс, ущільнювальних манжет, муфт, шліцевих з'єднань, юбок і бобишок поршнів, гільз циліндрів, поршневих пальців (у механізованому режимі), нижніх головок шатунів, корінних опор блоку циліндрів, корпусів вакуумних і масляних насосів, робочих поверхонь гвинтів та електричних контактів тощо. Також установка ефективна для зміцнення робочих поверхонь деталей і ріжучого інструменту, що дозволяє суттєво підвищити їх зносостійкість та довговічність.

Основні енергетичні характеристики установки – такі як амплітуда імпульсів напруги на накопичувальних конденсаторах, енергія розряду та середнє значення зарядного струму – наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Енергетичні характеристики установки «Элитрон-22БМ»

| Найменування параметра                                | Режими установки |             |       |               |         |
|-------------------------------------------------------|------------------|-------------|-------|---------------|---------|
|                                                       |                  | 2           | 3     | 4             | 5       |
| Середнє значення зарядного струму, А                  | 0,3              | 0,4         | 0,6   | 2,6           | 3,8     |
| Амплітуда напруги на накопичувальному конденсаторі, В | 45               | 67          | 67    | 96            | 96      |
| Ємність накопичувальних конденсаторів, мкФ $\pm 30\%$ | 60 $\pm$ 20      | 60 $\pm$ 20 | 60+20 | 360 $\pm$ 120 | 360+120 |

|                                   |         |      |      |      |      |
|-----------------------------------|---------|------|------|------|------|
| Енергія розряду, Дж               | 0,06    | 0,13 | 0,28 | 0,81 | 1,66 |
| Частота вібрації електрода, Гц    | 150-350 |      |      |      |      |
| Амплітуда коливання електрода, мм | 1-10    |      |      |      |      |
| Тривалість затримки імпульсів, мс | 0,2-3,5 |      |      |      |      |

Об'єм матеріалу, який наноситься на робочу поверхню деталі під час електроіскрової обробки, а відповідно й збільшення її розмірів, безпосередньо залежить від кількості та енергії імпульсів. На початковому етапі нанесення покриття при використанні режимів із високою енергією розряду спостерігається найбільш інтенсивний перенос металу, однак у подальшому ця кількість суттєво зменшується.

Тривалість періоду максимальної інтенсивності перенесення матеріалу визначається рядом факторів, серед яких:

- хімічний склад електродного матеріалу,
- матеріал деталі, що обробляється,
- електромеханічні характеристики інструментів, зокрема вібраторів, які впливають на стабільність процесу нанесення.

При застосуванні установки типу «Элитрон-22Б» для електроіскрового наплавлення можливо сформувати якісне покриття товщиною до 0,3 мм з глибиною дифузійного шару до 0,6 мм, що забезпечує високі експлуатаційні властивості відновлених деталей.

Ця установка входить до складу електроіскрового комплексу БИГ-3, структурна схема якого зображена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Комплекс обладнання для електроіскрового наплавлення циліндричних поверхонь.

### 3.3. Обробка результатів вимірів

Дослідження твердості сформованих покриттів при електроіскровій обробці (ЕІО), їх товщини та інших характеристик ускладнюється через неоднорідність структури нанесеного шару, що призводить до значних похибок під час вимірювань. Тому для отримання достовірних і репрезентативних результатів необхідно виконувати багаторазові вимірювання досліджуваних параметрів.

Отримані результати підлягали статистичній обробці за загальноприйнятими методами аналізу експериментальних даних [34].

Середнє значення емпірично визначених величин розраховували за формулою (3.1)

Де  $X_1$  – значення випадкової величини окремого вимірювання;

$N$  – загальна кількість виконаних вимірів.

Емпіричну дисперсію  $S^2$  обчислювали за формулою 3.2.

де  $m_i$  – відносна частота.

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma_x$  знаходимо по формулі 3.3.

Задавши коефіцієнт надійності  $\beta=0,9-0,95$ , межі довірчого інтервалу визначали за формулою 3.4.

де  $t_\beta$  – коефіцієнт Стюдента, що визначається залежно від обсягу вибірки.

### 3.4. Триботехнічні випробування відновлених пар тертя

Трибологічні випробування здійснювалися на машині тертя типу Тимкена, яка складається з електродвигуна, ролика та навантажувального механізму (рис. 3.2).

Модифікація конструкції машини полягала у заміні сталевго блоку квадратного перерізу на циліндричний сталевий зразок довжиною 24 мм і діаметром 8 мм [35].

У результаті під час роботи машини забезпечується тертя сталевго кільця об сталевий ролик. Використання циліндричного елемента замість блоку квадратного перерізу дає змогу зменшити площу контакту і, відповідно, підвищити тиск у зоні тертя.

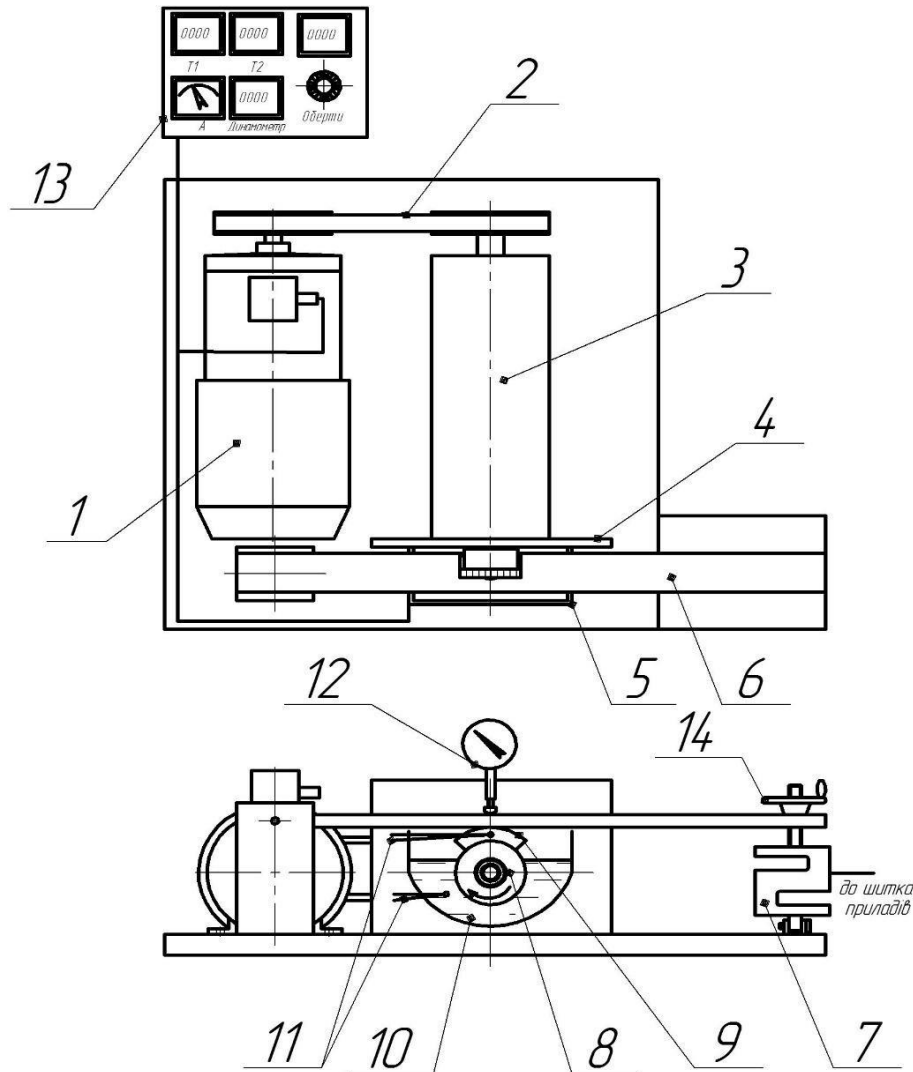


Рисунок 3.2 – Схема установки для випробування присадок:

1 – електродвигун; 2 – пасова передача; 3 – підшипниковий вузол; 4 – опорна плита; 5 – чаша; 6 – навантажувальний важіль; 7 – динамометр; 8 – дисковий контрзразок; 9 – зразок; 10 – робоча рідина; 11 – датчики температури; 12 – індикатор годинникового типу; 13 – вимірювальний блок; 14 – маховик.

Пристрій функціонує таким чином. Попередньо підготовлений зразок 9 встановлюють у тримач навантажувального важеля 6, після чого він притискається до

дискового контрзразка 8, який закріплений на валу підшипникового блоку 3. У зразок 9 та чашу 5 встановлюються датчики температури 11, а за потреби чаша заповнюється робочою рідиною 10. Далі вмикають електродвигун 1, який через пасову передачу приводить у рух вал підшипникового блоку 3.

Після цього зразок 9 поступово притискають до дискового контрзразка 8, при цьому зусилля натиску регулюють обертанням маховика 14 і контролюють за допомогою динамометра 7. Показники експерименту знімаються за допомогою вимірювального блоку 13, що включає індикатор температури, регулятор швидкості обертання електродвигуна 1 та табло, яке відображає прикладене навантаження. Контроль величини лінійного зносу здійснюється індикатором годинникового типу 12.

Установка дозволяє проводити випробування як у сухих умовах тертя, так і з повним зануренням зразків у робочу рідину. Машина тертя успішно пройшла випробування на кафедрі «Надійності і ремонту машин» Дніпровського державного аграрно-економічного університету, а також має патент № 144310 [35].



Рисунок 3.3 – Машина тертя

До конструкції машини тертя додатково інтегровані системи реєстрації температури в зоні контакту та вимірювання електричної потужності, яку споживає електродвигун. Ці параметри є важливими додатковими характеристиками, оскільки температура безпосередньо впливає на процес тертя, а споживана потужність

пропорційна енергії, що витрачається на подолання сил тертя. Завдяки такому технічному удосконаленню установка стала більш інформативною, що дозволяє отримувати точніші результати триботехнічних досліджень.

Під час проведення триботехнічних випробувань визначали оптимальне навантаження ( $R_{opt.}$ ), при якому коефіцієнт тертя для конкретної пари поверхонь досягає мінімального значення  $f=f_{min}$ , а також максимальне навантаження ( $R_{мп.}$ ), що характеризує стан, близький до появи задирів.

У таблиці 3.2 наведено узагальнені результати досліджень щодо припрацьовуваності зразків.

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця випробувань на припрацьовуваність

| основа | електрод | номер режиму обробки | швидкість подачі, мм/ об | $R_{мп.}$ , МПа | $R_{opt.}$ , МПа | $f_{min}$ |
|--------|----------|----------------------|--------------------------|-----------------|------------------|-----------|
| 20X    | 65Г      | 1                    | 0,080                    | 14              | 8                | 0,082     |
| 20X    | 65Г      | 2                    | 0,114                    | 14              | 10               | 0,071     |
| 20X    | 65Г      | 3                    | 0,193                    | 16              | 8                | 0,058     |
| 20X    | 65Г      | 4                    | 0,260                    | 12              | 7                | 0,076     |
| 20X    | 08       | 1                    | 0,080                    | 16              | 10               | 0,071     |
| 20X    | 08       | 2                    | 0,114                    | 14              | 8                | 0,069     |
| 20X    | 08       | 3                    | 0,193                    | 18              | 10               | 0,064     |
| 20X    | 08       | 4                    | 0,260                    | 14              | 8                | 0,074     |

Довготривалі стаціонарні випробування, спрямовані на визначення інтенсивності зношування досліджуваних поверхонь, проводилися за умов оптимальних навантажень  $R_{оп.}$ , встановлених індивідуально для кожної пари тертьових поверхонь. Такий підхід дозволив отримати більш точні результати щодо характеру та швидкості зношування матеріалів у реальних умовах експлуатації.

Отримані експериментальні дані подані на рисунках 3.4 та 3.5, які ілюструють залежності інтенсивності зношування від часу роботи та навантаження для досліджуваних зразків.

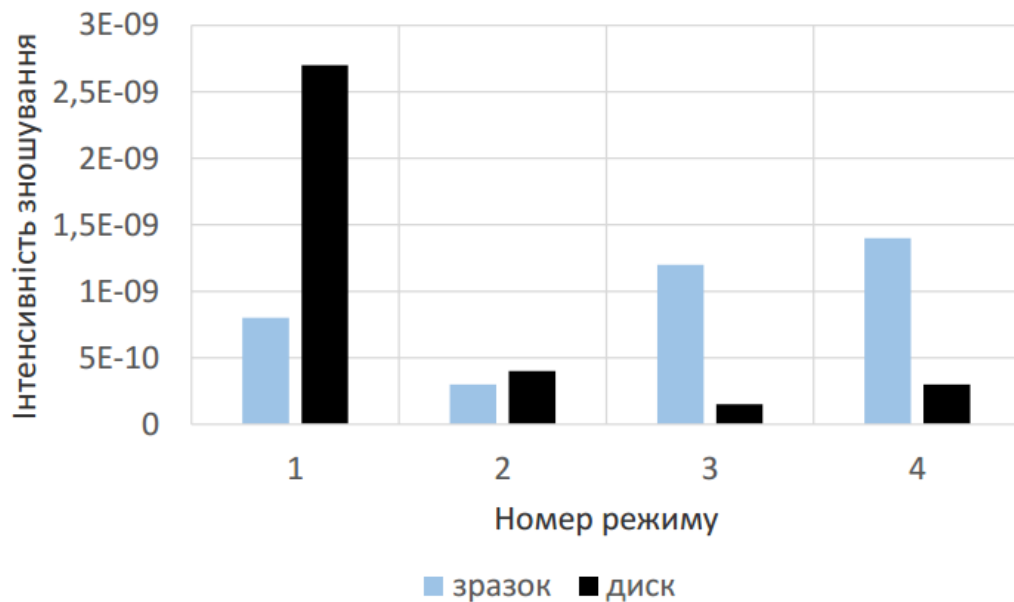


Рисунок 3.4 – Графік порівняння інтенсивності зношування зразка (20X + покриття 65Г) та диска (алюмінієва бронза Бр. ОЦС 4-4-425)

На графіку відображено зміну інтенсивності зношування для пари тертя, що складається із зразка зі сталі 20X з нанесеним покриттям зі сталі 65Г та контртіла з алюмінієвої бронзи марки Бр. ОЦС 4-4-425. Такий порівняльний аналіз дозволяє оцінити зносостійкість матеріалів у процесі експлуатації та ефективність використання зміцнювального покриття.

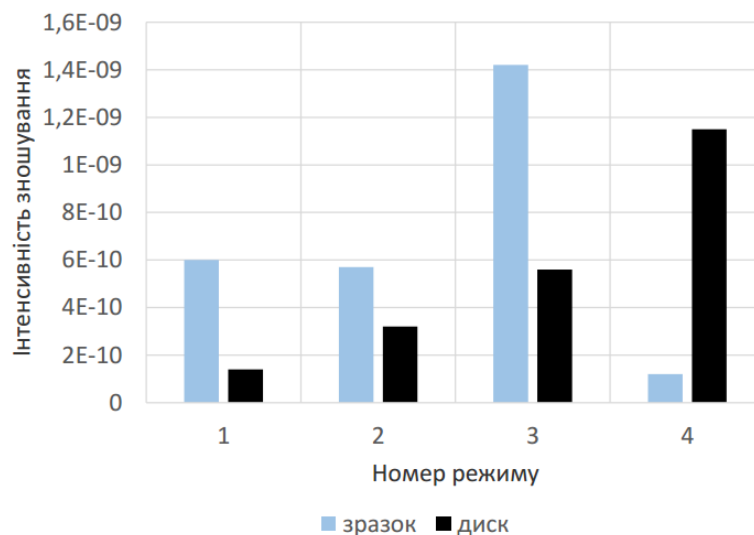


Рисунок 3.5 – Порівняльний графік інтенсивностей зношування зразка (20X + покриття 08) і диска (алюмінієва бронза Бр. ОЦС 4-4-425)

Варто відзначити, що для зразків, сформованих методом електроіскрової обробки з використанням електродів зі сталі 65Г при швидкостях подачі 0,193 мм/об

та 0,26 мм/об, а також електродів зі сталі Св 08 при швидкостях 0,08 мм/об і 0,193 мм/об, інтенсивність зношування нанесеного покриття перевищує інтенсивність зношування диска.

Аналізуючи сумарну інтенсивність зношування (рис. 3.6, 3.7), можна зробити висновок, що найбільше зношування спостерігалось у пар тертя, оброблених електродом зі сталі 65Г у першому режимі (швидкість подачі 0,08 мм/об) та електродом зі сталі Св 08 у третьому режимі (швидкість подачі 0,193 мм/об). Найменший рівень зношування виявлено для зразків, отриманих у другому режимі (швидкість подачі 0,114 мм/об) та першому режимі (швидкість подачі 0,08 мм/об) для електродів 65Г та Св 08 відповідно.

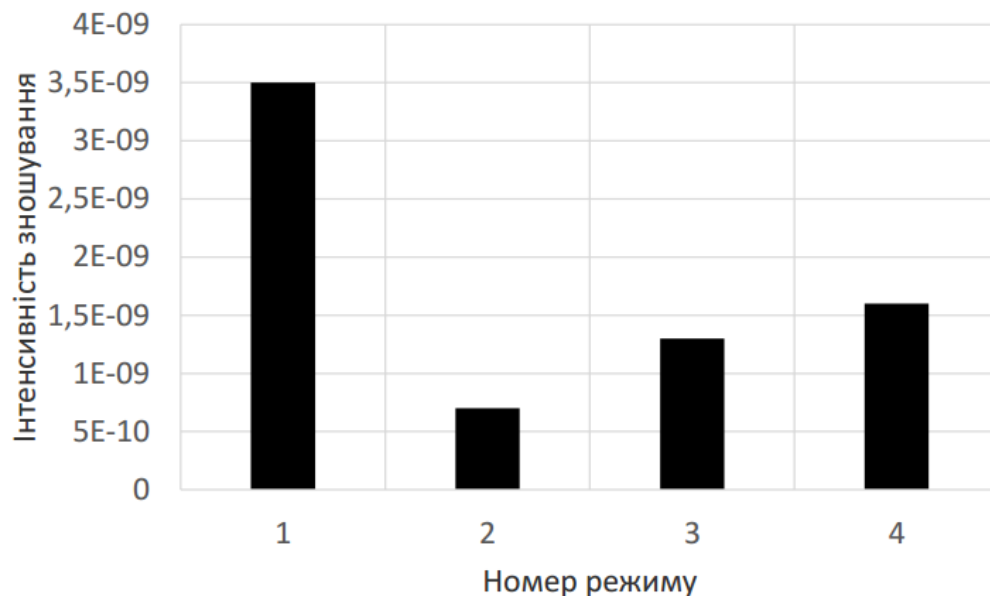


Рисунок 3.6 – Порівняння сумарної інтенсивності зношування для пари тертя зразок (20X + покриття 65Г) - диск (алюмінієва бронза Бр. ОЦС 4-4-425)

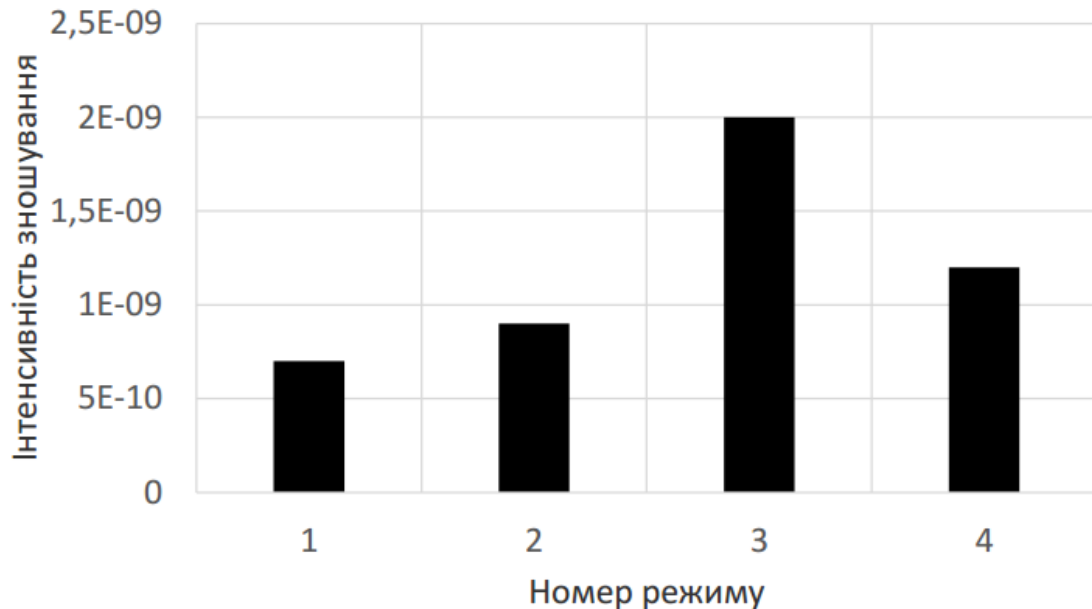


Рисунок 3.7 – Порівняння сумарної інтенсивності зношування для пари тертя зразок (20X + покриття Св 08) - диск (алюмінієва бронза Бр. ОЦС 4-4-425) Порівняльну оцінку зносостійкості досліджуваних зразків виконували за фактором зношування  $\Phi$  (табл. 3.3).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що для пари тертя «покриття 65Г – диск» спостерігається немонотонна залежність фактора зношування від швидкості подачі. Ця залежність виявляється частково обернено пропорційною значенням макронапруг. Найменше значення фактора зношування спостерігається при швидкості подачі 0,114 мм/об.

Для пари тертя «покриття Св 08 – диск» залежність також має немонотонний характер, однак у цьому випадку вона є прямо пропорційною значенням макронапруг. Найбільше значення фактора зношування зафіксовано при швидкості подачі 0,193 мм/об.

Таблиця 3.3 – Фактор зношування

| швидкість<br>подачі, мм/об | фактор зношування $\Phi$ , $\times 10^{-10}$ МПа <sup>-1</sup> |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------|-------|
|                            |                                                                | Св 08 |
| 0,080                      | 4,33                                                           | 0,66  |
| 0,114                      | 0,70                                                           | 1,16  |
| 0,193                      | 1,60                                                           | 2,01  |
| 0,260                      | 2,26                                                           | 1,48  |

## Висновок

Оптимальне співвідношення мікротвердостей поверхонь, за якого фактор зношування досягає мінімального значення, спостерігається під час нанесення протизносних біметалічних покриттів. У цьому випадку відбувається зміцнення сталі до мікротвердості  $H_{\mu}=2510$  МПа.

Фактор зношування для пари тертя, відновленої за допомогою біметалічного двошарового покриття, виявився у 10,23 раза меншим, ніж для поверхні, відновленої за базовою технологією, що свідчить про суттєве підвищення зносостійкості та експлуатаційних характеристик деталей.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Загальні відомості про охорону праці в ФГ

У господарстві функціонує спеціалізована служба охорони праці, яка відповідає за створення безпечних та здорових умов праці на робочих місцях, а також за розроблення та реалізацію комплексних заходів з поліпшення умов праці відповідно до вимог чинних нормативних документів [36].

Загальну відповідальність за організацію роботи в галузі охорони праці та дотримання правил безпеки несе директор господарства. Керівництво роботою з охорони праці у галузевих підрозділах покладено на головних спеціалістів, а на виробничих дільницях і в структурних підрозділах – на їхніх безпосередніх керівників, які забезпечують виконання заходів безпеки на місцях.

Структурна схема служби охорони праці господарства наведена на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Структурна схема організації управління службою охорони праці

У господарстві діє чітко структурована система організації роботи служби охорони праці. Як зазначалося раніше, відповідальність за загальний стан охорони праці покладена на директора господарства. Саме він затверджує плани та заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, які готує і подає на затвердження фахівців з охорони праці.

Фермерське господарство «Нива» включає два основні підрозділи: службу

механізації та польові бригади (службу головного інженера). Керівники цих структурних одиниць відповідають за стан охорони праці на закріплених за ними виробничих ділянках і діють відповідно до вимог, рекомендацій та норм, розроблених спеціалістом з охорони праці.

Щорічно в господарстві укладається колективний договір та здійснюється страхування відповідно до вимог Закону України «Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування» [37]. Колективний договір містить взаємні зобов’язання адміністрації та трудового колективу, а також адміністрації й профспілкового комітету, які оформлені у вигляді окремих розділів. Ці положення спрямовані на підвищення ефективності виробництва, збільшення прибутків підприємства, забезпечення соціальних гарантій і потреб працівників, а також розвиток культурно-виховної, спортивно-масової роботи.

#### **4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів в ремонтній майстерні господарства**

Ремонтна майстерня включає в себе вісім приміщень, серед яких є як виробничі дільниці, так і складські кімнати. Для запобігання протягам усі зовнішні входи та виходи обладнані тамбурами з тепловими завісами, а двері оснащені пристроями для автоматичного зачинення. Проходи між стелажми та шафами мають ширину 1,20 м, що забезпечує вільне та безпечне пересування персоналу.

Відповідальність за стан охорони праці в майстерні покладена на завідувача. У його кабінеті облаштоване спеціальне робоче місце з питань охорони праці, де розміщені тематичні плакати та проводиться первинний і повторний інструктаж з техніки безпеки відповідно до вимог [38]. Додатковий контроль за дотриманням правил охорони праці здійснює спеціаліст господарства з охорони праці.

На робочих місцях розміщені інструкції з безпечного виконання ремонтних робіт. Водночас рівень забезпечення аптечками для надання першої медичної допомоги є недостатнім – на окремих робочих ділянках вони відсутні. Працівники забезпечені спецодягом та засобами індивідуального захисту.

У приміщеннях майстерні використовуються електроживлення напругою 220 та 380 В. Усі електроустановки, металеві елементи обладнання, корпуси

електродвигунів і генераторів, розподільні щити, рубильники та металеві ізоляційні елементи кабелів надійно заземлені згідно з вимогами ДНАОП 0.00-1.21-98 [39].

Майстерня обладнана вантажопідйомними механізмами, зокрема монорейкою вантажопідйомністю 0,5 т та кран-балкою вантажопідйомністю 5 т. Усі вантажопідйомні пристрої регулярно проходять випробування (останнє – 11.02.2017 р.).

Приміщення обладнані системами вентиляції та опалення. Вентиляція переважно природна, за винятком кузні, дільниці ремонту та зарядки акумуляторів, де встановлена витяжна система. Опалення – центральне водяне високого тиску.

Освітлення в майстерні комбіноване: для загального штучного освітлення використовується напруга 220 В і люмінесцентні лампи, а робочі місця обладнані переносними та локальними світильниками [40]. Передбачене аварійне освітлення, яке забезпечує освітлення проходів і автоматично вмикається у разі раптового вимкнення основного освітлення, живлячись від незалежної мережі.

Будівлі ремонтної майстерні зведені з вогнестійких матеріалів. Протипожежне забезпечення реалізоване не повністю: протипожежна сигналізація не працює, а виробничі дільниці недостатньо оснащені порошковими вогнегасниками, що потребує додаткових заходів з безпеки.

### **4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів**

Як було зазначено раніше, однією з проблем ремонтної майстерні є недостатня ефективність вентиляційної системи. Для її усунення необхідно виконати детальний розрахунок вентиляції, розробити технічний проєкт і реалізувати його на практиці. Система вентиляції може бути двох типів – природна та штучна, залежно від умов експлуатації та рівня забруднення повітря.

#### **4.3.1. Природна вентиляція**

У процесі роботи ремонтної майстерні повітря насичується шкідливими домішками, пилом, парами мастильних матеріалів та іншими небезпечними речовинами. Тому згідно з санітарними нормами всі виробничі приміщення повинні бути обладнані природною вентиляцією [41, 42].

Розрахунок вентиляції починається з визначення об'єму повітря, необхідного для подачі в приміщення майстерні для забезпечення оптимального мікроклімату та видалення шкідливих домішок. Цей показник розраховується за формулою 4.1[39].

Де  $Q$  – необхідний об'єм повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$K$  – кратність повітрообміну;

$V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

Використовуючи наведену вище формулу, розраховують необхідну кількість повітря для кожної основної ділянки ремонтної майстерні. Отримані результати узагальнюються та заносяться до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахована потреба повітря для основних ділянок майстерні

| Назва ділянки майстерні                         | Об'єм ділянки<br>$\text{м}^3$ | Нормативний коефіцієнт | Потрібна кількість повітря<br>$\text{м}^3$ |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Ремонтно-монтажна ділянка                    | 3024                          | 3                      | 9072                                       |
| 2. Склад запчастин і ІТР                        | 81                            | 3                      | 243                                        |
| 3. Ділянка поточного ремонту паливної апаратури | 86,4                          | 2                      | 173                                        |
| 4. Ковальсько-зварювальна ділянка               | 172                           | 4                      | 690                                        |
| 5. Ділянка ремонту с. г. машин                  | 163                           | 2                      | 326                                        |
| 6. Слюсарно-механічна                           | 180                           | 5                      | 900                                        |
| 7. Мідницько-жестяна                            | 86                            | 3                      | 259                                        |
| 8. Кислотна ділянка                             | 86                            | 5                      | 430                                        |
| 9. Ділянка ремонту силового обладнання          | -                             | -                      | -                                          |
| Всього:                                         |                               |                        | 12363                                      |

Для розрахунку площі поперечного перерізу витяжних повітропроводів застосовуються наведена формула 4.2. Отримані під час розрахунків значення заносяться до таблиці 4.2.

Де  $S$  – площа поперечного перерізу витяжної труби,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – швидкість руху повітря в перерізі труби,  $\text{м/с}$ ., визначається за формулою 4.3.

$\psi \approx 0,5$  – коефіцієнт, що враховує опір повітря в каналі;

$H_T$  – перепад тиску між повітрям у приміщенні та у витяжних каналах, визначається за формулою 4.4;

$P_v$  – густина повітря всередині приміщення ( $P_v = 1,213 \text{ кг/м}^3$ ).

$h = 4 \text{ м}$  – висота між витяжними каналами;

$P_o = 1,381 \text{ кг/м}^3$  – густина зовнішнього повітря.

Таблиця 4.2 – Показники розрахунків.

| Назва ділянок майстерні                   | Значення параметрів |      |      |
|-------------------------------------------|---------------------|------|------|
|                                           | $H_T$               | $V$  | $S$  |
| 1. Ремонтно-монтажна                      | 5,1                 | 1,45 | 1,73 |
| 2. Склад запчастин                        | 5,1                 | 1,45 | 0,04 |
| 3. Ділянка поточного ремонту пал. апарат. | 5,1                 | 1,45 | 0,03 |
| 4. Ковальсько-зварювальна                 | 5,1                 | 1,45 | 0,13 |
| 5. Ділянка ремонту с. г. машин            | 5,1                 | 1,45 | 0,06 |
| 6. Слюсарно-механічна                     | 5,1                 | 1,45 | 0,17 |
| 7. Мідницько-жерстяна                     | 5,1                 | 1,45 | 0,04 |
| 8. Кислотна                               | 5,1                 | 1,45 | 0,08 |
| 9. Ремонт силового обладнання             | 5,1                 | 1,45 | 0,05 |

Як видно з даних таблиці, для забезпечення належного повітрообміну в зимовий період переріз вентиляційних каналів для кожної виробничої ділянки має бути не меншим за значення, наведені в останній колонці. Це гарантує достатній відтік забрудненого повітря та підтримання оптимальних санітарно-гігієнічних умов у приміщенні.

#### 4.3.2. Штучна вентиляція

У ремонтній майстерні організовано систему примусової вентиляції [43]. Такий

підхід дозволяє ефективно забезпечувати необхідний повітрообмін незалежно від пори року та зовнішніх погодних умов.

На першому етапі розрахунків визначено загальну потребу в повітрі для всієї майстерні, яка становить 12363 м³/год. Це значення враховує об'єм приміщення, кількість працюючого персоналу та технологічні процеси, що супроводжуються виділенням шкідливих речовин.

Далі необхідно визначити продуктивність вентилятора, який забезпечить зазначений повітрообмін за формулою 4.5.

$Q_{\text{в}}$  – це продуктивність вентилятора, м³/год;

$K$  – коефіцієнт запасу, який враховує можливі втрати повітря в системі вентиляції, зокрема в повітроводах та фільтрувальних елементах (зазвичай становить 1,1–1,2);

$Q_{\text{н}}$  – обсяг повітря, необхідний для підтримання належного повітрообміну в приміщенні, м³/год.

Розрахунок формули проводиться:

$$Q = 1,2 \cdot 12363 = 14835 \text{ м}^3/\text{год}$$

Втрати напору  $H$  на прямих ділянках повітропроводів визначаються за формулою 4.6.

Де  $l_m$  – розрахункова протяжність ділянки;

$V_{\text{ср}}$  – середня швидкість потоку повітря;

$\rho$  – густина повітря;

$d_m$  – умовний (еквівалентний) діаметр повітропроводу.

Отримані за формулами значення зводимо до підсумкової таблиці розрахунків.

Таблиця 4.3 – Показники розрахунків

| Назва ділянок майстерні | L<br>м | D<br>м | V<br>М/с | P<br>Н/м <sup>3</sup> | Ψ    | H <sub>т</sub><br>Па | H <sub>м</sub><br>Па | Ноб    |
|-------------------------|--------|--------|----------|-----------------------|------|----------------------|----------------------|--------|
| Ремонтно-монтажна       | 51     | 0,5    | 10       | 12,5                  | 0,02 | 775                  |                      |        |
| Ковальсько-зварювальна  | 20     | 0,4    | 3,0      | 12,5                  | 0,02 | 56,25                |                      |        |
| Слюсарно-механічна      | 7      | 0,5    | 6,5      | 12,5                  | 0,02 | 73,93                |                      |        |
| Кислотно-аккумуляторна  | 8      | 0,35   | 5,0      | 12,5                  | 0,02 | 71,42                |                      |        |
| Мідницько-жестяна       | 7      | 0,45   | 7,5      | 12,5                  | 0,02 | 106,42               |                      |        |
| 1 – поворот 90°         | -      | -      | 10       | 12,5                  | 1,1  |                      | 687,5                |        |
| 2 – поворот 90°         | -      | -      | 3        | 12,5                  | 1,1  |                      | 123,75               |        |
| 3 – поворот 90°         | -      | -      | 6,5      | 12,5                  | 1,1  |                      | 290,46               |        |
| 1 – звуження            | -      | -      | 5,0      | 12,5                  | 1,1  |                      | 31,25                |        |
| 2 – звуження            | -      | -      | 7,4      | 12,5                  | 1,1  |                      | 68,48                |        |
| всього:                 | -      |        |          |                       |      | 1083,1               | 1201,4               | 2284,5 |

Величину місцевих втрат тиску  $H_m$ , що виникають у переходах, каналах, жалюзійних решітках, звуженнях або розширеннях повітропроводів, визначають за відповідними інженерними залежностями 4.7 та 4.8.

Ле  $\psi$  – коефіцієнт місцевих втрат, який враховує опір повітряного потоку при проходженні через різні елементи вентиляційної системи (перехідні ділянки, коліна, решітки, звуження тощо).

Загальний опір вентиляційної системи розраховується так:

$$H_{\text{заг.}} = 775 + 56,25 + 73,93 + 71,42 + 106,42 + 687,5 + 31,25 + 68,48 + 1201,41 = 2284,48 \text{ Па}$$

Потужність двигуна вентиляційної системи визначається за формулою 4.8, а розрахунок має вигляд:

$$P_{gb} = \frac{2284,48 \cdot 14835,6}{3,600 \cdot 1000 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 10,6 \text{ кВт}$$

Отже, на основі виконаних розрахунків для системи вентиляції обираємо вентилятор серії ЦН-80, який забезпечує тиск близько 2050 Па та має продуктивність приблизно 18500 м<sup>3</sup>/год. Схематичне розташування повітроводів і зондів системи

подано на рисунку 4.2.

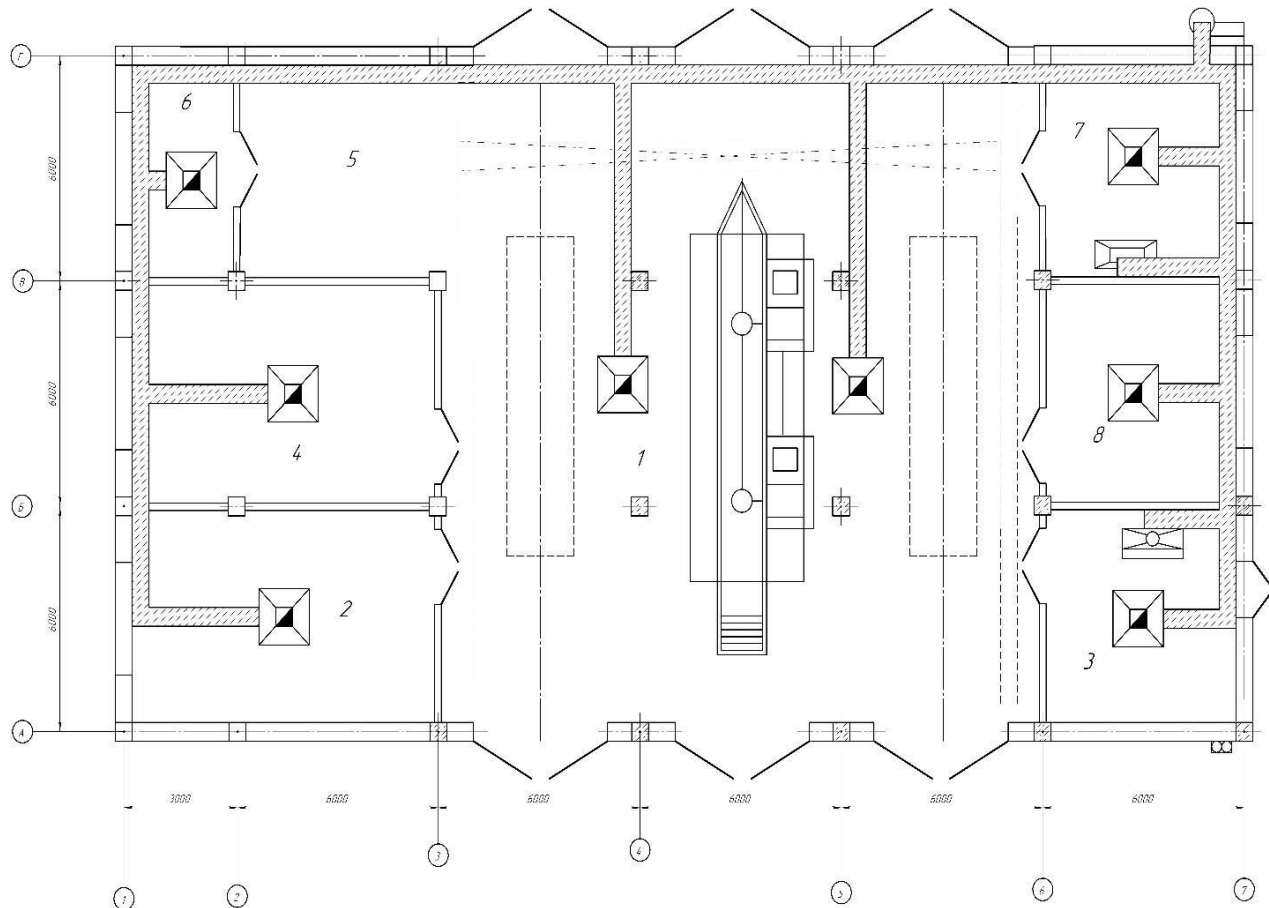


Рисунок 4.2 – Схема вентиляції ремонтної майстерні

1 – дільниця технічного обслуговування та ремонту; 2 – механічна дільниця; 3 – зварювальна дільниця; 4 – дільниця ремонту двигунів внутрішнього згоряння; 5 – мідницька дільниця та шиномонтаж; 6 – дільниця ремонту електрообладнання; 7 – дільниця ремонту гідроагрегатів і паливної апаратури; 8 – складське приміщення.

#### 4.4. Правила безпечного виконання робіт на токарних верстатах

До самостійної роботи токарем допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли вступний інструктаж з охорони праці та навчання безпечним методам роботи на робочому місці.

Токар зобов'язаний:

- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- виконувати лише ті роботи, які доручені керівником і з яких він пройшов інструктаж;
- користуватися спецодягом та засобами індивідуального захисту;

- підтримувати чистоту та порядок на робочому місці;
- не захаращувати проходи;
- не допускати на робоче місце сторонніх осіб;
- пам'ятати про особисту відповідальність за дотримання правил охорони праці та безпеку колег.

Основні небезпечні та шкідливі фактори:

- ураження електричним струмом;
- контакт шкіри з мастилами та охолоджуючими рідинами;
- дія протягів;
- уламки стружки чи деталі, що можуть відколюватися під час обробки;
- несправність органів керування верстатом;
- обертові частини обладнання та заготовок;
- різальний інструмент;
- підвищені рівні шуму.

Токар повинен бути забезпечений спецодягом:

- костюмом віскозно-лавсановим;
- шкіряними черевиками;
- захисними окулярами.

Робоче місце має бути добре освітленим, у тому числі й локальним освітленням, і захищеним від протягів. Усе електрообладнання повинно бути заземленим, а пускові пристрої – оснащені блокуванням, що виключає відкривання під напругою. Кнопки запуску мають бути заглиблені, щоб запобігти випадковому ввімкненню.

Для запобігання шкірним захворюванням при роботі з охолоджуючими рідинами необхідно перед початком роботи змащувати руки спеціальними захисними пастами. Матеріали подаються до верстата механізованим способом, а прутковий матеріал має бути рівним.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- Одягнути спецодяг, застібнути його без звисаючих частин, вдягнути головний убір.

- Підготувати верстат до роботи, перевірити наявність і справність інструментів та розкласти їх зручно.
- Відрегулювати освітлення так, щоб робоча зона була добре освітлена без засліплення очей.

Перевірити верстат на холостому ходу:

- справність органів керування, систем змащення та охолодження;
- фіксацію важелів та відсутність люфтів у рухомих частинах;
- наявність і надійність огорожень та закріплення різального інструменту.

У разі виявлення несправностей роботу не починати, а повідомити керівника.

Вимоги безпеки під час роботи:

- Використовувати інструменти лише за призначенням.
- Під час установки патрона чи планшайби підкладати дерев'яні прокладки та нагвинчувати вручну.
- При роботі з довгими деталями або високошвидкісному різанні використовувати люнети.
- Деталі мають бути надійно закріплені, після фіксації обов'язково виїняти торцевий ключ.
- Якщо кулачки патрона виступають – використовувати захисні пристрої або замінити патрон.
- Захищати трубопроводи для подачі повітря, рідини чи електроенергії від пошкоджень.
- При роботі в центрах використовувати безпечні хомути або повідкові патрони.
- Дотримуватися правил встановлення заготовок у центри: очищати й змащувати отвори, не затягувати задній центр надмірно, надійно фіксувати задню бабку та заготовку.
- Захищати виступаючі частини прутка по всій довжині.
- Під час швидкісної обробки не використовувати нерухомий центр.
- Стружку скидати спеціальними пристосуваннями, у напрямку від себе.
- Перед кожним запуском верстата впевнитись, що це безпечно для

оточення.

Заборонено:

- чистити, змащувати або ремонтувати верстат під час роботи;
- встановлювати заготовки або подавати прут руками під час роботи;
- гальмувати обертові частини руками;
- користуватися інструментами без дерев'яних ручок;
- прибирати стружку руками;
- допускати сторонніх осіб або прибиральниць під час роботи верстата.

Вимоги безпеки після завершення роботи:

- Зупинити верстат та вимкнути електродвигун.
- Прибрати робоче місце: видалити стружку, скласти інструменти та вимірювальні прилади у відведені місця.

- Зняти готові деталі та заготовки, змастити верстат після вимкнення.
- Зняти спецодяг, вимити руки та обличчя з милом або прийняти душ.
- Не мити руки бензином чи гасом і не витирати їх брудною ганчіркою.
- Повідомити керівника про всі виявлені під час роботи недоліки.

#### **4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації**

Під час роботи на токарному верстаті можуть виникати небезпечні ситуації, такі як: виривання деталі з патрона, планшайби або центрів, поломка різців, випадання їх з різцеутримувачів та інші аварійні випадки.

У разі виникнення аварії або ситуації, що може призвести до аварійного стану чи нещасного випадку, необхідно:

- негайно зупинити верстат і відключити його від електромережі;
- повідомити керівника робіт про інцидент;
- не допускати сторонніх осіб до небезпечної зони;
- якщо є постраждалі – надати їм першу медичну допомогу, а за необхідності викликати швидку допомогу;
- у випадку пожежі – викликати пожежну службу та негайно розпочати гасіння вогню за допомогою наявних засобів пожежогасіння;
- виконувати всі вказівки керівника робіт, спрямовані на усунення

небезпеки та ліквідацію наслідків аварійної ситуації.

Дотримання цих правил дозволяє оперативно реагувати на надзвичайні події, зменшити ризик травматизму та запобігти серйозним наслідкам.

### **Висновок**

Проведений аналіз стану охорони праці в господарстві свідчить про те, що заходи щодо поліпшення умов праці здійснюються, однак їх ефективність поки що залишається недостатньою. Існують значні резерви для підвищення рівня безпеки праці, покращення умов робочого середовища, їх оздоровлення та усунення наявних недоліків.

Реалізація комплексу заходів з охорони праці сприятиме зменшенню ризику травмування працівників і підвищить рівень їх захищеності під час виконання виробничих операцій. Забезпечення комфортного мікроклімату в приміщенні ремонтної майстерні позитивно вплине на продуктивність персоналу та якість виконуваних ремонтних робіт, що в підсумку підвищить загальну ефективність діяльності підприємства.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Визначення економічної ефективності удосконалення технологічного процесу.

У межах даної роботи проводиться оцінка економічної ефективності модернізації технологічного процесу ремонту двигунів. Суть удосконалення полягає у впровадженні у виробничий процес нового обладнання для нанесення зносостійких покриттів. Застосування такої техніки дозволяє істотно скоротити кількість операцій, пов'язаних із фінішною обробкою деталей, а також зменшити кількість рекламацийних агрегатів, що повертаються після ремонту.

Базою для розрахунку економічної ефективності слугують вихідні показники, наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунків

| Показник                                                          | Позначення       | Значення                              |          |
|-------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------|----------|
|                                                                   |                  | Базові<br>за даними пі-<br>дприємства | проектні |
| Обсяг ремонтних робіт, ум. рем                                    | Q                | 48,3                                  | 43,6     |
| Кількість основних робітників,<br>осіб                            | K                | 5                                     | 7        |
| Середньомісячна заробітна плата<br>робітника з нарахуванням, грн. | ЗП <sub>ср</sub> | 5600,0                                | 5600,0   |
| Вартість проведених ремонтів, грн.                                | B                | 337123                                | 450463   |
| Вартість обладнання, грн                                          | Б                | 428956                                | 534556   |
| Річні витрати електроенергії,<br>кВт/год                          | Q <sub>ел.</sub> | 12560                                 | 14320    |
| Ціна 1 кВт/год електроенергії, грн.                               | Ц <sub>ел</sub>  | 1,99                                  | 1,99     |

Для здійснення економічної оцінки проекту вдосконалення технологічного процесу ремонту двигунів необхідно розрахувати такі основні показники:

1. Експлуатаційні витрати (ЕВ), грн. – це сукупність витрат, пов'язаних з експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом обладнання, необхідного

для виконання робіт, розраховується за формулою 5.1.

Де ЗП – витрати на заробітну плату з нарахуванням, грн., розрахунок проводиться за формулою 5.2 та має вигляд:

$$\text{ЗП}^{\text{б}} = 5600 \cdot 5 \cdot 12 = 144000 \text{ грн.},$$

$$\text{ЗП}^{\text{пр}} = 5600 \cdot 7 \cdot 12 = 201600 \text{ грн.},$$

А – амортизаційні відрахування, грн., розраховується за формулою 5.3 та має вигляд:

$$\text{А}^{\text{б}} = \frac{428956 \cdot 15}{100} = 64343 \text{ грн}$$

$$\text{А}^{\text{пр}} = \frac{(428956 + 105600) \cdot 15}{100} = 80183 \text{ грн}$$

$\lambda$  – норма амортизації, %;

2.  $V_{\text{ел}}$  – вартість електроенергії, грн. – це сума витрат, пов'язаних із споживанням електроенергії під час роботи обладнання, необхідного для виконання ремонтних операцій, розраховується за формулою 5.4 та має вигляд:

$$V_{\text{ел}}^{\text{б}} = 12560 \cdot 1,99 = 24994 \text{ грн};$$

$$V_{\text{ел}}^{\text{пр}} = 14320 \cdot 1,99 = 28497 \text{ грн.}$$

3.  $V_{\text{рем}}$  – витрати на поточний ремонт (ПТ) та технічне обслуговування (ТО), грн. – це сукупні витрати, які становлять 30 % від загальної суми амортизаційних відрахувань і враховуються при розрахунку експлуатаційних витрат обладнання, розрахунок проводиться за формулою 5.5 та має вигляд:

$$V_{\text{рем}}^{\text{б}} = \frac{64343 \cdot 30}{100} = 19303 \text{ грн}$$

$$V_{\text{рем}}^{\text{пр}} = \frac{80183 \cdot 30}{100} = 24055 \text{ грн}$$

Інші витрати (ІВ) становлять 3% від загальної суми експлуатаційних витрат у гривнях, розраховується за формулою 5.6 та має вигляд:

$$\text{ІВ}^{\text{б}} = \frac{144000 + 64343 + 24994 + 19303 \cdot 3}{100} = 7579 \text{ грн}$$

$$\text{ІВ}^{\text{пр}} = \frac{201600 + 80183 + 28497 + 24055 \cdot 3}{100} = 10030 \text{ грн}$$

$$EB^6 = 144000 + 64343 + 24994 + 19303 + 7579 = 260219 \text{ грн}; EB^{пр} = \\ 201600 + 80183 + 28497 + 24055 + 10030 = 344365 \text{ грн.}$$

2. Повна собівартість (ПС) ремонтних робіт становить сумарні витрати на їх виконання, зазначені в гривнях, розраховується за формулою 5.7 та має вигляд:

$$ПС^6 = 260219 \cdot 1,02 = 265423 \text{ грн};$$

$$ПС^{пр} = 344365 \cdot 1,02 = 351252 \text{ грн.}$$

3. Загальний прибуток (П) – це сума, яку підприємство отримує після вирахування всіх витрат із доходу, розрахована в гривнях, за формулою 5.8:

де Впр – це загальна сума витрат на проведення ремонтів, виражена в гривнях.

$$П^6 = 348603 - 265423 = 83180 \text{ грн};$$

$$П^{пр} = 453552 - 351252 = 112300 \text{ грн.}$$

4. Річний економічний ефект ( $E_{e.p}$ ) – це сума коштів, яку вдалося заощадити або заробити протягом року завдяки впровадженню певних заходів, визначається за формулою 5.9:

$$E_{e.p} = 112300 - 83180 = 29120 \text{ грн.}$$

5. Додаткові капітальні вкладення (Б) – це сума інвестицій, здійснених понад основні витрати, розрахована в гривнях, розраховується за формулою 5.10:

$$Б = 534556 - 428956 = 105600 \text{ грн},$$

6. Термін окупності додаткових вкладень ( $T_o$ ) – це кількість років, необхідна для повного повернення інвестованих коштів за рахунок отриманих вигод або економії, розраховується за формулою 5.11:

$$T_o = \frac{105600}{29120} = 3,6 \text{ років.}$$

Усі результати розрахунків слід внести до таблиці 5.2, яка містить техніко-економічні показники проекту, що впроваджується.

Таблиця 5.2 – Техніко – економічні показники впроваджуваного проекту

| Показники                                   | Базовий<br>варіант | Проектний<br>варіант |
|---------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Вид робіт                                   | Ремонт             | Ремонт               |
| Обсяг робіт, ум. рем.                       | 48,3               | 43,6                 |
| Кількість основних робітників, чол..        | 5                  | 7                    |
| Обсяг додаткових капіталовкладень, грн..    | -                  | 105600               |
| Експлуатаційні витрати всього, грн..        | 260219             | 344365               |
| - заробітна плата з нарахуваннями, грн..    | 144000             | 201600               |
| - амортизаційні відрахування, грн..         | 64343              | 80183                |
| - вартість електроенергії, грн.             | 24994              | 28497                |
| - витрати на ПР та ТО, грн..                | 19303              | 24055                |
| - інші витрати, грн..                       | 7579               | 10030                |
| Повна собівартість продукції, грн..         | 265423             | 351252               |
| Загальний прибуток, грн..                   | 83180              | 112300               |
| Річний економічний ефект, грн               |                    | 29120                |
| Термін окупності додаткових вкладень, років |                    | 3,6                  |

На основі аналізу таблиці 5.2 можна дійти висновку, що впровадження заходів з удосконалення організації ремонту двигунів є економічно доцільним. Додаткові капіталовкладення у розмірі 105600 грн окупляться приблизно за три роки, що свідчить про задовільну ефективність проекту.

## ВИСНОВОК

У результаті проведених досліджень встановлено, що двигун є одним із найуразливіших агрегатів, який часто виходить з ладу. Аналіз рекламацийних актів показав: у 42% випадків із дефектом шатунних вкладишів колінчатих валів не вдалося встановити точну причину відмови; ще 35% випадків спричинені порушеннями технологічної дисципліни під час виробництва та складання.

Найпоширенішою відмовою двигунів КамАЗ в експлуатації є повертання шатунних вкладишів, частка якої становить 20–26%. Особливо часто ця несправність спостерігається на третій шатунній шийці в перші періоди експлуатації. Суттєвої різниці в розподілі відмов між новими та відремонтованими двигунами не виявлено.

Проведено аналіз експлуатаційної надійності деталей двигуна, видів зносу та причин виходу з ладу. Визначено оптимальний спосіб їх відновлення – наплавлення антифрикційних двошарових матеріалів (міді або бронзи) на сталеву поверхню.

Розроблено технологію відновлення колінчатого вала шляхом наплавлення двошарового бронзового покриття на сталеву шийку. Тривалість відновлення за новою технологією становить 2,6 години, що на 8,7% менше у порівнянні з базовим методом.

Встановлено, що оптимальне співвідношення мікротвердостей під час нанесення двошарових покриттів забезпечує підвищену зносостійкість. Мікротвердість сталі після наплавлення досягає  $H_{\mu} = 2510$  МПа, а коефіцієнт зносу зменшується в 10,23 рази у порівнянні з традиційною технологією.

Упровадження заходів з безпеки праці, зокрема проектування системи освітлення, дозволяє забезпечити належні умови роботи та уникнути виробничого травматизму. Розрахунок дозволяє точно визначити кількість необхідних світильників і ламп для кожної ділянки майстерні.

Основна рекомендація для працівників – неухильне дотримання правил охорони праці.

Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження заходів з удосконалення ремонту двигунів шляхом використання біметалічних двошарових покриттів є доцільним. Додаткові капіталовкладення у розмірі 105600 грн окупляться приблизно

за три роки, що свідчить про достатню економічну ефективність проєкту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдонькін Ф. Н., Гаркунов Д. Н., Лукінський В. С. Теорія тертя та зношування в машинах. Київ : Машинобудування, 2014. 412 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника: износ и безызносность. Київ : Техніка, 2010. 368 с.
3. Денисов А. С., Кулаков А. Т. Надійність та відмови дизельних двигунів КамАЗ. Харків : Прапор, 2016. 256 с.
4. Гальперін М. І., Коваленко О. В. Наплавлення та відновлення деталей машин. Київ : Либідь, 2012. 288 с.
5. Михлін В. М. Відновлення та зміцнення деталей автомобільних двигунів. Київ : Вища школа, 2009. 320 с.
6. Ніколаєнко А. В., Сурянов Г. І. Діагностика та ремонт автотранспортних двигунів. Київ : Наука, 2013. 264 с.
7. Суранов Г. І., Шадричев В. А. Надійність автотракторних двигунів. Харків : Освіта, 2011. 248 с.
8. Водолазкий Г. І., Казарцев В. І. Пошкодження та відновлення колінчастих валів. Дніпро : Ремтех, 2015. 214 с.
9. Гавриленко О. П. Оцінка напружено-деформованого стану колінчастих валів дизельних двигунів. Київ : Аграрна наука, 2017. 156 с.
10. Дідур В. В. Технологічні процеси технічного обслуговування і ремонту машин. Умань : УНУС, 2020. 224 с.
11. Boyer H. E., Gall T. L. Materials for Tribology. Metals Park : ASM International, 2015. 487 p.
12. Totten G., Liang H. (Eds.). Mechanical Tribology: Materials, Characterization, and Applications. Boca Raton : CRC Press, 2018. 631 p.
13. Davis J. R. (Ed.). Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics. Materials Park : ASM International, 2014. 258 p.
14. Lampman S. W. Weld Surfacing and Hardfacing Processes. ASM Handbook. Vol. 6: Welding. ASM International, 2011. 1020 p.
15. Khurmi R. S., Gupta J. K. Machine Design. New Delhi : Eurasia Publishing,

2018. 890 p.

16. Bhushan B. Introduction to Tribology. 3rd ed. New York : Wiley, 2021. 780 p.
17. Rabinowicz E. Friction and Wear of Materials. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2019.

420 p.

18. Roy R. Welding Metallurgy and Weldability. New York : Wiley, 2017. 360 p.
19. Richardson T. Failures in Engine Bearings: Analysis and Diagnostics. London : Woodhead Publishing, 2016. 302 p.

20. Kaufman J. G. Aluminum and Aluminum Alloys. Materials Park : ASM International, 2019. 420 p.