

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

**Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ З РОБОЧИМИ  
ПОВЕРХНЯМИ СКЛАДНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ

Виконав: студент 2 курсу, групи 13В-19м  
спеціальності 132 – «Матеріалознавство».

(шифр і назва спеціальності)

Бондарчук П.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. Савуляк В.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_

Вінниця - 2020 р.

Вінницький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»

Спеціальність 132 – «Матеріалознавство»  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., професор Поліщук Л.К.

« 25 » вересня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Бондарчук Павло Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення довговічності деталей з робочими поверхнями складної просторової форми

керівник роботи Савуляк Валерій Іванович, д.т.н., проф. каф. ГМ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом ВНТУ від « 25 » вересня 2020 року № 214 .

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 30.11.2020 року

3. Вихідні дані до роботи:

Креслення розподільчого валу

Допустимі параметри зносу. Режим роботи – довготривалий;

Річна програма відновлення деталей N=800 шт.;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Вивчення проблем зношування поверхонь розподільчого вала; Розділ 2. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення розподільчого вала; Розділ 3. Проектування обладнання з числовим програмним керуванням для нанесення покриттів; Розділ 4. Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення; Розділ 5. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях; Загальні висновки; Список використаних джерел; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Робоче креслення деталі; 2. Ремонтне креслення деталі; 3. Технологічний процес; 4. Установка з числовим програмним керуванням;

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Савуляк В.І., д.т.н., проф., кафедри ГМ	25.09.2020р.	3.12.2020р.
Економіка виробництва	Бальзан М.В., к.е.н., доц., кафедри ЕПВМ	25.09.2020р.	2.12.2020р.
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Віштак І.В., доцент кафедри БЖД та ПБ	25.09.2020р.	2.12.2020р.

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	25.09.20 р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	26.10.2020 р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	30.10.20 р.	
4	Виконання розділу «Економіка виробництва»	24.11.20 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	25.11.20 р.	
6	Попередній захист МКР	30.11.20 р.	
7	Нормоконтроль МКР	07.12.20 р.	
8	Опонування МКР	08.12.2020 р.	
9	Захист МКР	10.12.2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Бондарчук П.Ю.

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Савуляк В.І.

## РЕФЕРАТ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено можливість та ефективність відновлення та зміцнення довгомірних деталей типу розподільний вал методом наплавлення в середовищі захисного газу з охолодженням водою. Показано позитивний вплив на зменшення просторових похибок вала при досягненні високих показників якості структури наплавленої поверхні.

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків та додатків. Загальний обсяг роботи 128 стор., у тому числі 26 рис., 42 табл., 29 літературних джерел.

**Предмет дослідження** – відновлення робочих поверхонь розподільних валів двигунів внутрішнього згоряння шляхом застосування методу наплавлення з охолодженням водою.

**Робота складається з п'яти розділів:**

1. Вивчення проблем зношування поверхонь розподільного вала;
2. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення розподільного вала;
3. Проектування обладнання з числовим програмним керуванням для нанесення покриттів;
4. Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення;
5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – процеси відновлення робочих поверхонь деталей двигунів внутрішнього згоряння.

**Головною метою** кваліфікаційної роботи є розробка методів та технології відновлення та зміцнення робочих поверхонь розподільчих валів в умовах абразивного зношування, високої вологості та нерегулярності технічного обслуговування.

## ABSTRACT

In the master's qualification work the possibility and efficiency of restoration and strengthening of long details of the camshaft type by the method of surfacing in a protective gas environment with water cooling is investigated. The positive effect on the reduction of the spatial errors of the shaft when achieving high quality indicators of the structure of the welded surface is shown.

The master's qualification work consists of an introduction, 5 sections, general conclusions and appendices. The total volume of work is 128 pages, including 26 figures, 42 tables, 29 literary sources.

**The subject of research** is the restoration of the working surfaces of the camshafts of internal combustion engines by applying the method of surfacing with water cooling.

The work consists of five sections:

1. Study of wear problems of camshaft surfaces;
2. Development and substantiation of parameters of technological process of restoration of a camshaft;
3. Design of equipment with numerical program control for coating;
4. Calculation of economic efficiency of the innovative decision;
5. Occupational health and safety in emergencies.

**The object of research** - the process of restoring the working surfaces of internal combustion engines.

**The main purpose** of the qualification work is to develop methods and technologies for restoration and strengthening of the working surfaces of camshafts in the conditions of abrasive wear, high humidity and irregular maintenance. 3 3TM на

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА.....	12
1.1 Охолодження валів під час наплавлення водою.....	12
1.2 Формування високо вуглецевих поверхневих шарів на сталі і чавуні.	17
1.3. Визначення раціональних режимів обробки розподільного вала.....	20
Розділ 2 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА.....	32
2.1 Аналіз службового призначення вузла, деталей.....	32
2.2 Матеріал деталі та його властивості.....	33
2.3 Кількісна характеристика технологічності.....	36
2.4 Дефектування деталі, опис дефекту, ремонтне креслення з таблицею.....	38
2.5 Визначення типу ремонтного виробництва.....	41
2.6 Розробка технологічної схеми та технології розбирання-складання під час ремонту вузла газорозподільного механізму.....	43
2.7 Вибір та технічне обґрунтування методів та матеріалів для відновлення деталі.....	46
2.8 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь.	47
2.9 Формування маршруту відновлення деталі наплавленням.....	48
2.10 Розрахунок припусків на переходи механічної обробки.....	51
2.11 Розрахунок та призначення режимів попередньої механічної обробки та після нанесення покриття.....	57
2.12 Розрахунок режимів шліфування після наплавлення для діаметру 61.....	61
2.13 Вибір та обґрунтування обладнання і джерел живлення.....	66
2.14 Нормування операцій.....	69
2.15 Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття.....	73
2.16 Дослідження можливості відновлення чавунних деталей шляхом наплавлення хромонікелевих покриттів аргонодуговим способом.....	76

Розділ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ.....	79
3.1 Визначення способу закріплення деталі.....	79
3.2 Розрахунок масоцентрувальних характеристик (МЦХ) деталі та пристрою її закріплення.....	79
3.3 Розрахунок маси наплавної головки.....	80
3.4 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів установки для автоматизованого відновлення деталей.....	82
3.5 Розробка установки з числовим програмним керуванням.....	90
3.6 Розробка робочого місця і вимоги безпеки.....	90
Розділ 4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ.....	93
4.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки.....	93
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	95
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	103
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.....	104
4.5 Висновки по розділу.....	108
Розділ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	110
5.1 Аналіз умов праці.....	110
5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	110
5.3 Виробничий шум та вібрації.....	113
5.4 Пожежна безпека.....	115
5.5 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи.....	116
5.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	117
ВИСНОВКИ.....	123
Список використаної літератури.....	125
Додатки.....	128

ВНТУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО



## ВСТУП

Подовження тривалості експлуатації механізмів та машин залишається актуальним не зважаючи на стрімкий розвиток технологій покращення робочих властивостей поверхонь. Винайдено та перевірено значну кількість методів та варіантів технологічних процесів нанесення зносостійких покриттів. Але кожен механізм та його пари тертя функціонують в конкретних умовах, які характеризуються діапазоном швидкостей взаємних переміщень, величиною зусиль, тисків на контактних поверхнях, рівнем крутних моментів та зусиль що передаються. На це накладаються умови і вплив навколишнього середовища, які не тільки мають враховувати склад повітря, вологість, температуру, але і масу інших факторів, що не завжди є зрозумілими та однозначними. Саме з цих причин конструктору та технологу потрібно мати величезну кількість матеріалів, покриттів та технологій для забезпечення відповідної якості виробів не тільки в середньому, але і для кожної поверхні. При цьому конкуренція вимагає забезпечення вигідного співвідношення *якість/ціна*.

Традиційно у машинобудуванні переважно використовують декілька основних пар тертя: *чавун-чавун*, *чавун-сталь*, *бронза-сталь* та *сталь-композити*. Вони досить гарно працюють і ведуть себе передбачувано. Але із зносом вузлів з такими парами тертя виникає питання їхнього ремонту. Класично воно вирішувалось заміною зношених деталей на аналогічні нові, що не завжди можливо та економічно доцільно. Відновлення зношених поверхонь з одночасним покращенням їх зносостійкості особливо важливо для умов експлуатації в запилених, абразивних середовищах.

**Актуальність проблеми.** Обсяги застосування розподільчих валів з чавуну у двигунах нараховують десятки мільйонів. Від їх якості та зносостійкості суттєво залежать ресурс двигунів та їх економічність. Значна кількість двигунів вже не виробляється заводами, тому немає і запасних частин до них. Разом з тим велика кількість автомобілів розконсервовано і використовується у військах. Актуальним та економічно вигідним способом

вирішення даної проблеми є відновлення та поверхневе зміцнення робочих поверхонь розподільчих валів з підвищенням їх твердості та зносостійкості.

**Метою роботи** є розробка методів та технології відновлення та зміцнення робочих поверхонь розподільчих валів в умовах абразивного зношування, високої вологості та нерегулярності технічного обслуговування.

#### **Задачі дослідження:**

1. Аналіз процесів зношування робочих поверхонь деталей двигунів внутрішнього згоряння, що працюють в умовах значних перепадів температур, абразивного зношування, високої вологості та нерегулярності технічного обслуговування.

2. Аналіз можливих варіантів підвищення зносостійкості та відновлення робочих поверхонь розподільчих валів двигунів внутрішнього згоряння.

3. Вивчити можливість підвищення ефективності технологічних процесів відновлення шляхом застосування раціональних режимів та сучасних інструментів.

4. Встановити закономірності впливу мокрого наплавлення на деформацію розподільного вала під час наплавлення.

**Об'єкт дослідження** – процеси відновлення робочих поверхонь деталей двигунів внутрішнього згоряння.

**Предмет дослідження** – відновлення робочих поверхонь розподільчих валів двигунів внутрішнього згоряння шляхом застосування методу наплавлення з охолодженням водою.

#### **Методи дослідження.**

В процесі виконання дослідження застосовано дюрометрію з використанням твердоміра ТК-2М та мікротвердоміра ПМТ-3 для визначення відповідно твердості та мікротвердості зміцненого поверхневого шару; металографічний аналіз для вивчення структури утворених покриттів; оптична мікроскопія із використанням мікроскопа МІМ-8 зі спеціальною камерою-окуляром для отримання цифрових зображень мікроструктури; трибологічні дослідження; установка для проведення поверхневого зміцнення.

**Наукова новизна.** В процесі виконання роботи отримано результати, які містять в собі наукову новизну:

1. Вперше досліджено закономірності впливу мокрого наплавлення на деформацію розподільного вала під час наплавлення. Встановлено значне зменшення залишкових деформацій (0,04 – 0,6 мм), що можливо усунути правкою та чистовими методами обробки.

2. Вперше визначено методом математичного планування експерименту раціональні параметри точіння наплавлених поверхонь надтвердими різцями за критеріями заданої шорсткості поверхні.

**Практичне значення одержаних результатів.**

1. Запропонований метод поверхневого зміцнення та відновлення робочих поверхонь розподільчих валів двигунів внутрішнього згоряння дозволяє збільшити термін його служби на 20 –30%.

2. Розроблено технологічний процес відновлення робочих поверхонь розподільчих валів двигунів внутрішнього згоряння наплавленням з охолодженням водою.

**Особистий внесок здобувача.** Результати досліджень, представлені в роботі, одержано автором самостійно. Постановка мети і задач роботи та опрацювання результатів досліджень виконані спільно з науковим керівником.

**Апробація результатів наукової роботи.** Основні положення та частина результатів роботи доповідались та обговорювались на конференції:

1. XLVII Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту 21 - 23 березня 2018 року.
2. XLVIII Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту 13 - 15 березня 2019 року.
3. Науково-Технічної Конференції Підрозділів ВНТУ, Вінниця, – 3 09.11 2020 Р.– 14.05.2021р.

**Публікації.** Оpubлікована 1 теза доповідь за темою наукової роботи у збірниках праць наукових конференцій.

1. Бакалець Д. В. Оцінка впливу мокрого наплавлення на напружено-деформований стан валів [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, О. І. Шугайло, П. Ю. Бондарчук// Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7453>.

## РОЗДІЛ 1 ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА

### 1.1 Охолодження валів під час наплавлення водою

Розподільний вал в двигуні грає далеко не останню роль. В його роботу входять завдання відкриття і закриття клапанів в певні проміжки часу, щоб забезпечити чітку і синхронну роботу поршневої групи, клапанного механізму і системи запалювання. На рис.1.1 показано фрагмент розподільного вала зі зношеним кулачком. На носі кулачка добре видно наслідки тертя між кулачком та коромислом. При цьому помітні сліди схоплювання між ними та виривання металу з кулачка. Але не помітні сліди дряпання від наростів на коромислі, які б зробили глибокі канавки на кулачку. Такий характер пошкоджень свідчить про те, що найбільш ймовірно цьому сприяють такі фактори: 1) матеріал кулачка має достатню пластичність, що є необхідною умовою зварювання тертям; 2) між кулачком та коромислом не було достатньо мастила або його в'язкість була недостатньою для формування масляного клина.



Рисунок 1.1– Фрагмент кулачкового вала з дефектами

Розподільчий вал – це елемент паливної системи двигуна, який відповідає за послідовне відкривання та закривання його клапанів, тобто виконує певний алгоритм. Розподільчий вал являє собою стрижень, на якому в певній кутовій залежності розташовані кулачки. Кулачки – це деталі неправильної форми, що обертаються на осі вала. Вони відповідають кількості впускних та випускних клапанів циліндрів, розташовуються навпроти них. Робота розподільчого вала чітко синхронізована з іншими механізмами системи, що забезпечує стабільну і рівномірну роботу всього двигуна.

Можливі причини виникнення дефектів:

- Низький рівень масла або його неякісний склад;
- Занадто малий тиск масла;
- Перегрів двигуна може викликати втрату в'язкості мастила;
- Природний знос. З'являється після значного пробігу двигуна;
- Порушення технології процесу термообробки при виготовленні деталі,

що є причиною недостатньої твердості робочої поверхні кулачків.

Особливу увагу конструктори приділяють формі і розмірам кулачків, адже саме від їх параметрів залежить, на яку висоту і на який час відкриються клапани, а значить, наскільки ефективно буде подаватися повітря і відводитися вихлопні гази.

Існує закономірність: чим довше відкритий клапан, тим більше повітря надходить в камеру згоряння, а значить, можна подати більше палива. З іншого боку, занадто тривале відкриття клапана загрожує «поцілунком» між ним і поршнем. Це протиріччя і намагаються всіма силами вирішити інженери.

Для спортивних двигунів розроблені спеціальні розподільні вали, зі зміненою геометрією кулачка, на більш тривалий термін відкривання клапану. Така конструкція дозволяє мотору розвивати максимальну потужність, що і потрібно для автогонок. Однак при цьому на порядок зростає споживання палива навіть на холостому ході, що абсолютно не підходить для щоденного водіння.

У арсеналі інженерії відновлення та зміцнення розподільних валів є значна кількість технологій. Найбільшого поширення знайшли технології відновлення методами наплавлення носиків кулачків зносостійкими покриттями; напилювання носиків кулачків та опорних шийок зносостійкими покриттями; термохімічні методи зміцнення.

Розглянемо переваги та недоліки їх застосування.

### 1. Наплавлення кулачків розподільних валів.

Оскільки зношується тільки носик кулачка, то є прагнення наплавити лише цю частину кулачка. Спроби це зробити не дають успіху тому, що внаслідок потужного теплового впливу від електричної дуги та зварювальної ванни виникають значні деформації конструкції. Ці деформації лише частково зменшуються після кристалізації металу зварювальної ванни та остигання деталі. Залишкові деформації та залишкові напруження спотворюють не тільки кулачки, але і весь розподільний вал. Опорні шийки втрачають співвісність.

### 2. Напилювання кулачків розподільних валів.

Під час напилювання кулачків їх температура значно менша, ніж під час наплавлення. Але потрібно мати на увазі те, що знос носика кулачка може досягати глибини більше одного, а в окремих випадках і кількох міліметрів. Враховуючи необхідність попередньої обробки кулачків перед нанесенням покриття, має бути нанесено шар матеріалу товщиною в кілька міліметрів. Такий шар напилення може бути отриманий за десятки проходів. Після напилення покриття втримується на поверхні деталі виключно силами адгезії. Специфіка чавунних деталей така, що на її поверхнях завжди присутні залишки графіту та інших окислів, що не сприяє утворенню міцних адгезійних зв'язків. Додатково потрібно враховувати значну вартість напилених покриттів внаслідок затрат на електроенергію у потужних плазмотронах.

3. Термохімічні, термодифузійні методи слід застосовувати для зміцнення розподільних валів, які ще не використовувались, або після їх відновлення.

Враховуючи викладене, потрібно зосередитись на наплавленні кулачків розподільних валів як основному методі відновлення. При цьому доцільно застосовувати заходи щодо зменшення температури та температурних деформацій під час та після наплавлення. Наплавлення в середовищі захисних газів широко використовується для валів. Але наплавлення валів малих діаметрів та великої довжини (що характерно для розподільних валів) викликає значні деформації, та ливарні усадки, що є наслідком високих температур.

Заслуговує на увагу та подальше дослідження метод «мокрого» наплавлення валів з використанням охолодження у воді або розчинах солей, запропонований доцентом Бакальцем Д. В. У цих дослідженнях брав участь і автор цієї роботи.

Наплавлення виконувалось на установці для наплавлення УД-209 з додатково виготовленим пристосуванням. На рис. 1.2 показано це пристосування.



Рисунок 1.2 – Наплавлення валів у воді



В роботі запропоновано технологію наплавлення з охолодженням, яке дозволяє мінімізувати нагрівання під час зварювання, і відповідно всі негативні наслідки з цим пов'язані. Нерівномірне місцеве нагрівання металу при наплавленні, зміна його об'єму, внаслідок температурного розширення й структурних перетворень, обумовлюють появу зварювальних напружень і деформацій, які в ряді випадків викликають зміну форми і розмірів виробу, і роблять його непридатним для подальшого використання. Особливо це відноситься до процесу наплавлення розподільних валів що мають малі діаметри і нагріваються до температур вище 550 °С. Потрібно врахувати, що границя текучості сталі за температур вище 500 °С значно зменшується. Наслідком є значні деформації вже від власної ваги. Для запобігання значного збільшення температури вала потрібне його охолодження різними способами і водою зокрема. Нами досліджувалися наслідки охолодження водою під час наплавлення на поля напружень та деформацій, що утворювались в матеріалі розподільного вала. Експериментальні дослідження були виконані на установці для наплавлення УД-209М. Вимірювання температури здійснювали пірометром. Величини деформацій вала вимірювали індикатором годинникового типу на магнітній стійці та фіксували відеокамерою. Наплавку проводили в середовищі захисного газу CO<sub>2</sub> та з використанням водяної ванни, а вал частково занурювали у воду. Динаміку зміни геометрії вала за показами індикатора в процесі наплавлення фіксували на відеокамеру. За отриманими даними будували графіки залежності температури, часу та деформацій, показані на (рис. 1.3).

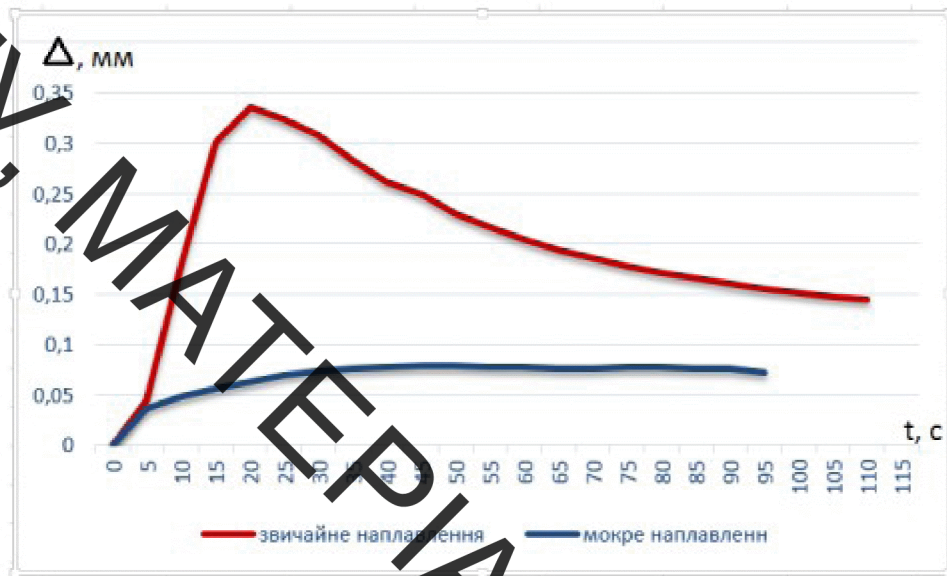


Рисунок 1.3 – Деформації розподільного вала під час «мокрого» наплавлення

Під час наплавлення без охолодження виникли найбільші деформації. Тут температура швидко зростає до значення плавлення в зварювальній ванні, а на діаметрально протилежному боці практично не змінилась. Після наплавлення 4–5 витків температура стабілізувалась і деформації зменшились вдвічі. До завершення наплавлення деформація складала 0,12 – 0,14 мм. Температура в зоні термічного впливу, зафіксована пірометром, досягала 670°C.

Під час наплавленням із зануренням вала у ванну з водою поточні деформації не перевищували 0,07 мм, а в кінці склали 0,04 – 0,6 мм. Температура вала не перевищувала 140 °C.

## 1. 2 Формування високовуглецевих поверхневих шарів на сталі і чавуні.

Плазмове поверхнєве зміцнення (ППЗ) використовується в технології матеріалів. Використовувані в процесі лазерного поверхневого зміцнення світлопоглинальні фарби останнім часом замінюються сумішами фарб, що містять Ti, Fe і C і, як варіант, також Cr. В роботі [8] була описана нова технологія поверхневого зміцнення сталі, яка об'єднує плазмове поверхнєве оплавлення (ППО) та високотемпературний синтез (СВС). Було показано, що

при плазмовому поверхневому оплавленні можна використовувати низькокалорійні і дешеві порошкові СВС-суміші. В даному дослідженні подібні суміші були розроблені для технології ППО у вигляді спеціальних фарб і нижче описано один з вивчених варіантів.

В роботі [8] карбіди TiC були синтезовані в шарі фарби ППО, внаслідок чого замість високорідкотекучого розплавленого шару на оброблюваному металі (легко стікає, особливо з похилих поверхонь) отримували густі шлікери, що містять 50% (за обсягом) твердої фази. В даному дослідженні замість TiC в поверхневому шарі міститься велика кількість первинного цементиту у вигляді пластин (до 70% за обсягом). Для запобігання графітизації цементиту при кристалізації і особливо в процесі тертя і зношування його легували 1,5% Cr (по масі), що робило фазу (Fe, Cr) 3C більш тугоплавкою і термодинамічно стабільною [12].

У даній роботі використовували те ж обладнання та технологічні режими, що і в роботі [8], за винятком складу фарби і товщини її шару. ППО проводили за допомогою дуги вугільного електрода при лінійній швидкості обробки 10-20 мм×с<sup>-1</sup>. Обробляли зразки зі сталі 20 і чавуну СЧ20 у вигляді пластин товщиною 25 мм. На зразки наносили шар легуючої фарби товщиною не більше 280 мкм (для сталі) і не більше 500 мкм (для чавуну). При великих товщинах наплавлений шар не повністю приварювався до металевої основи.

Оптимальний склад фарби для сталевих зразків: 65% (по масі) металевих порошоків +35% сажі. Для зменшення вмісту газів сажу бажано попередньо прожарювати при 300°C. За металеву складову суміші використовували дуже тонкий порошок (менше 1 мкм) порошку сталі ШХ15 (1% С і 1,5% Cr). Для зв'язування цієї суміші додавали невелику кількість рідкого скла. Для чавунних зразків оптимальний склад фарби: 80% порошку сталі ШХ15 + 20% сажі.

В даному дослідженні режим ППО сталі 20 був наступний: питома потужність дуги 1,7×10<sup>5</sup> Вт×см<sup>-2</sup>; діаметр плазмової плями 3 мм; швидкість сканування 12 мм×с<sup>-1</sup>; витрата аргону для захисту металу від окислення 0,5 л×с<sup>-1</sup>, глибина науглецьованого легованого шару 0,3 мм. Отримані на сталевих і

вавунних зразках поверхневі карбідні шари мали чисту і гладку поверхню і склалися в основному з пластин первинного цементиту, зцементованих між собою невеликою кількістю ледебуріту (рис.6.8, а). Твердість таких шарів 750-800 HV, мікротвердість пластин первинного цементиту 950-1000 HV, а ледебуріту - 600 HV.

На жаль при дослідженні був виявлений дефект, "природжений" до нового процесу. Цей дефект є дрібні усадочні пори між пластинами первинного цементиту, що спостерігаються в осьовій частині наплавленого валика. Застосування ливарних прибутків для живлення цього валика неможливо, і ніяких засобів для його запобігання в даний час знайти не вдалося. Для підвищення зносостійкості отриманих карбідних шарів рекомендується втирати в поверхню металу (наприклад, після шліфування) суміш епоксидної смоли з порошком сталі ШХ15. Переваги цих шарів перед шарами з TiC, описаними в роботі [3], полягають не тільки в тому, що вони дешеві, але і в зниженні на 50% зносу контртіла.

В даному технічному процесі ППО може бути замінено лазерним поверхневим оплавленням або навіть простим використанням ацетиленокисневого пальника. При високих температурах сажа захищає залізо від сильного окислення, гази CO та CO<sub>2</sub> встигають вийти в атмосферу і ніякі неметалеві включення в металі не утворюються, тому аргонний захист валика не завжди є обов'язковим.

## Висновки

1. Досліджена технологія «мокрого» наплавлення, дозволяє відновлювати деталі без їх перегріву, що зменшує поточні деформації на 60-70%, а залишкові майже вдвічі. Отримані покриття мають високу якість, що дозволяє рекомендувати метод до застосування у виробництві.

2. Розглянуто основні причини виникнення зносу на кулачках розподільного вала, що дає підґрунтя для вирішення цих проблем не тільки в ремонтній практиці, а й в процесі виготовлення деталі .

3. Плазмове поверхнєве оплавлення кулачків дозволяє отримати зносостійкі поверхні з твердістю HRC 50-60.

### 1. 3. Визначення раціональних режимів обробки розподільного вала

Обробка твердого (50-55 HRC) наплавленого шару різцями марки T15K6 або BK8 неможлива, тому було вирішено використовувати різцеві вставки на основі кубічного нітриду бору. У роботі [2] наведені результати процесу точіння загартованої сталі ХВГ твердістю 60-62 HRC. Встановлено вплив технологічних режимів обробки на складові сили різання, величину вібрації, шорсткість обробленої поверхні. Автори рекомендують точити загартовані сталі на режимах різання, при яких величина коливань сили різання на частоті обертання шпинделя буде мінімальною, що забезпечується режимами обробки: глибиною різання  $t = 0,1$  мм, подачею  $s = 0,156-0,208$  мм/об. При цьому забезпечується мінімальна шорсткість поверхні.

Показано, що інструменти на основі КНБ дозволяють забезпечувати шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 0,25-0,63$  мкм при високій продуктивності обробки [1].

#### 1.3.1 Вплив технологічних режимів точіння на геометричні параметри обробленої поверхні

Перетворення натуральних факторів  $t$ ,  $s$ ,  $v$ ,  $zr$  в кодовані безрозмірні змінні виконано за допомогою залежності (1.1).

Кодування натуральних змінних:

$$x_1 = 3.861353116 + 1.242669869 \text{ LN}t;$$

$$x_2 = 1,841911589 + 2,360445004 \text{ LN}s;$$

$$x_3 = -3,590631736 + 0,9614063698 \text{ LN}v;$$

$$x_4 = -13,4251348 + 4,481420124 \text{ LN}zr;$$

Визначення коефіцієнтів емпіричної моделі проведено за допомогою матриці дробофакторного експерименту (ДФЕ) типу (число незалежних факторів – 4-1, число рівнів зміни кожного фактора – 2). Число дослідів за планом експериментів – 8.

Матриця ДФЕ типу  $2^{4-1}$  дозволяє також визначити коефіцієнти регресії з врахуванням взаємодії факторів. Результати та матриця планування експериментів відображені в таблиці.

Визначаючий контраст  $I = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$ . Перемножуючи праву та ліву частину на добуток двох кодованих факторів отримано:

$$X_1 \cdot X_2 = X_3 \cdot X_4, \quad X_1 \cdot X_3 = X_2 \cdot X_4, \quad X_2 \cdot X_3 = X_1 \cdot X_4.$$

Отже, коефіцієнти регресії для вказаної комбінації факторів однакові. Надати перевагу певній комбінації факторів з окремої рівності – неможливо.

Рівняння регресії з кодованими змінними, що враховує взаємодію факторів:  $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_4 X_4$ .

Число повторних дослідів  $r = 2$ .

Коефіцієнти визначено шляхом сумування по членних добутків стовпця матриці плану експериментів  $2^3$  на стовбець  $Y_v$  за залежністю (2.1).

Таблиця 1.1 - Матриця планування експериментів при точінні

№ досліду	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> = X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> = X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> = X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

### Шорсткість поверхні Ra

Таблиця 1.2 - Результати дослідів та їх попереднє опрацювання

№ досліду	Ra <sub>1</sub>	Ra <sub>2</sub>	Y <sub>1vj</sub> = ln	Y <sub>2vj</sub> = ln	$\bar{Y} = \frac{Y_{1vj} + Y_{2vj}}{2}$
	МКМ		(Ra <sub>1</sub> )	(Ra <sub>1</sub> )	
1	0,11	0,13	-2,207266	-2,0402208	-2,123743
2	0,14	0,16	-1,966114	-1,8325815	-1,899347
3	0,18	0,20	-1,714798	-1,6094379	-1,662118
4	0,23	0,25	-1,469676	-1,3862944	-1,427985
5	0,20	0,22	-1,609441	-1,5141277	-1,561783
6	0,30	0,32	-1,203973	-1,1394646	-1,171704
7	0,32	0,36	-1,139434	-1,0216512	-1,080543
8	0,37	0,45	-0,994252	-0,7985077	-0,896380

Таблиця 1.3 - Коефіцієнти регресії

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_4$
-1,4779	0,12909	0,211194	0,3003487	0,024523	0,0145	-0,0220535	0,0269561

Таблиця 1.4 - Вихідні дані для визначення дисперсії відтворюваності дослідів

№	$Y_{1vj}$	$(Y_{1vj} - \bar{Y}_v)$	$(Y_{1vj} - \bar{Y}_v)^2$	$Y_{2vj}$	$(Y_{2vj} - \bar{Y}_v)$	$(Y_{2vj} - \bar{Y}_v)^2$
1	-2,207275	-0,083527	0,0069769	2,04022083	0,083527	0,0069768
2	-1,966113	-0,066766	0,0044577	1,83258146	0,066767	0,0044577
3	-1,714798	-0,05268	0,0027752	-1,60943792	0,052680	0,0027752
4	-1,469676	-0,041691	0,0017382	-1,38629436	0,041691	0,0017381
5	-1,609438	-0,047655	0,002271	-1,51412775	0,047655	0,002271
6	-1,203973	-0,032269	0,0010413	-1,13943428	0,032269	0,0010413
7	-1,139434	-0,058892	0,0034682	-1,02165125	0,058892	0,0034682
8	-0,994252	-0,097872	0,009579	-0,7985077	0,097872	0,009579

Сума різниць квадратів:  $S_v^2 = \sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (i_{vj})^2 = 0,0646145$

Визначення дисперсії відтворюваності дослідів:

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (Y_{vj} - \bar{Y})^2}{N(r-1)} = \frac{0,0646145}{8(2-1)} = 0,008077;$$

$$S\{Y\} = \pm\sqrt{0,008077} = \pm 0,0898711.$$

Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Кохрена.

Розрахункове значення критерія Кохрена:



$$G = \frac{S_{v \max}^2}{S_{\bar{v}}^2} = 0,148248.$$

Критичне значення критерія Кохрена  $G_{кр} = 0,6798$  (визначено для ступенів свободи  $f_{v \max} = (r-1) = 2-1 = 1$ ,  $f_v = N = 8$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Гіпотеза дисперсної однорідності приймається  $G < G_{кр}$ .

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії.

Дисперсія коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{N-r} = \frac{0,008077}{8-2} = 0,000505$$

$$S\{b_i\} = \pm\sqrt{0,000505} = \pm 0,022468$$

Табличне значення критерія Стюдента  $t_{кр} = 2,036$  (визначено для ступеня свободи  $f_E = N(r-1) = 8(2-1)$  та  $\alpha = 0,05$ ).

Половина довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta b_i = \pm t_{кр} \cdot S\{b_i\} = \pm 2,036 \cdot 0,022468 = \pm 0,0518107.$$

Коефіцієнт рівняння регресії вважається значимим, якщо виконується умова:  $|b_i| \geq \Delta b_i$ .

Таблиця 1.5 - Значимі коефіцієнти регресії:

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_4$
-1,477951	0,129097	0,2111945	0,3003487	0	0	0	0,0269561

Рівняння регресії із застосуванням значимих коефіцієнтів регресії подано нижче:

$$Y = -1,477951 + 0,129097 X_1 + 0,2111944 X_2 + 0,3003487 X_3 + 0,0269561 X_4$$

Для перевірки правдивості моделі використано значення  $Y_v$ , яке отримано розрахунковим шляхом з використанням рівняння регресії було підставлено значення +1 та -1 відповідно до матриці планування експериментів.

Таблиця 1.6 Вихідні дані для розрахунку дисперсії адекватності

№ досліду	$\bar{Y}_{vj}$	$Y_{vj}$	$(\bar{Y}_{vj} - Y_{vj})$	$(\bar{Y}_{vj} - Y_{vj})^2$
1	-2,091635	-2,124	0,032113	0,0010312
2	-1,887353	-1,899	0,011994	0,0001439
3	-1,723158	-1,662	-0,06104	0,0037259
4	-1,411052	-1,428	0,0169331	0,0002867
5	-1,54485	-1,562	0,0169331	0,0002867
6	-1,232744	-1,172	-0,06104	0,0037259
7	-1,0685	-1,081	0,011994	0,0001439
8	-0,864267	-0,896	0,32113	0,0010312
Сума				0,010375

Дисперсія адекватності моделі:

$$S_{ад}^2 = \frac{r}{N \cdot m} \sum_{v=1}^N (\hat{Y}_v - Y_v)^2 = \frac{2}{8-5} 0,010375 = 0,006917,$$

де  $m$  – число членів кінцевого апроксимуючого полінома (прийнято  $m=5$ ).

Розрахунковий критерій Фішера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{0,006917}{0,008077} = 0,856397 .$$

Табличне (критичне) значення критерія Фішера  $F_{кр} = 4,07$

Табличне (критичне) значення критерія Фішера  $F_{кр}$  встановлене для ступенів свободи:

$$f_{ад} = N - m = 8 - 5 = 3; \quad f_E = N(r-1) = 8(2-1) = 8; \quad \alpha = 0,05 .$$

Умова  $F < F_{кр}$  – виконується.

Модель – адекватна.

Перехід до моделі в натуральних змінних здійснено підставленням в рівняння регресії виразів (1) переходу від натуральних до кодових змінних.

Модель процесу в натуральних змінних:

$$\ln R_a = - 1,307012652 + 0,2887571110 \cdot \ln t + 0,4985127994 \cdot \ln s + \\ + 0,2887571110 \cdot \ln v + 0,1208016045 \cdot \ln z r$$

**Відхилення розміру від заданих параметрів**

Таблиця 1.7 - Результати дослідів та їх попереднє опрацювання

№ дослідів	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$Y_{1vj}=\ln(\Delta_1)$	$Y_{2vj}=\ln(\Delta_2)$	$\bar{Y}_{vj}=\frac{Y_{1vj}+Y_{2vj}}{2}$
	МКМ				
1	0,40	0,50	-0,92	-0,69	-0,804719
2	0,50	0,60	-0,69	-0,51	-0,6019864
3	0,60	0,80	-0,51	-0,22	-0,3669846
4	1,00	1,20	0,00	0,18	0,0911608
5	0,80	1,00	-0,22	0,00	-0,1115718
6	1,20	1,40	0,18	0,34	0,2593969
7	1,40	1,60	0,34	0,47	0,4032379
8	1,60	1,80	0,47	0,59	0,5288951

Таблиця 1.8 - Коефіцієнти регресії

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_4$
-0,075321	0,144688	0,239399	0,345311	0,0012627	-0,0205	-0,04332	0,062591

Таблиця 1.9 - Вихідні дані для визначення дисперсії відтворюваності дослідів

No	$Y_{1vj}$	$(Y_{1vj} - \bar{Y}_v)$	$(Y_{1vj} - \bar{Y}_v)^2$	$Y_{2vj}$	$(Y_{2vj} - \bar{Y}_v)$	$(Y_{2vj} - \bar{Y}_v)^2$
1	-0,92	-0,11157	0,01244826	-0,69	0,1115718	0,012448261
2	-0,69	-0,09116	0,00831029	-0,51	0,0911608	0,008310288
3	-0,51	-0,14384	0,02069024	-0,22	0,143841	0,020690244
4	0,00	-0,09116	0,00831029	0,18	0,0911608	0,008310288
5	-0,22	-0,11157	0,01244826	0,00	0,1115718	0,012448259
6	0,18	-0,07708	0,00594061	0,34	0,0770753	0,005940603
7	0,34	-0,06677	0,00445766	0,47	0,0667657	0,004457658
8	0,47	-0,05889	0,0034681	0,59	0,0588915	0,003468211

Суми різниць квадратів:

$$S_v^2 = \sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (Y_{vj} - \bar{Y}_v)^2 = 0,15214764$$

Визначення дисперсії відтворюваності дослідів:

$$S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (Y_{vj} - \bar{Y}_v)^2}{N(r-1)} = \frac{0,15214764}{8(2-1)} = 0,019018;$$

$$S\{Y\} = \pm\sqrt{0,019018} = \pm 0,137907.$$

Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Кохрена.

Розрахункове значення критерія Кохрена:

$$G = \frac{S_{v \max}^2}{S_v^2} = 0,13598794$$

Критичне значення критерія Кохрена  $G_{кр} = 0,6798$  (визначено для ступенів свободи  $f_{v \max} = (r-1) = 2-1 = 1$ ,  $f_v = N = 8$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Гіпотеза однорідності дисперсій приймається –  $G < G_{кр}$ .

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії.

Дисперсія коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_1\} = \frac{S^2\{y\}}{N-r} = \frac{0,019018}{8-2} = 0,001189;$$

$$S\{b_1\} = \pm\sqrt{0,001189} = \pm 0,034477.$$

Табличне значення критерія Стюдента  $t_{кр} = 2,036$  (визначено для ступеня свободи  $f_E = N(r-1) = 8(2-1)$  та  $\alpha = 0,05$ ).

Половина довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta b_i = \pm t_{кр} \cdot S\{b_i\} = \pm 2,036 \cdot 0,034477 = \pm 0,07950362.$$

Коефіцієнт рівняння регресії вважається значимим, якщо виконується умова:  $|b_i| \geq \Delta b_i$ .

Таблиця 1. 10 - Значимі коефіцієнти регресії:

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_4$
-0,075321	0,144688	0,23939869	0,34531092	0	0	0	0,062591

Коефіцієнт  $b_0$  у рівнянні регресії залишаємо, так як він відображає середньоарифметичне значення факторів, тому нехтувати ним недоцільно.

Рівняння регресії із застосуванням значимих коефіцієнтів регресії:

$$Y = -0,075321 + 0,144688 X_1 + 0,23939869 X_2 + 0,34531092 X_3 - 0,062591 X_4$$

Для перевірки правдивості моделі використано значення  $Y_v$ , яке отримано розрахунковим шляхом з використанням рівняння регресії було підставлено значення +1 та -1 відповідно до матриці планування експериментів.

Таблиця 1.11 - Вихідні дані для розрахунку дисперсії адекватності

№ досліду	$\bar{Y}_{vj}$	$Y_{vj}$	$(\bar{Y}_{vj} - Y_{vj})$	$(\bar{Y}_{vj} - Y_{vj})^2$
1	-0,74213	-0,804719	0,6259053	0,0039176
2	-0,57793	0,6019864	0,02405286	0,0005785
3	-0,38851	-0,3669846	-0,0215275	0,0004635
4	0,026045	0,09116078	-0,0651159	0,0042401
5	-0,17669	-0,1115718	-0,0651159	0,0042401
6	0,237869	0,2593969	-0,0215275	0,0004634
7	0,427291	0,40323793	0,02405286	0,0005785
8	0,591486	0,52889515	0,06259053	0,0039176
Сума				0,0183993

Дисперсія адекватності моделі:

$$S_{ad}^2 = \frac{r}{N \cdot m} \sum_{v=1}^N (\bar{Y}_v - Y_v)^2 = \frac{2}{8-5} 0,01839929 = 0,01226617,$$

де  $m$  – число членів кінцевого апроксимуючого полінома (прийнято  $m=5$ ).

Розрахунковий критерій Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{Y\}} = \frac{0,01226617}{0,019018} = 0,64496137.$$

Табличне (критичне) значення критерія Фішера  $F_{кр} = 4,07$

Табличне (критичне) значення критерія Фішера  $F_{кр}$  встановлене для ступенів свободи:

$$f_{ад} = N - m = 8 - 5 = 3; \quad f_E = N(r-1) = 8(2-1) = 8; \quad \alpha = 0,05 .$$

Умова  $F < F_{кр}$  – виконується.

Модель – адекватна.

Перехід до моделі в натуральних змінних здійснено підставленням в рівняння регресії виразів (1) переходу від натуральних до кодових змінних.

Модель процесу в натуральних змінних:

$$\ln \Delta = -0,524731 + 0,179802 \cdot \ln f + 0,56509 \cdot \ln s + 0,3319832 \cdot \ln v + 0,280491 \cdot \ln z r$$

Переваги процесу шліфування полягає, насамперед, в забезпеченні високої розмірної точності (в межах 2-4 мкм), а також шорсткості обробленої поверхні  $Ra = 1,25 - 0,32$  мкм. Технологічні можливості процесу дозволяють розглядати його як один з методів підвищення ефективності на чорнових та чистових операціях механічної обробки.

Для підвищення продуктивності шліфування та розширення його технологічних можливостей, знаходить застосування швидкісне шліфування яке забезпечується підвищенням швидкості абразивного круга. У свою чергу, швидкісне шліфування вимагає створення абразивних кругів з високою міцністю на розрив, малим дисбалансом і з відповідними різальними властивостями робочої поверхні.

## Висновки

Розроблена методика експериментальних досліджень забезпечила перевірку висунутих припущень щодо можливості механічної обробки робочих поверхонь деталей машин, відновлених методом наплавки.

Розроблено планування та методику математичної обробки результатів досліджень якості поверхонь фінішної механічної обробки деталей. Отримані



рівняння регресії для встановлення впливу технологічних чинників на шорсткість  $R_a$  поверхонь і відхилення  $\Delta$  від заданої точності відновлених деталей при точінні і шліфуванні.

ВНТУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА

### 2.1 Аналіз службового призначення вузла, деталей.

Розподільчий вал є складовою частиною двигуна. (Рис. 2.1).

Вал складається з шийок, які встановлено в корпусі двигуна та кулачків, які виконують функцію відкриття та закриття клапанів.

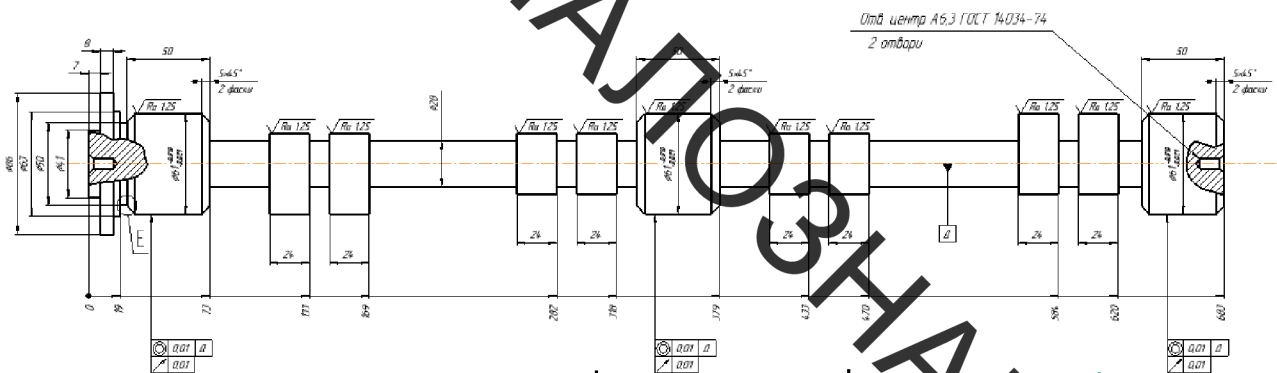


Рисунок 2.1 – Робоче креслення вала

Розглянемо всі опрацьовані поверхні вала їх призначення використовуючи рисунок 1 та 2.

Поверхні 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 є робочими та виконують функцію відкриття та закриття клапанів. Поверхня повинна бути виконана по якості точності  $d9\left(\begin{smallmatrix} -0.080 \\ -0.142 \end{smallmatrix}\right)$ , шорсткість не більше як  $R_a=1,25$  мкм.

Поверхня 9, 10, 11 шийки розподільчого вала, вони працюють як підшипники ковзання. Тому до них висуваються підвищені вимоги до виготовлення. Поверхня повинна бути виконана по якості точності  $g6\left(\begin{smallmatrix} -0.010 \\ -0.029 \end{smallmatrix}\right)$ , шорсткість не більше як  $R_a=1,25$  мкм.

Поверхні 12 і 13 призначені для закріплення деталі в центрах.

Відхилення циліндричності поверхні після відновлення не повинне перевищувати 0,01мм.

Всі інші поверхні не такі відповідальні, як перераховані, оскільки вони не контактують з спряженими деталями і виготовленні штампованим способом без наступної механічної обробки.

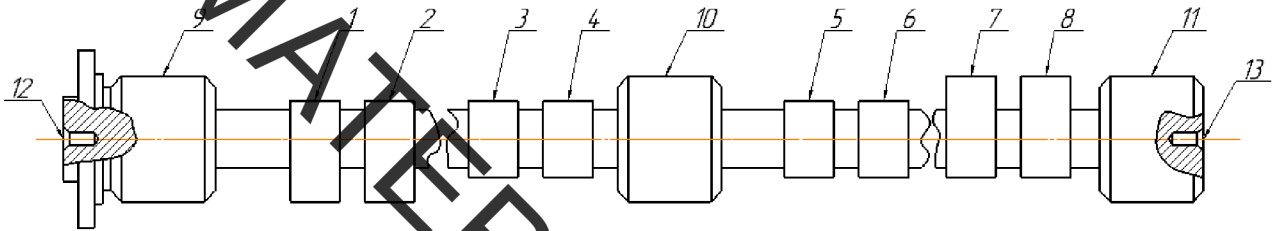


Рисунок 2.2 – Ескіз вала з вказаними номерами поверхонь

## 2.2 Матеріал деталі та його властивості

Чавун СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70 характеризується високим ступенем обробки різанням. Використовується для виробництва деталей насосів, компресорів, турбін, двигунів, та інших відповідальних частин у машинобудуванні. Має гарні антифрикційні властивості та зносостійкість, що особливо важливо для таких деталей, як розподільчий вал.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад у % матеріалу чавун СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70

Найменування	Значення
Вміст азоту (N) , %	0..0,008
Вміст кремнію (Si), %	0,17..0,37
Вміст марганцю (Mn), %	0,2...1,1
Вміст міді (Cu), %	0..0,3
Вміст нікелю (Ni), %	1
Вміст сірки (S), %	0..0,012
Вміст вуглецю (C), %	2,5...3,7
Вміст фосфору (P), %	0..0,035
Вміст хрому (Cr), %	0,8..1,1

Таблиця 2.2 – Механічні властивості Чавун СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70

Найменування	Значення
Відносне звуження, %	20...30
Відносне подовження після розриву, %	0,4...0,7
Густина, кг/м <sup>3</sup>	7100
Межа міцності, МПа	210
Межа текучості, МПа	210
Зварюваність	Важкозварний
Твердість по Бріннелю, НВ	216
Флокеночутливість	чутливий

Таблиця 2.3 – Характеристика матеріалу Чавун СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70

Марка матеріалу	Чавун СЧ 21-40
Класифікація	Чавун сірий, ковкий, високоміцний
Застосування	Для виготовлення відливків головок і блоків циліндрів в автомобіле- і тракторобудівництві, відливки станин, станків, розмічних плит, гідроциліндрів, маховиків, шестерень, шківів, каретрів, кришок робочих циліндрів, деталей працюючих на стирання при підвищених температурах.

Таблиця 2.4 – Технологічні якості матеріалу Чавун СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70

Зварюваність	Важко зварюється
Флокеночутливість	чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості	схильна

Отже, перед процесом наплавлення розподільчий вал потрібно підігріти до температури 200°C – 250°C для покращення процесу схоплювання між основним і наплавленим металом, а також для запобігання появи мікротріщин.

**Висновок:**

На основі проведеного аналізу можна сказати, що в цілому деталь розподільчий вал досить технологічна. При виготовленні допускається використання високопродуктивних режимів різання (обробки). Дана деталь має добрі базові поверхні для первісної обробки, що позитивно впливає на отримання заготовки.

### **2.3 Кількісна характеристика технологічності.**

Таблиця 2.5 – Кількісна характеристика технологічності.

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шорсткість	Радіальні розміри
61*	Ø61g6*(3 пов.)		1,25 *(3 пов.)	R0,01*(3 пов.)
49 *	Ø49d9*(8 пов.)		1,25 *(8 пов.)	R0,01*(8 пов.)
24 *	Ø24*(10 пов.)		6,3 *(10 пов.)	R0,1*(10пов.)
5 *	61*(6 пов.)	45°*(6 пов.)		
54	54(1 пов.)			
63	63(1 пов.)			
80	80(1 пов.)			
41	41(1 пов.)			
683*				
Σзаг. = 9	Σзаг. = 8	Σзаг. = 1	Σзаг. = 3	Σзаг. = 3
Σуніф. = 5	Σуніф. = 4	Σуніф. = 1	Σуніф. = 3	Σуніф. = 3

Примітка: позначення «\*» мають уніфіковані розміри.

Розподільчий вал виготовлений чавуну СЧ 21 ГОСТ 1412-70. Призначений для відкривання та закривання клапанів двигуна внутрішнього згорання.

Посадочні місця під підшипники мають певні допуски, що сприяє нормальному виконанню свого службового призначення.

Деталь вал має поверхні складної конфігурації, що ускладнює прохід інструмента.

$$K_{ув} = \frac{Q_{ун}}{Q_э} = \frac{16}{24} = 0,66 \quad (2.1)$$

$Q_{ун}$  – кількість уніфікованих елементів;

$Q_э$  – загальна кількість елементів.

Таблиця 2.6 – Визначення коефіцієнта точності обробки

Квалітет (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
9 ( $\varnothing 49d9$ ) ( $\begin{smallmatrix} -0,08 \\ -0,142 \end{smallmatrix}$ )	8	$9 \cdot 8 = 72$
6 ( $\varnothing 61g6$ ) ( $\begin{smallmatrix} -0,01 \\ -0,029 \end{smallmatrix}$ )	3	$6 \cdot 3 = 18$
12 Всі інші	18	$12 \cdot 18 = 216$
Сума	39	255

$$T_{ср} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{216}{39} = 6,7 \quad (2.2)$$

$$K_{т.ч} = 1 - \frac{1}{T_{ср}} = 1 - \frac{1}{6,7} = 0,905 \quad (2.3)$$

де  $T_i$  – квалітет точності оброблених поверхонь даної деталі;

$n_i$  – кількість поверхонь деталі з точністю відповідно за 0..17 квалітетами.

Таблиця 2.7 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Шорсткість (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
1.25 (Ø61g6) ( $\begin{smallmatrix} -0.010 \\ -0.029 \end{smallmatrix}$ )	3	1.25·3=3.75
1.25 (Ø49d9) ( $\begin{smallmatrix} -0.080 \\ -0.142 \end{smallmatrix}$ )	8	1.25·8=10
6,3 Вд інших	18	6,3·18=113,4
Сума	29	127,15

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{127,15}{29} = 4,38 \quad (2.4)$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ш_{\text{ср}}} = \frac{1}{4,38} = 0,228 \quad (2.5)$$

де  $Ш_{\text{ср}}$  – середня шорсткість поверхні, мкм,

$Ш_i$  – шорсткість оброблених поверхонь даної деталі, мкм;

$n_i$  – кількість поверхонь, що мають шорсткість, яка відповідає числовому значенню параметра  $R_a$ , мкм..

Так як коефіцієнт шорсткості поверхні  $K_{\text{ш}}$  менше 0,32, то деталь технологічна. Тобто зношені поверхні доцільно відновлювати, використовуючи різні методи відновлення.

Висновок:  $K_y=0,66>0,6$ ;  $K_T=0,905>0,8$ ;  $K_{\text{ш}}=0,228<0,32$ . Отже деталь за кількісними показниками є технологічною.

## 2.4 Дефектування деталі, опис дефекту, ремонтне креслення з таблицею

При дефектуванні встановлюють: спрацьованість робочих поверхонь, тобто зміни розмірів і геометричної форми деталей; наявність викришування, тріщин, сколів, пробоїн, подряпин, задер тощо; залишкових деформацій у вигляді вигину, перекосу; зміни фізико-механічних характеристик в результаті впливу температури, вологи тощо.



1. Зовнішній огляд дозволяє виявити значну кількість дефектів: пробоїни, вм'ятини, явні тріщини, значні вигини і перекося, порушення з'єднань, викривлення в даній деталі робочої поверхні.

2. При перевірці на дотик визначають спрацювання поверхні під підшипники ковзання.

3. Гасова проба здійснюється з метою виявлення тріщини та її кінців. Деталь або занурюють на 15-20 хв. до гасу, або гасом змащують передбачуване дефектне місце, ретельно потім протирають і покривають крейдою. Гас, що виступає з тріщини, зволожує крейду і чітко виявляє межі тріщини.

4. Виміри за допомогою вимірювальних інструментів і засобів дозволяють визначити величину спрацювання і зазорів в сполучуваних деталях, відхилення від форми і розташування поверхонь.

5. При перевірці твердості поверхні визначають зміни, які виникли в процесі її експлуатації.

6. Магнітний спосіб заснований на зміні значення і напрямку магнітного потоку, який проходить через деталь у місцях з дефектами. Ця зміна визначається нанесенням на випробовувану деталь сухого чи застилого в гасові (трансформаторному мастилі) феромагнітного порошку: порошок облідає по кромці тріщини. Спосіб використовується для виявлення тріщин і раковин у сталевих деталях за допомогою стаціонарних і переносних (для великих деталей) магнітних дефектоскопів.

Спостереження за зносом і пошкодженнями деталей машин при експлуатації дозволяє виділити п'ять основних видів руйнування деталей:

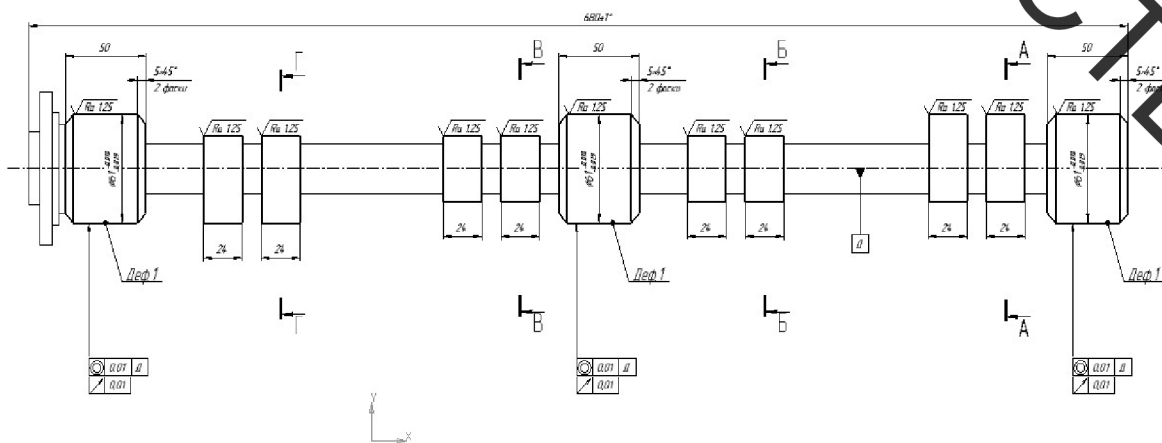
- 1) деформація і злом (крихкий, в'язкий, втомлений, остаточна деформація, контактне втомлене пошкодження);
- 2) механічний знос (знос металевих пар, абразивний знос);
- 3) ерозійно-кавітаційне пошкодження (рідинна ерозія, кавітація, газова ерозія);
- 4) корозійне пошкодження (атмосферна корозія, корозія в електролітах, газова корозія);

5) корозійно-механічне пошкодження (корозійна втома, корозійне розтріскування, корозія при терті).

Дефекти 1 та 2 (Табл. 2.12) відносяться до другої групи пошкоджень і є поправним. Дефект 1 розташований на зовнішніх циліндричних поверхнях  $\varnothing 61$ . Дефекти виникають при зношуванні зовнішніх поверхонь розподільчого вала у зв'язку із спрацюванням спряження вал – вкладиш. Дефект 2 розташований на кулачках. Тобто їх можливо і доцільно ремонтувати.

Визначальним служить механічна взаємодія поверхонь, що контактують, яка викликає руйнування оксидних плівок, частки яких не видаляються за межі контакту і діють як абразив.

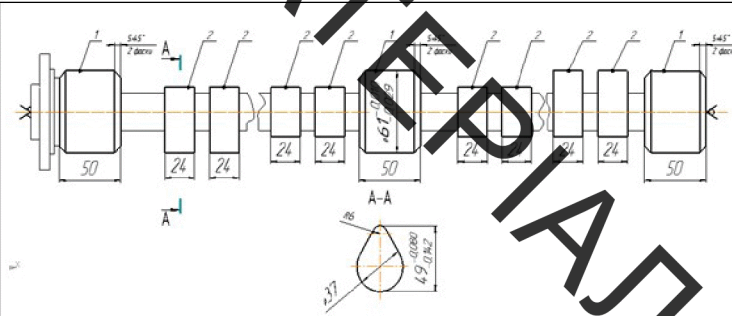
Також має місце адгезійна взаємодія в поєднанні з корозією. Внаслідок адгезії частки металу спочатку відокремлюються від поверхні, потім окислюються киснем середовища і перетворюються в абразив. Дефекти 1 та 2 виникають також за рахунок дії підвищених статичних та динамічних навантажень, так як сила, яку прикладають до даної поверхні спричиняє великі напруження.



Рисун

ок 2.3 – Ремонтне креслення розподільчого вала

Таблиця 2.8 – Дефекти розподільчого валу

		Найменування деталі або складальної одиниці	Позначення		
		Розподільчий вал	08-27.КП.НН001.0 1.00.001		
		Матеріал	Твердість		
		Чавун СЧ 21-40	49 HRC		
Позиція на ескізі	Можливий дефект	Спосіб вивчення дефекту і засоби контролю	Розмір, мм		Висновок
			до робочому кресленню	допустимий без ремонту	
1	Знос циліндричної поверхні валу	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89	$\varnothing 61_{-0,025}^{-0,015}$	$\varnothing 60,95$	Відновлювати
2	Знос робочої частини кулачка	Мікрометр МК-3 ГОСТ 166-89	$\varnothing 49_{-0,142}^{-0,085}$	$\varnothing 48,95$	Відновлювати

## 2.5 Визначення типу ремонтного виробництва

Тип виробництва – це комплексна характеристика технічних, організаційних та економічних особливостей промислового підприємства, що враховує обсяг та повторюваність випуску виробів.

Тип виробництва суттєво впливає на виробничу структуру підприємства, характер технологічних процесів та їх оснащеність. Загалом виділяють три основні типи виробництва: одиничний, серійний (з модифікаціями дрібносерійний та крупносерійний) та масовий. Але в сучасних умовах спостерігається тенденція орієнтації підприємств на задоволення індивідуальних потреб споживача. Тому часто підприємства переходять від масового випуску продукції до дрібносерійного або індивідуального замовлення окремих осіб. Для визначення типу виробництва необхідно розрахувати коефіцієнт спеціалізації  $K_{сп}$  [17]:

$$K_{\text{сп}} = ((D_{\text{к}} - D_{\text{в}}) * m * T_{\text{зм}} * 60) / (t * N), \quad (2.6)$$

де  $D_{\text{к}}$  – кількість календарних днів у році (365 днів),

$D_{\text{в}}$  – кількість вихідних та святкових днів в даному році (123 дні),

$m$  – число змін роботи, приймаємо 2 зміни,

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, годин, приймаємо 8 годин,

60 – коефіцієнт переведення годин в хвилини,

$t$  – тривалість виконання технологічної операції на даному робочому місці (або норма часу), хв,

$N$  – кількість виробів (деталей, вузлів, тощо), які обробляються на даному робочому місці за рік, 1000 шт.

Керуючись формулою, розраховуємо коефіцієнт спеціалізації:

$$K_{\text{сп}} = ((365 - 123) * 2 * 8 * 60) / (5 * 1000) = 46,464 \quad (2.7)$$

Він відповідає середньо-серійному типу виробництва.

Для даного типу виробництва обирається організація дільниці з розташуванням верстатів за типом. У цьому випадку треба обирати універсальні верстати та пристосування з спеціальними налатками. Дані для оцінки типу виробництва приведені в таблиці 2.13

Таблиця 2.9 – Характеристика типу виробництва

Маса деталі в кг	Кількість деталей, які підлягають обробці у виробництві, шт				
	Одиничне	Малосерійне	Середньо-серійне	Великосерійне	Масове
До 2,5	До 10	10...1000	1000-50000	500000-100000	100000 i >
2,5-5,0	До 10	10...500	500-35000	35000-75000	75000 i >
5,0-10,0	До 10	10...300	300-25000	25000-50000	50000 i >
10-50	До 10	10...200	200-10000	10000-25000	25000 i >
50 i >	До 5	5...100	100-300	300-1000	5000 i >

Якщо відносно таблиці 2.13. виробництво середньо-серійне, то потрібно знаходити такт випуску за формулою:

$$T_{\phi} = \frac{\Phi_{дл}}{P_{в}} = \frac{(365 - D_{вх} - D_{св}) \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,93 \cdot 0,95 \cdot 80}{1000} = 205,24 \text{ [хв]} \quad (2.8)$$

де  $\Phi_{дл}$  - дійсний фонд часу роботи лише за рік;

365 - кількість днів за рік;

$D_{вх}$  - суботі та вихідні дні (104);

$D_{св}$  - кількість святкових днів за рік (19);

$K_p = 0,93$  - коефіцієнт, що враховує втрати часу на ремонт;

$K_{рп} = 0,95$  - коефіцієнт, що враховує регламент перерви;

$P_{в}$  - річна програма випуску, шт. /кількість деталей, що підлягають обробці;

2 - кількість змін;

8 - кількість годин на робочій зміні.

Якщо виробництво середньосерійне, то потрібно знаходити партію запуску деталей за формулою:

$$P_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{д}}} \quad (2.9)$$

де  $P_{\text{зап}}$  - величина партії запуску деталей, шт.;

$P_{\text{в}}$  - річний об'єм випуску деталей, шт.;

$P_{\text{д}}$  - кількість робочих днів за рік;

$$P_{\text{д}} = 365 - D_{\text{вих}} - D_{\text{св}} = 365 - 104 - 19 = 242 \text{ дні}$$

$g$  - необхідний запас деталей на складі в днях коливається від 5 до 8 днів.

Для дрібних і середніх деталей  $g = 6 \dots 8$ . Для великих  $g = 5 \dots 7$ .

Вихідні дані - кількість деталей, що підлягають обробці  $P_{\text{в}} = 1000$  шт.

Відносно таблиці 2.13. тип виробництва середньосерійний.

Так, як виробництво середньосерійне, знаходимо величину партії запуску за формулою:

$$P_{\text{зап}} = \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{д}}} = \frac{1000}{242} \cdot 5 = 20,66 \text{ [шт]} \quad (2.10)$$

## 2.6 Розробка технологічної схеми та технології розбирання-складання під час ремонту вузла газорозподільчого механізму

Ефективність ремонтного виробництва значно залежить від проектних рішень стосовно концентрації та спеціалізації. Тому, підвищення точності, швидкості та ефективності розбирання та складання виробу є досить доцільним у наш час, бо це дозволяє з економити час та затрати виконання дії, які знадобляться при виконанні тих чи інших операцій розбирання – складання виробу. В даному випадку, потрібно розробити принцип або схему розбирання – складання газорозподільчого механізму під час ремонту, з послідуною заміною зношених деталей [17].

Газорозподільчий механізм виступає в даному випадку вузлом, який необхідно розібрати, відремонтувати або замінити недієздатні деталі і зібрати.

*Вузол* - це складальна одиниця, яку можна зібрати окремо. Складність вузла характеризується його порядком.

Вузлом 0-го порядку називається сам виріб.

Вузли, що безпосередньо (в процесі загального збирання) входять у виріб, називаються вузлами 1-го порядку. Складальні одиниці, що входять у вузол 1-го порядку, називаються вузлами 2-го порядку і т.д. (рис. 2.1).

Кожен вузол має у собі основний координуючий елемент (деталь або вузол), який називається *базовим елементом*. Базовий елемент виконує роль основної з'єднуючої ланки, яка надає деталям відповідного відносного положення. З нього починається складання вузла. Наприклад, для редуктора базовим елементом буде зварний корпус (базовий вузол), а для вала з напресованими підшипниками - вал (базова деталь) [17].

#### Рисунок 2.4 – Розбивання виробу на вузли

Розробимо схему складання - розбирання вузла газорозподільчого механізму з послідовним ремонтом та відновленням зношених деталей та поверхонь (Рис 2.5).

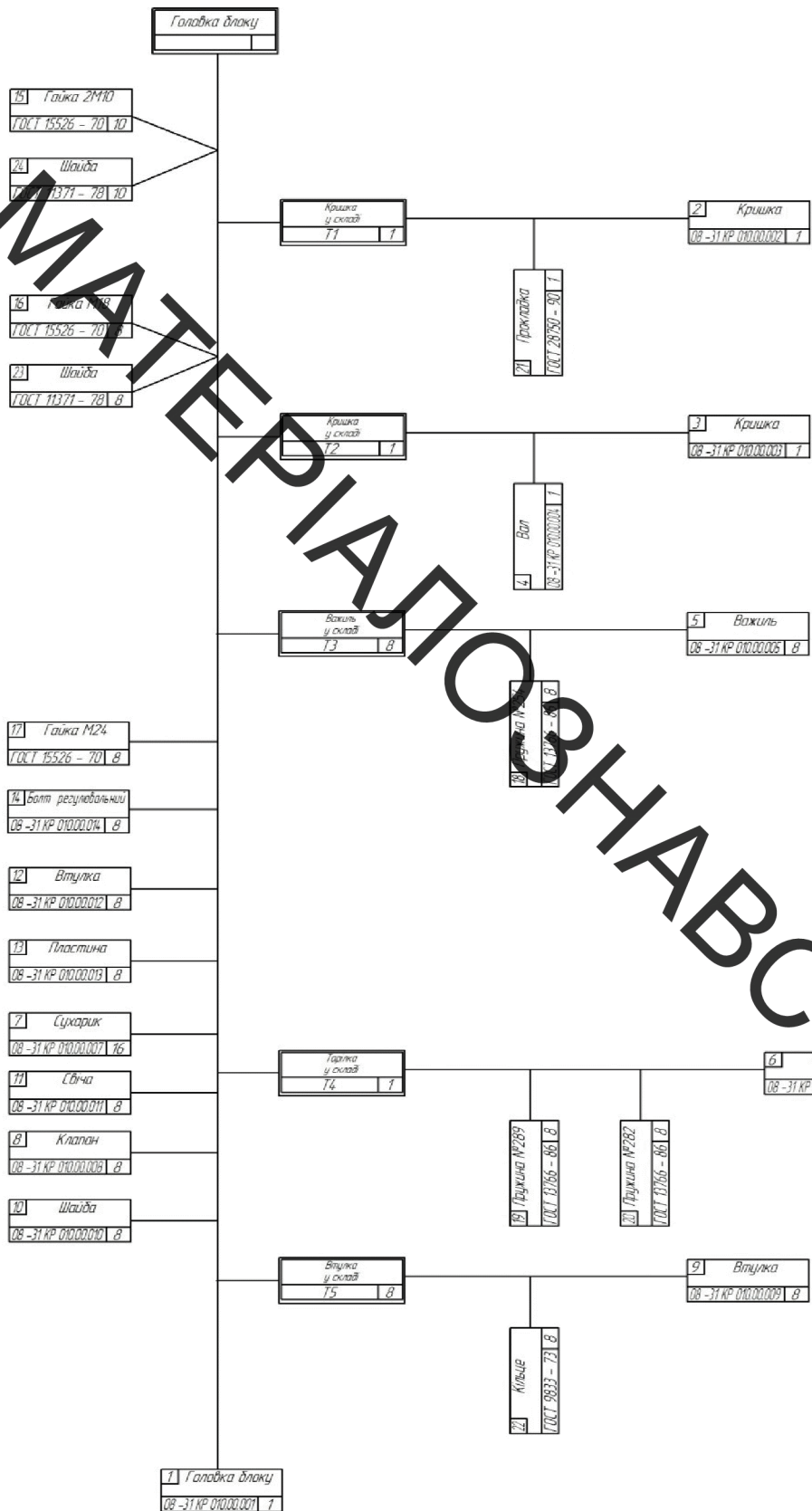


Рисунок 2.5 – Схема складання-розбирання вузла газорозподільчого механізму



## 2.7 Вибір та технічне обґрунтування методів та матеріалів для відновлення деталі.

Наплавлення в середовищі інертного газу. Суть методу: дуга горить між електродом та поверхнею деталі в потоці аргону. Захисний газ витісняє повітря, тобто кисень та азот.

Переваги методу:

Відсутність шкідливого впливу на наплавлений шар металу.

Недоліки методу:

Наплавлення доречно використовувати для циліндричних деталей не менше 30мм;

Аргон належить до інертних газів і в процесі наплавлення в зоні дуги не виникає ніяких суміжних шкідливих чи корисних реакцій, тобто відбувається лише перемішування присадного і основного металу.

Наплавлення під шаром флюсу. Суть методу: Електрична дуга горить між кінцем електродного дроту і деталлю. З бункера у зону горіння дуги надходить флюс, де частина його плавиться, утворюючи еластичну оболонку, що захищає розплавлений метал від взаємодії з киснем і азотом повітря. Під тиском газів, що виділяються при зварюванні, ця оболонка відтискується, утворюючи газовий міхур, у якому і горить дуга.

Як спосіб відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу мають ряд переваг: висока продуктивність і стабільність процесу; гарна якість наплавленого шару (однорідність, щільність, рівномірність); гарна сплавка шару з основним металом; можливість одержання шарів значної товщини до 6—8 мм і більше); великі можливості одержання наплавленого шару з заданим хімічним складом і властивостями.

Для усунення дефектів 1 та 2, обираємо метод наплавлення в середовищі інертного захисного газу. Для наплавлення обираємо установку УД-209М.

В якості матеріалу для наплавки в середовищі захисного газу вибираємо стрічку ПЛ-101, що дасть не меншу якість наплавленого шару і значно зменшить собівартість відновлення деталі [5].

Яка має такий хімічний склад:

Таблиця 2.10 – Хімічний склад стрічки для наплавки (%)

Si	C	Mn	Ni	P	Cr	S
3-4	3-3,5	1,5	2-3	0,025	25-28	0,025

## 2.8 Визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь

Припуск - шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготівлі для досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні деталі. Припуск на обробку поверхонь деталей може бути призначений по довідкових таблицях або на основі розрахунково-аналітичного методу. Розрахунковою величиною припуску є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході погрешностей обробки і дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході або операції і компенсації погрешностей, що виникають на виконуваному переході.

Для поверхні  $61_{-0,029}^{-0,010}$ .

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} \quad (2.11)$$

$$\varepsilon = \frac{360}{19} = 18,95 \quad (2.12)$$

$$\Sigma = 6 * 3,16 = 18,95 \text{ (мкм)} \quad (2.13)$$

Шліфувати будемо 2 рази.

Уся зазначена обробка виконується з установкою заготовки в центрах.

Визначаємо кривизну на 1 мм довжини:

Визначаємо допуск на виконавчому діаметрі:

$$\left(\frac{1}{6}\right) T_1; \left(\frac{1}{6}\right) T_2; \left(\frac{1}{6}\right) T_3$$

або

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1}; T_2 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_2}; T_3 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_3}$$

$$T_1 = \frac{360}{6} = 60 \text{ мкм}$$

За табличними позначеннями найближче – 8 квалітет – 50 мкм

$$T_2 = \frac{60}{3,16} = 19 \text{ мкм}$$

За табличними значеннями найближче – 6 квалітет – 16 мкм

## 2.9 Формування маршруту відновлення деталі наплавленням

Розробка плану операцій

Згідно результатів дефектування і технології відновлення дефектів складаємо план операцій відновлення шийок та кулачків розподільчого вала:

005 - Мийна: мити в розчині «Лобомід – 102»;

010 - Дефектувальна ;

015 - Термічна: відпустити при температурі 300°C дві години ;

020 - Токарна: проточити поверхню 1 до Ø59,5 та поверхню 2 до вказаних на ескізі розмірів ;

025 - Наплавлювальна: наплавити поверхню 1 до Ø64 та поверхню 2 до вказаних на ескізі розмірів;

030 - Термічна: провести відпуск при температурі 200°C 1,5 години;

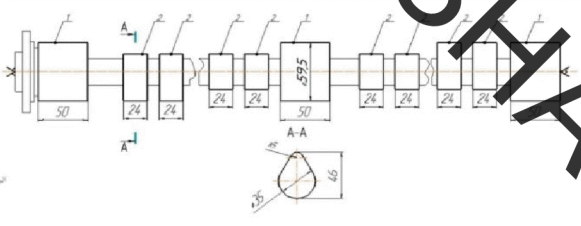
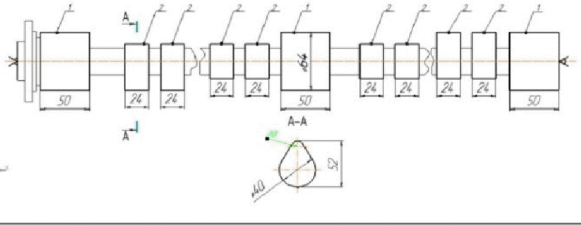
035 - Токарна: проточити поверхню 1 до розміру  $\varnothing 61,5$  та поверхню 2 до розмірів вказаних на ескізі;

040 - Шліфувальна: шліфувати поверхню 1 в розмір  $\varnothing 61_{-0,029}^{-0,01}$  та поверхню 2 до розмірів вказаних на ескізі;

045 - Контрольна: контролювати розмір поверхні 1 до розміру  $\varnothing 61_{-0,029}^{-0,01}$  та поверхню 2 до розмірів вказаних на ескізі;

В таблиці 2.11 показано маршрут обробки розподільчого валу.

Таблиця 2.11 – Маршрут обробки

№	Найменування операцій та технологічних передів	Схема закріплення	Обладнання
005	Мийна		Роторна мийна машина ОМ-15429
010	Дефектувальна Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити		1 Контрольний стіл 2 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89 3 Мікрометр МК-50 ГОСТ 4381-87
015	Термічна Високий відпуск при $600^{\circ}\text{C}$ 2 години		1 ПІЧ СТЗ-6.354/7
020	Токарна 1 Встановити та зняти деталь 2 Проточити поверхню 1 до $\varnothing 59,5$ 3 Проточити поверхню 2 до розміру зазначеного на ескізі		Токарно-копірувальний верстат 1716Ц
025	Наплавлявальна 1 Встановити та зняти деталь 2 Наплавити поверхні 2 до розміру вказаного ескізі 3 Наплавити поверхні 1 до $\varnothing 64$		1 Наплавлявально-копірувальна установка УД-200М



Відповідно заданим умовам устанавлюємо маршрут обробки поверхні  $\varnothing 61g6 \left( i_{-0,029}^{-0,010} \right) i$  та  $49 \left( i_{-0,142}^{-0,080} \right) i$  (табл. 2.15). Для дефекту діаметр становить  $\varnothing 61g6 \left( i_{-0,029}^{-0,010} \right) i$  і ці дефекти будемо наплавлювати.

Відповідно з даними умовами встановлюємо маршрут обробки поверхонь 1 та 2.

Чорнове обточування;

Чистове обточування;

Попереднє шліфування;

Остаточне шліфування;

Уся зазначена обробка виконується з установкою заготовки в центрах.

Заносимо маршрут обробки в графу 1 (див. табл. 2.16). Дані для заповнення граф 2, 3 для напавленої заготовки узяті з [5, С. 186, табл. 12], для механічної обробки – з [1, С. 188, табл. 25]. Дані графи 8 для заготовки узяті з [3, С. 245, табл. 47], а дані для обробки різанням – з [1, С. 8, табл. 4].

Розрахунок відхилень розташування поверхонь:

Величину відхилень для штампованої заготовки при обробці в центрах визначають по [1, С. 187, табл. 18]

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} = 501 \text{ мкм} \quad (2.14)$$

де  $\Delta_{\Sigma K}$  – загальне відхилення осі від прямолінійності;

$$\Delta_{\Sigma K} = 2 \cdot \Delta_K \cdot l_K = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24 \text{ мкм},$$

тут  $l_K$  – розмір від перерізу, для якого визначається кривизна до торця заготовки рівний ( $l = l_1 + l_2$ ) для розглянутого випадку  $l_1 + l_2 = 80$  мм;  $\Delta_K$  – питома кривизна, мкм на 1 мм довжини (у маршруті передбачене виправлення заготовки на пресі, після якої  $\Delta_K = 0,15$  мкм/мм) [5, С. 186, табл. 16]; середній діаметр, який необхідно знати для вибору величини  $\Delta_K$ , визначається як:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} = \frac{61 \cdot 23 + 61 \cdot 73}{683} = 6,57 \text{ мкм}; \quad (2.15)$$

$\Delta_y$  – зсув осі заготовки в результаті похибки центрування;

$$\Delta_y = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5 \text{ мм}, \quad (2.16)$$

де  $T = 1,8$  – допуск на діаметральний розмір бази заготовки, використаної при центруванні, мм [3, С. 245, табл. 47].

*Чорнове обточування.* Величину залишкових просторових відхилень  $\Delta_r$  визначають з рівняння

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм}$$

де  $K_y = 0,06$  — коефіцієнт уточнення [5, С. 19, табл. 29].

*Чистове обточування.* Величина залишкових просторових відхилень  $\Delta_r = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,04 \cdot 30 = 1,2 \text{ мкм}$ , тут  $K_y = 0,04$  [5, С. 19, табл. 29]. Розрахункові величини відхилень розташування поверхонь заносимо в графу 4 табл. 2.16.

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу роблять за рівнянням :

$$\text{чорнове обточування } 2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (160 + 221 + 800) = 2321 \text{ мкм};$$

$$\text{чистове обточування } 2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (50 + 100 - r30) = 460 \text{ мкм};$$

$$\text{обдирне шліфування } 2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (25 + 48,8 + 1,2) = 150 \text{ мкм};$$

$$\text{остаточне шліфування } 2 \cdot Z_{\text{min}} = 2 \cdot (10 + 32) = 84 \text{ мкм}.$$

Розрахункові значення припусків заносимо в графу 6 табл. 2.16.

Розрахунок найменших розрахункових розмірів на технологічних переходах робимо, складаючи значення найменших граничних розмірів, що відповідають попередньому технологічному переходові, з величиною припуску на виконуваний перехід:

$$60,5 + 2,5 = 63 \text{ мм};$$

$$62 + 3,5 = 65 \text{ мм};$$

Таблиця 2.12 – Результати розрахунку припусків на обробку до граничних розмірів на технологічних переходах

Маршрут обробки поверхні діаметром $\varnothing 61k6 \begin{matrix} (-0,01 \\ -0,029) \end{matrix}$	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконувани розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	h	$\Delta z$	$\epsilon$	припуск у $2Z_i$ , мкм	мінімального діаметра, мм		найбільші	найменші	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Напилювання	160	221	800	–	–	64	2000	65	64	–	–
Точіння:											
чорнове	50	100	30	0	2321	61,679	800	62,079	61,279	2,9	2,321
чистове	25	48,8	1,2	0	460	61,219	240	61,339	61,219	0,74	0,46
Шліфування:											
Попереднє	50	20	8,07	0	150	61,069	60	61,099	61,069	0,300	0,15
Остаточне	–	–	–	–	84	60,985	1	60,99	60,985	0,109	0,084

Найменші розрахункові розміри заносимо в графу 7 табл. 2.16. Найменші граничні розміри (округлені) заносимо в графу 10 табл. 2.16.

Потім визначаємо найбільші граничні розміри на переходах:

$$60,5 + 2,5 = 63 \text{ мм};$$

$$62 + 3,5 = 65 \text{ мм}$$

Результати розрахунків вносимо в графу 9 табл. 2.16.

Розрахунок фактичних максимальних і мінімальних припусків на переходах робимо, віднімаючи відповідно значення найбільших і найменших граничних розмірів, що відповідають виконуваному і попередньому технологічному переходам:

Максимальні припуски:

$$61,099 - 60,99 = 0,109 \text{ мм};$$

$$61,339 - 61,099 = 0,240 \text{ мм};$$

$$62,079 - 61,339 = 0,740 \text{ мм};$$

$$65 - 62,079 = 2,921 \text{ мм},$$

Мінімальні припуски:

$$61,039 - 60,971 = 0,068 \text{ мм};$$

$$61,099 - 61,039 = 0,060 \text{ мм};$$

$$61,279 - 61,099 = 0,180 \text{ мм};$$

$$63 - 61,279 = 1,721 \text{ мм}.$$

Результати розрахунків заносимо в графу 11 і 12 табл. 2.16.



Розрахунок загальних припусків робимо за рівняннями:

найбільшого припуску  $Z_{0 \max} = \Sigma Z_{\max} = 0,109 + 0,24 + 0,74 + 2,92 = 4 \text{ мм};$

найменшого припуску  $Z_{0 \min} = \Sigma Z_{\max} = 0,068 + 0,06 + 0,18 + 1,721 = 2,29 \text{ мм}.$

Перевірку правильності розрахунків проводимо за рівняннями :

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = 4 - 2,29 = T_s - T_d = 2,0 - 0,29 = 1,71 \text{ мм}.$$

Визначаємо кривизну на 1 мм довжини:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\kappa} * l \quad (2.17)$$

$$\Delta_{\Sigma} = 0,5 * 676 = 134,5 \text{ мкм}$$

1) Попереднє шліфування  $= 0,06 * 134,5 = 8,07 \text{ мкм}$

2) Остаточне шліфування  $= 0,04 * 8,07 = 0,3 \text{ мкм}$

Визначаємо похибку на припуску, мкм

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_s + \varepsilon_{np}}$$

Проте так як в нас деталь на верстаті кріпиться в центрах  $\varepsilon_6^2 = 0, \varepsilon_s = 0, \varepsilon_{np} = 0$ , і відповідно похибка  $\varepsilon_y = 0$ .

Визначаємо допуск на виконавчому діаметрі:

$$\left(\frac{1}{6}\right) T_1; \left(\frac{1}{6}\right) T_2; \left(\frac{1}{6}\right) T_3 \quad (2.18)$$

або

$$T_1 = \frac{T_{\text{зар}}}{\varepsilon_1}; T_2 = \frac{T_{\text{зар}}}{\varepsilon_2}; T_3 = \frac{T_{\text{зар}}}{\varepsilon_3} \quad (2.19)$$

$$T_1 = \frac{360}{6} = 60 \text{ мкм}$$

За табличними позначеннями найближче – 8 квалітет – 50 мкм

$$T_2 = \frac{60}{3,16} = 19 \text{ мкм}$$

За табличними значеннями найближче – 6 квалітет – 19 мкм

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу роблять по рівнянню:

$$Z_{\min} = 2 \left( R_z + h + \sqrt{\Delta_{\Sigma i}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

Попереднє шліфування

$$Z_{\min} = 2 \left( 150 + 200 + \sqrt{134,5^2 + 0^2} \right) = 969 \text{ мкм.}$$

Остаточне шліфування

$$Z_{min} = 2(50 + 20 + \sqrt{8,07^2 + 0^2}) = 156,14 \text{ мкм}.$$

Розрахунок найменших розрахункових розмірів по технологічних переходах робимо, складаючи значення найменших граничних розмірів, що відповідають попередньому технологічному переходові, з величиною припуску на виконуваний перехід:  $\phi 61 g 6 (i_{-0,010}^{-0,029}) i$

$$\text{Остаточне шліфування} - 61 - 0,01 = 60,99 \text{ мкм}$$

$$\text{Попереднє шліфування} - 60,99 + 0,15614 = 61,056 \text{ мкм}$$

Розрахунок фактичних максимальних і мінімальних припусків по переходах робимо, віднімаючи відповідно значення найбільших і найменших граничних розмірів, що відповідають виконуваному і попередньому технологічному переходам:

Максимальні припуски:

$$61,025 - 60,208 = 1,219$$

$$50,208 - 50,018 = 0,19$$

Мінімальні припуски:

$$5,127 - 50,158 = 0,969$$

$$50,158 - 50,002 = 0,156$$

Розрахунок загальних припусків робимо по рівняннях:

найбільшого припуску:

$$Z_{0_{max}} = Z_{max} = 1,269 + 0,197 = 1,466 \text{ мкм}$$

найменшого припуску

$$Z_{min} = Z_{min} = 0,969 + 0,156 = 1,125 \text{ мкм}$$

Перевірку правильності розрахунків проводимо по рівнянню :

$$Z_{\max} - Z_{0\max} = T_z - T_d = 1,466 - 1,125 = 0,341 = 0,36 - 0,019 \text{ мкм.}$$

$$t_{\max} = t + \frac{2z_{\max}}{2} = 0,5 + \frac{1,466}{2} = 1,233$$

$$t_{\min} = t + \frac{2z_{\min}}{2} = 0,5 + \frac{1,125}{2} = 1,06$$

Приймаємо:  $t=1,2$  мм на сторону.

## 2.11 Розрахунок та призначення режимів попередньої механічної обробки та після нанесення покриття

Токарна обробка

Вибір верстату.

Обираємо тип Верстата – токарно-гвинторізний верстат.

Обираємо верстат: 1716Ц.

Основні параметри обраного верстата:

- Максимальний діаметр заготовки: 400 мм;
- Частота обертання шпинделя : 115-405 об/хв.;
- Потужність електродвигуна : 7 кВт.

Вибір інструменту.

Різець: прохідний упорний КНБ №10;

Без охолодження.

Геометричні параметри інструмента:

$$\varphi = 90^\circ, \varphi_1 = 20^\circ, \gamma = 0^\circ;$$

$$\text{радіус при вершині } r = 1, \lambda = 0^\circ;$$

$$b \cdot h = 20 \times 25.$$

Визначаємо швидкість та силу різання для розміру 61g6.

Глибина різання

$$t = \frac{61-60}{2} = 0,5 \quad (2.20)$$

Визначення подачі за табл. 11 [ 3 ]  $S_{nod} = 0,5 - 0,9 \text{ мм/об}$ .

Приймаємо  $S_{nod} = 0,7 \text{ мм/об}$ , і відповідає значенням паспорту верстата.

Визначаємо швидкість різання:

$$V_n = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \quad (2.21)$$

Період стійкості -  $T = 60 \text{ хв}$ ; Значення коефіцієнтів за табл. 17

$$C_v = 350, m = 0.2, x = 0.15, y = 0.35$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\Pi i} \cdot K_{\phi} \cdot K_{\phi 1} \cdot K_r \quad (2.22)$$

$$K_{mv} = K_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_6} \right)^n \quad (2.23)$$

$$K_{mv} = 0.95 \left( \frac{750}{900} \right)^1 = 0.79$$

$$K_{iv} = 1, K_{\Pi i} = 1, K_{\phi} = 0.7, K_{\phi 1} = 0.94, K_r - \text{не враховується.}$$

$$K_v = 0.79 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 0.94 = 0.52$$

$$V_n = \frac{350 \cdot 0.52}{60^{0.2} \cdot 0.5^{0.15} \cdot 0.7^{0.35}} = 100.8 \text{ (м/с)}$$

Визначаємо частоту обертання  $n$ :

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{3,14 \cdot 61} = 522 \text{ (об/хв)}$$

Приймаємо за паспортними даними найближче менше значення обертів.

$n=500$  (об/хв).

Виконуємо фактичний розрахунок швидкості різання.

$$V_{\text{фак}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{есп}}}{1000} \quad (2.24)$$

$$V_{\text{фак}} = \frac{3,14 \cdot 61 \cdot 500}{1000} = 95,77$$

Визначаємо коефіцієнти  $P_Z$ :

$$P_Z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{pz} \quad (2.25)$$

$C_{pz}$	$X$	$Y$	$n$
300	1	0,75	-0,15

$$K_{pz} = K_{Pzm} \cdot K_{\varphi} \cdot K_{\gamma} \cdot K_{\lambda} \quad (2.26)$$

$$K_{Pzm} = \left( \frac{\sigma}{750} \right)^{0.75} \quad (2.27)$$

$$K_{Pzm} \left( \frac{900}{750} \right)^{0.75} = 1.14$$

$K_{\varphi}$	$K_{\gamma}$	$K_{\lambda}$
0.89	1.1	1

$$K_{pz} = 1.14 \cdot 0.89 \cdot 1.1 \cdot 1 = 1.11$$

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 0.5^1 \cdot 0.7^{0.75} \cdot 78.5^{-0.15} \cdot 1.11 = 662.22$$

Визначаємо коефіцієнти  $P_Y$ :

$$P_Y = 10 \cdot C_{py} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{py} \quad (2.28)$$

$C_{py}$	$X$	$Y$	$n$
243	0,9	0,6	-0,3

$$K_{py} = K_{Pym} \cdot K_{\phi} \cdot K_{\gamma} \cdot K_{\lambda} \quad (2.29)$$

$$K_{Pym} = \left( \frac{\sigma}{750} \right)^{0.75} \quad (2.30)$$

$$K_{Pym} = \left( \frac{900}{750} \right)^{0.75} = 1.14$$

$K_{\phi}$	$K_{\gamma}$	$K_{\lambda}$
0.5	1.4	1

$$K_{py} = 1.14 \cdot 0.5 \cdot 1.4 \cdot 1 = 0.79$$

$$P_Y = 10 \cdot 243 \cdot 0.5^{0.9} \cdot 0.7^{0.6} \cdot 78.5^{-0.3} \cdot 0.79 = 307.48$$

Визначаємо коефіцієнти  $P_x$

$$P_X = 10 \cdot C_{px} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{px} \quad (2.31)$$

$C_{px}$	$X$	$Y$	$n$
339	1	0,5	-0,4

$$K_{px} = K_{Pxm} \cdot K_\phi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda$$

$$K_{Pxm} = \left( \frac{\sigma}{750} \right)^{0.75} = \left( \frac{900}{750} \right)^{0.75} = 1.14$$

$K_\phi$	$K_\gamma$	$K_\lambda$
1.17	1.4	1

$$K_{px} = 1.14 \cdot 1.17 \cdot 1.4 \cdot 1 = 1.86$$

$$P_X = 10 \cdot 339 \cdot 0.5^1 \cdot 0.7^{0.5} \cdot 78.55^{-0.4} \cdot 1.86 = 460.55 \leq [3600]$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{риз} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{662.22 \cdot 78.5}{1020 \cdot 60} = 0.85 \leq [N_{верст}] \cdot \eta \leq 10 \cdot 0.85 = 8.5$$

$$N_{верст} = 10 \text{ кВт}, \quad \eta = 0.85$$

Основний час:

$$t_0 = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{20}{500 \cdot 0.7} = 0.057$$

$$L = l_{сп} + L_{дет} + l_{вер} = 20 \text{ (мм)}$$



## 2.12 Розрахунок режимів шліфування після наплавлення для діаметру 61

Чорнове шліфування.

Обираємо верстат для шліфування 3А433.

Визначаємо круг для шліфування : 63С60П5СМ1К6.

Визначаємо швидкість шліфувального круга : 35 м/с.

ПП 125x32x6 63С 60П 5-СМ1 К6 35 м/хв. А 1кл ГОСТ 2424-83 .

$D_{кр} = 125 \text{ мм}$ ,

В якості абразивних зерен – абразивні зерна корунда зеленого.

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \quad (2.32)$$

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_{кр}}{\pi \cdot D_{кр}} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 125} = 5350 \left( \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right)$$

Визначаємо дійсну швидкість круга,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$  :

$$V_{д.кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \quad (2.33)$$

$$V_{д.кр} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 5350}{1000 \cdot 60} = 35 \text{ (М/ХВ)}$$

Визначаємо швидкість обертання заготовки :

Колова швидкість  $V_{дет} = 15 - 55 \text{ м/хв.}$ , приймаємо  $V_{дет} = 35 \text{ м/хв.}$ .

$$n_{\text{дет}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{дет}}}{\pi D} \quad (2.34)$$

$D$  – діаметр заготовки 61мм

$$n_{\text{дет}} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 61} = 182,72 \text{ (об/хв.)}$$

Визначаємо поперечну подачу круга .

Поперечна подача круга задається:  $t=0,005-0,015$  . Так, як обробка чорнова, то приймаємо що  $t=0,015$ мм/хід стола.

Визначаємо повздовжню подачу на оберт деталі

$$S_n = S_d \cdot B_k \quad (2.35)$$

$S_d=0,2-0,4$ . Приймаємо 0,3

$$S_n = 0,3 \cdot 32 = 9,6 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість повздовжнього ходу стола.

$$V_{\text{п.ст}} = \frac{S \cdot n_d}{1000} \quad (2.36)$$

$$V_{\text{п.ст}} = \frac{9,6 \cdot 182,72}{1000} = 1,75 \text{ ( мм/хв)}$$

Визначаємо ефективну потужність при врізному шліфуванні периферії круга для зовнішнього шліфування.

Таблиця 2.13 – коефіцієнти для визначення потужності при врізному шліфуванні

$N_{\text{верс.}}$	$V_3$	$S_p$	t	$C_N$	r	x	y	q	z
3	20 – 40 м/хв	0,001 – 0,005 мм/об	-	0,14	0,8	0,8	-	0,2	1,0

$$N_{\text{різ.}} = C_N V_3^r S_p^x d^y b^z \quad (2.37)$$

$$N_{\text{різ.}} = 0,14 * 35^{0,8} * 0,001 * 61^{0,2} * 20^{1,0} = 0,109 \text{ (кВт)}$$

$$N_{\text{різ.}} \leq N_{\text{верс.}} \cdot \eta = 0,45 \leq 2,25$$

ККД верстату –  $\eta = 0,75$

b – ширина шліфування

Визначаємо основний час для дефекту

$$S_{\text{поп}} = 0,0025 \text{ мм/об}$$

$$h_1 = 1 \text{ мм}$$

$$h_2 = 1 \text{ мм}$$

$$T_{\text{осн}} = \frac{h}{S_{\text{поп}} \cdot n}$$

$$T_{\text{осн1}} = \frac{1}{0,0025 \cdot 223} = 1,79 \text{ (хв)}$$

Напівчистове шліфування

Обираємо верстат для шліфування 3А433

Визначаємо круг для шліфування : 63С40П5СМ1К6

Визначаємо швидкість шліфувального круга : 35 м/с

ПП 125x32x6 63С 40П 5 СМ1 К6 35 м/хв. А 1кл ГОСТ 2424-83 .

$$D_{\text{кр}} = 125 \text{ мм.}$$

В якості абразивних зерен – абразивні зерна корунда зеленого.

$$V_{кр} = \frac{\pi * D_{кр} * n_{кр}}{1000 * 60} \quad (2.38)$$

$$n_{кр} = \frac{1000 * 60 * V_{кр}}{\pi * D_{кр}} = \frac{1000 * 60 * 35}{3,14 * 125} = 5350 \text{ (об/хв)}$$

Визначаємо дійсну швидкість круга,  $\frac{м}{хв}$  :

$$V_{д.кр} = \frac{\pi * D_{кр} * n_{кр}}{1000 * 60} \quad (2.39)$$

$$V_{д.кр} = \frac{3,14 * 125 * 5350}{1000 * 60} = 35 \text{ (} \frac{м}{хв} \text{)}$$

Визначаємо швидкість обертання заготовки :

Колова швидкість  $V_{дет} = 15 - 55 \text{ м/хв.}$ , приймаємо  $V_{дет} = 35 \text{ м/с.}$

$$n_{дет} = \frac{1000 * V_{дет}}{\pi D} \quad (2.40)$$

$D$  – діаметр заготовки 61 мм

$$n_{дет} = \frac{1000 * 35}{3,14 * 61} = 182,72 \text{ (об/хв.)}$$

Визначаємо поперечну подачу круга .

Поперечна подача круга задається:  $t = 0,005 - 0,015$  . Так, як обробка напівчистова, то приймаємо що  $t = 0,010 \text{ мм/хід стола.}$

Визначаємо повздовжню подачу на оберт деталі

$$S_n = S_d \cdot B_k \quad (2.41)$$

$S_d = 0,2 - 0,4$ . Приймаємо  $0,3$

$$S_n = 0,3 * 32 = 9,6$$

Визначаємо швидкість повзучого ходу стола.

$$V_{п.ст} = \frac{S * n_d}{1000} \quad (2.42)$$

$$V_{п.ст} = \frac{9,6 * 182,72}{1000} = 1,75 \text{ (мм/хв)}$$

Визначаємо ефективну потужність при врізному шліфуванні периферії круга для зовнішнього шліфування.

Таблиця 2.13 – коефіцієнти для визначення потужності при врізному шліфуванні

$N_{верс.}$	$V_3$	$S_p$	t	$C_N$	r	x	y	q	z
3	20 – 40 м/хв	0,001 – 0,005 мм/об	-	0,14	0,8	0,8	-	0,2	1,0

$$N_{різ.} = C_N V_3^r S_p^y d^q b^z \quad (2.43)$$

$$N_{різ.} = 0,14 * 45^{0,8} * 0,001 * 61^{0,2} * 20^{1,0} = 0,134 \text{ (кВт)}$$

$$N_{різ.} \leq N_{верс.} \cdot \eta = 0,134 \leq 2,25$$

ККД верстату –  $\eta=0,75$

Визначаємо основний час для дефекту

$$S_{\text{поп}} = 0,001 \text{ мм/об}$$

$$h_1 = 0,17 \text{ мм}$$

$$h_2 = 0,17 \text{ мм}$$

$$T_{\text{осн}} = \frac{h}{S_{\text{поп}} \cdot n}$$

$$T_{\text{осн1}} = \frac{0,17}{0,001 \cdot 134} = 1,26 \text{ (хв)}$$

### 2.13 Вибір та обґрунтування обладнання і джерел живлення

Вибір обладнання для наплавлення.

Так, як нам потрібно відновити деталь великих габаритів, тобто довжина розподільчого вала 683 мм. Тож для відновлення даної деталі вибираємо спеціальну установку УД209-М та наплавлювальна головка ОКС 6569, балон з аргонном, підігрівник, осушувач, редуктор, пульт керування.

Установку УД209-М широко використовується для відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу та в захисних газах.

Наплавлення виконується методом гвинтового або прямолінійного накладення зварювальних швів на відновлювану поверхню деталі. Установка забезпечує практично всі види наплавочних робіт:

- наплавлення циліндричних поверхонь по спіралі з кроком наплавлення від 2.8 до 12.6 мм;
- наплавлення деталей з коливаннями електрода на ширину наплавлюваної поверхні (до 60 мм);
- лінійне наплавлення;
- наплавлення конусних поверхонь.

На установці можливе наплавлення деталей діаметром від 20 до 500 мм і довжиною від 100 до 1300 мм, та масою деталей до 200 кг. В якості електродного матеріалу використовують суцільний дріт, або порошковий дріт діаметром 1.2 - 3.2 мм.

Наплавочна установка забезпечує фіксацію деталі, що відновлюється, її обертальний рух, подачу електродного дроту у зону горіння дуги, поступальний рух електродного дроту вдовж осі обертання деталі та при необхідності коливальний рух електродного дроту.

Наплавочна установка живиться від універсального зварювального випрямляча ВДУ-506У3, який має спадні та жорсткі характеристики. Даний випрямляч має напругу холостого ходу не більшу 85 В, номінальну робочу напругу для жорстких зовнішніх характеристик 50 В (межі регулювання - 18 - 50 В), а для спадних зовнішніх характеристик 46 В (межі регулювання 22 - 46 В). [15, 22]

Номінальний зварювальний струм сягає 500 А (межі регулювання для жорстких: від 60 до 500 А; для спадних від 50 до 500 А). Випрямляч забезпечує при нормальній напрузі мережі легке загоряння та стійке горіння дуги при різних струмах у межах регулювання.

Для наплавлювання використовуємо стрічку ПЛ-101

0

Рисунок 2.6 - Принципова схема установки для електродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Модель УД-209М:

1 — станина; 2 — піноль; 3 — каретка; 4 — механізм подачі електродного дроту; 5 — обертач; 6 — пульт керування установкою; 7 — коробка передач; 8 — балон із вуглекислим газом; 9 — підігрівник; 10 — осушник; 11 — редуктор.

Верстат 1716Ц – напівавтомат токарний багаторізцевий гідроколіювальний

Технічні характеристики:

Станки моделі 1716Ц призначені для чистової та чорнової токарної обробки деталей типу вал з прямолінійними та криволінійними поверхнями в умовах серійного, масового виробництва.

Клас точності станка за ГОСТ 8-82, (Н,П,В,А,С) П

Діаметр деталі над станиною – 400 мм

Діаметр деталі над супортом – 200 мм

Довжина оброблюваної деталі – 750 мм

Габарити станка: довжина – 3070 мм, ширина – 1480 мм, висота – 2200

мм

Потужність двигуна – 17 кВт

Частота обертів шпинделя – 115- 405 об/хв.

Число інструментів в магазині – 12

## 2.14 Нормування операцій

Верстатну операцію, котра виконується на даному робочому місці, поділяють на переходи та прийоми. Безпосереднім спостереженням установлюють фактичний зміст і послідовність переходів і прийомів, фіксують режими різання, відмічають типи пристроїв та вимірювальних інструментів, вагу і розмір заготовки та інші фактори, що впливають на величину штучного часу.

Розраховуємо основний час

$$t_{\text{осн}} = \frac{L * i}{n * S} \quad (2.44)$$

де :  $n$  – частота обертів верстата за паспортом,  $n=800$  об/хв



$S$  – подача,  $S=0,43$

$i$  – кількість попередніх обробок,  $i=1$

$$L = l_{\text{пер}} + l_{\text{вріз}} + l_{\text{обр}} \quad (2.45)$$

де:  $l_{\text{пер}}$  – довжина перебігу,  $l_{\text{пер}}=0$  мм

$l_{\text{обр}}$  – довжина оброблювальної поверхні,  $l_{\text{обр}}=(20,19.75)$  мм

$l_{\text{вріз}}$  – довжина врізання інструмента,  $l_{\text{вріз}}=2$  мм

$$L = 20 + 2 + 0 = 22 \text{ (мм)}$$

$$L = 19,75 + 2 + 0 = 21,75 \text{ (мм)}$$

$$t_{\text{осн1}} = \frac{22 * 1}{800 * 0,3} = 0,073 \text{ (хв)}$$

$$t_{\text{осн2}} = \frac{21,75 * 1}{800 * 0,3} = 0,072 \text{ (хв)}$$

Так як в нас дві поверхні то:

$$t_{\text{осн}} = t_{\text{осн1}} + t_{\text{осн2}} + t_{\text{осн3}} = 0,073 + 0,072 = 0,145 \text{ (хв)}$$

Розраховуємо додатковий час

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{уст-знт}} + t_{\text{вкл/викл}} + t_{\text{підв/відв}} + t_{\text{пер}} \quad (2.46)$$

де:  $t_{\text{уст-знт}}$  – час встановлення деталей та зняття,  $t_{\text{уст-знт}}=0,07$  хв

$t_{\text{вкл/викл}}$  – час включання чи виключання верстата,  $t_{\text{вкл/викл}}=0,01$  хв

$t_{\text{підв/відв}}$  – час підведення чи відведення різця,  $t_{\text{підв/відв}}=0,025$  хв

$t_{\text{пер}}$  – час перевірки деталі,  $t_{\text{пер}}=0,12$  хв

$$t_{\text{дод}} = (0,07 + (0,01 * 2) + (0,025 * 2)) * 2 + \frac{0,12 * 2}{5} = 0,328 \text{ (хв)}$$

Визначаємо затрату часу на операції

$$T_{\text{опр}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{дод}} \quad (2.47)$$

$$T_{\text{опр}} = 0,145 + 0,328 = 0,473 \text{ хв}$$

Визначаємо час на відпочинок

$$T_{\text{відп}} = 6\% T_{\text{опр}} \quad (2.48)$$

Так як в нас токарний верстат то береться 6% від часу операції, тоді

$$T_{\text{відп}} = 0,06 * 0,473 = 0,028 \text{ (хв)}$$

Визначаємо штучно – калькуляційний час

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n_{\text{дет}}} \quad (2.49)$$

Визначаємо штучний час

$$T_{\text{шт}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{дод}} + t_{\text{відп}} \quad (2.50)$$

$$T_{\text{шт}} = 0,145 + 0,328 + 0,028 = 0,501 \text{ (хв)}$$

Визначаємо підготовче заключний час

$$T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} \quad (2.51)$$

де :  $T_{п-з1}$  – час затрачений на наладку верстата, за довідником приймається  $T_{п-з1} = 8 \text{ хв}$

$T_{п-з2}$  – час затрачений на додаткові прийоми, за довідником приймається  $T_{п-з2} = 7 \dots 10 \text{ хв}$

$$T_{п-з} = 8 + 7 = 15 \text{ (хв)}$$

Визначаємо нормативно штучний час на партію деталей

$$n_{дет} = \frac{N * t}{D_{роб}} \quad (2.52)$$

де:  $N$  – кількість деталей в одній партії,  $N = 1000 \text{ шт}$

$D_{роб}$  – кількість робочих днів на рік,  $D_{роб} = 253 \text{ дні}$

$$n_{дет} = \frac{1000 * 3,6}{253} = 15$$

Тоді штучно калькуляційний час буде визначатись

$$T_{шт-к} = 0,501 + \frac{15}{15} = 1,501 \text{ (хв)}$$

Таблиця 2.14 – Нормування операцій

№ операції	$t_{0,ХВ}$	$t_{д,ХВ}$	$T_{опр,ХВ}$	$T_{шт,ХВ}$	$T_{відп,ХВ}$	$T_{п-з,ХВ}$	Кількість деталей	$T_{шт-к,ХВ}$
015-термічна	0,145	0,328	0,473	0,501	0,028	15	20	1,251
020-токарна	1,83	0,328	2,158	2,287	0,129	15		3,037
025-наплавлювальна	1,79	0,328	2,118	2,245	0,127	15		2,995
030-термічна	1,43	0,328	1,758	1,863	0,105	15		2,613
035-токарна	0,76	0,328	1,088	1,153	0,065	15		1,903
040-шліфувальна	0,61	0,328	0,938	0,994	0,056	15		1,744

## 2.15 Розрахунок та призначення режимів нанесення покриття

Операція 025 – Розрахунок режимів наплавлення поверхонь 1 та 2.

Основними параметрами процесу є: напруга  $U$ , В; сила струму  $I$ , А; швидкість подачі електродного дроту  $V_n$ , м/год; частота обертання деталі  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ; крок наплавки  $S$ , мм; виліт електрода  $H$ , мм; швидкість наплавлення  $V_n$ , м/год [15].

Так як для наплавлення поверхонь 1 та 2 обраний метод відновлення – наплавлення в середовищі вуглекислого газу, розрахуємо режими наплавлення [16].

величину струму наплавлення:

$$I_i = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4}, A \quad (2.53)$$

де  $d_e$  – діаметр електродного дроту;

$a$  - щільність струму в електродному дроті (110 - 130 А/мм<sup>2</sup>) беремо 110 А/мм<sup>2</sup>.

$$I_t = \frac{3.14 \cdot 1.2^2 \cdot 110}{4} = 125 \text{ A.}$$

- напругу:

$$U = 21 + 0.04 I_t, \text{ B} \quad (2.54)$$

$$U = 21 + 0.04 \cdot 125 = 26 \text{ B.}$$

- швидкість подачі електродного дроту:

$$V_e = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_t}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma_e}, \text{ м / с} \quad (2.55)$$

де  $d_e$  - діаметр електродного дроту=1,2мм;

$\gamma_e$  - питома маса електродного дроту, г/см<sup>3</sup>, для дроту з суцільним перерізом 7.8 г/см<sup>3</sup>;

$\alpha_p$  - коефіцієнт розплавлення дроту ( $\alpha_p = \frac{\alpha_e}{\eta}$ );

$\eta$  - коефіцієнт врахування втрат металу вигорання та розбризкування (для наплавлення в середовищі захисного газу 0.88-0.92);

$$V_e = \frac{4 \cdot 0.9 \cdot 125}{3.14 \cdot 1.2^2 \cdot 7.8} = 12.8 \text{ м / с.}$$

- виліт електродного дроту:

$$H = (6-10)d_e, \text{ мм} \quad (2.56)$$

$$H = 8 \cdot 1.2 = 9.6, \text{ мм}$$

- коефіцієнт наплавки:

$$\alpha_k = 2,3 + 0,065 \frac{I_*}{d_e}, \text{ г/А} \cdot \text{год.} \quad (2.57)$$

$$\alpha_i = 2,3 + 0,065 \frac{125}{1.2} = 9 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

- зміщення електроду від zenіту:

$$\dot{\alpha} = (0,05 - 0,1)D_{\dot{\alpha}}, \quad (2.58)$$

$$\alpha = 0,1 \cdot 43 = 4,3, \text{ мм}$$

- швидкість наплавлення:

$$V_* = \frac{\pi \cdot d_e \cdot V_e}{4 \cdot S_* \cdot h_*} \eta, \text{ м/год.} \quad (2.60)$$

де  $S_n = (2-2.5)d_e$  – крок наплавки в мм;

$h_n$  – товщина наплавленого шару.

$$V_i = \frac{3.14 \cdot 1.2 \cdot 12.8}{4 \cdot 2.4 \cdot 3.703} \cdot 0.9 = 1,22 \text{ м/год.}$$

- частота обертання деталі:

$$n = 5.31 \cdot \frac{V_f}{D_a}, \text{XB}^{-1}, \quad (2.61)$$

$$n = 5.31 \cdot \frac{1.22}{43} = 0.15 \text{XB}^{-1}.$$

- маса наплавленого металу:

$$G_{\text{нап.}} = V_{\text{нап.}} \cdot \gamma (\bar{a}), \quad (2.62)$$

## 2.16 Дослідження можливості відновлення чавунних деталей шляхом наплавлення хромонікелевих покриттів аргонодуговим способом.

Деталь «розподільчий вал двигуна внутрішнього згорання» виготовлена з чавуну СЧ 21 ГОСТ 1412-70 і є ланкою, яка регулює впуск та випуск газів у камері згорання. Тому, при зношуванні робочих поверхонь вала, порушується нормальна робота усього двигуна, оскільки клапани не повністю та не своєчасно починають відкриватись та закриватись. Оскільки інтенсивному зношуванню зазвичай піддається не вся поверхня кулачка а лише його невелика частина доцільним є використання аргонодугового способу наплавлення, який дозволяє наплавляти досить товсті покриття на невеликі площі, при цьому не перегрівати деталь, що дуже важливо при роботі з чавуном.

Наплавлення проводили з використанням універсального зварювального інвентора Stark IMT-200. В якості матеріалу для наплавки в середовищі захисного газу використано прутки ОК Tigrot 19.85 (ER NiCr – 3) хімічний

склад якого (таблиця 2.6) дозволяє отримувати якісні покриття на деталях з великим вмістом вуглецю.

Таблиця 2.15 – Хімічний склад прутків для наплавки (%)

C	Mn	Ni	P	Cr	Nb+Ta	Si	Cu	Ti	Fe
0,1	3,0	6,7	0,025	20	2,5	0,5	0,5	0,7	3,0

Матеріал зварювальних прутків такого типу також може використовуватись для формування підкладок перед наплавленням основного матеріалу а також зварювання і наплавки нікелевих сплавів, зварювання високолегованих корозійно і жаростійких сталей, також з'єднання різнорідних металів (в тому числі і чавунів).

Для дослідження якості та властивостей покриттів було проведено декілька експериментів під час яких виконували наплавлення у радіальному та поперечному напрямках (рис. 2.1).

Для дослідження якості зони сплавлення та наплавленого покриття вирізано зразки з яких виготовлено мікрошліфи. Мікроскопічний аналіз полягає в дослідженні будови (мікроструктури) металу за допомогою збільшення на оптичному або електронному мікроскопі. Між мікроструктурою металів та їх властивостями існує чіткий зв'язок.





Рисунок 2.7 – Зразки наплавлені дротом ОК Tigrot 19.85

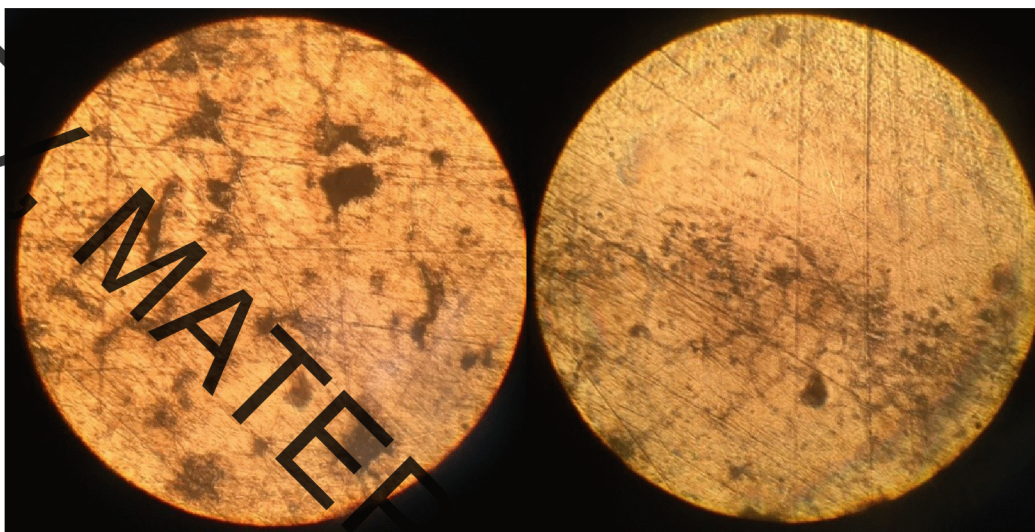
Мікроаналіз дозволяє визначити форму і розміри окремих зерен і фаз, а також їх вміст, відносне розташування, виявити наявність у металі включень, мікродефектів і судити про властивості металів і сплавів, про попередню обробку цих матеріалів (лиття, деформування, термічна обробка). Досліджуючи чавуни можна визначити зони вибілу, якщо такі з'являються в процесі відновлення.

Мікрошліфи готували у такий спосіб. Вирізані зразки поміщали у оправку та заливали епоксидною смолою. Поверхню зразка шліфували вручну наждачним папером різної зернистості. Спочатку, для чорнового шліфування, брали більш грубий папір (номери 12 ... 6), а потім, для чистового, заключного шліфування – папір номерів 5 ... 3. Потім для видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування найдрібнішою шкуркою зразок полірували.

Для травлення зразка використано ніталь (5% овий розчин азотної кислоти в етиловому спирті). Дослідження проводили на оптичному мікроскопі з фіксацією на цифрову відеокамеру (рис. 2.8)

Внаслідок проведених досліджень було визначено, що нанесений шар не має пор та включень, що можуть виникати при наплавленні та зварюванні чавунів. Однак він не піддається травленню, що свідчить про наявність в ньому великої кількості легуючих елементів.

В процесі робіт було виявлено, що наплавочні прутки ОК Tigrot 19.85 (ER NiCr – 3) дають гарну якість покриття навіть без підготовки поверхні до зварювання та попереднього підігрівання деталі. Тому такий метод можна використовувати як для наплавлення так і для виправлення дефектів після відновлення



а)

б)

Рисунок 2.8 – Мікрошліф: а – основний метал, б – перехідна зона.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

### 3.1 Визначення способу закріплення деталі

Враховуючи те, що деталь вал має довжину 683 мм, діаметр валу 61 мм, розташуємо деталь в горизонтальному положенні. Застосуємо закріплюючі пристрої у вигляді центрів.

Шпindelь обертача обладнаємо підшипниками 80204 які в радіальному напрямку здатні витримати статичне навантаження  $C_0 = 1270$  кг. При масі обертової частини 3 кг цього більш ніж достатньо для нормальної роботи. Підшипник, 80204, пилезахищеного виконання, вибрано з конструктивних міркувань.

Знаючи конструкцію шпindelного вузла та способу закріплення можна визначити електромотор який буде здатний обертати рухомі деталі шпindelного вузла з пристосуванням та відновлюваною деталлю.

Для визначення електромотору треба розрахувати масо центрувальні характеристики всіх тіл які обертаються в процесі відновлення деталі.

### 3.2 Розрахунок масоцентрувальних характеристик (МЦХ) деталі та пристрою її закріплення

Для визначення масо центрувальних характеристик розробимо 3D моделі усіх деталей, що обертаються (рисунок 3.1)

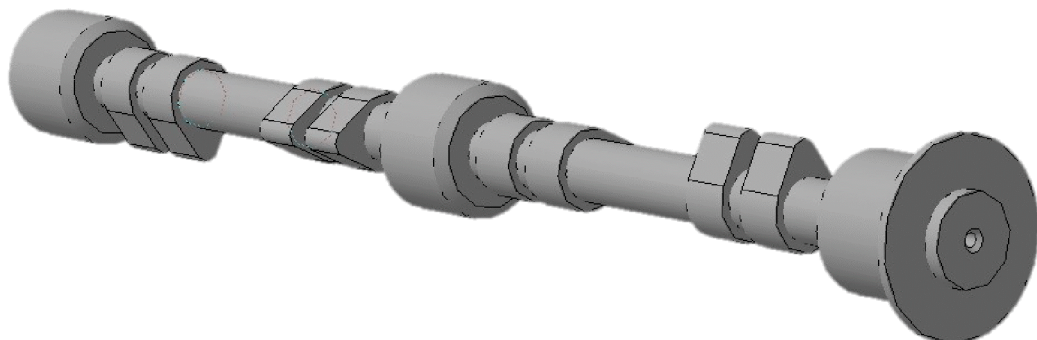


Рисунок 3.1 – 3Д модель розподільного валу

Масоцентрувальні характеристики деталі

Задані параметри

Матеріал тіла Чавун 20 ГОСТ 1412-70

Щільність матеріалу тіла  $\rho = 0.007200 \text{ г/мм}^3$

Розрахункові параметри (тіла і компоненти)

Маса  $M = 6679.510277 \text{ г}$

Площа  $S = 117741.664169 \text{ мм}^2$

Об'єм  $V = 927681.982891 \text{ мм}^3$

Центр мас  $X_c = -0.006391 \text{ мм}$

$Y_c = -0.006761 \text{ мм}$

$Z_c = 335.125265 \text{ мм}$

Моменти інерції моделі  $J_x = 0.001182 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$J_y = 0.001182 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$J_z = 1.163839 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

### 3.3 Розрахунок маси наплавної головки

#### 3.3.1 Опис наплавної головки

Наплавна головка призначена для наплавлення в середовищі вуглекислого газу. Розроблена головка відрізняється простотою конструкції, використанням стандартних деталей (рисунок 3.2).

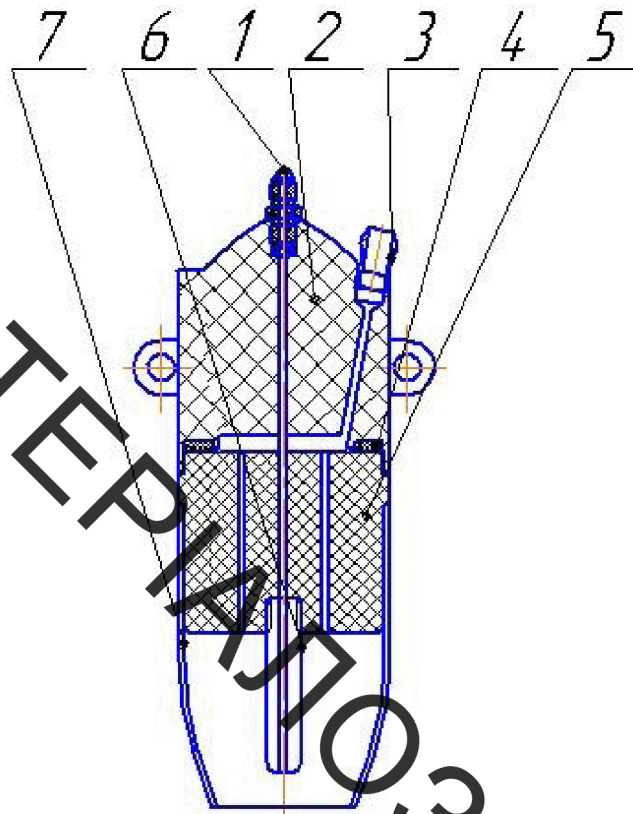


Рисунок 3.2 – Наплавна головка

1 – штуцер подачі дроту; 2 – корпус; 3 – штуцер подачі газу; 4 – паронітова прокладка; 5 – корпус наконечника; 6 – наконечник; 7 – мундштук

Через штуцер 1 подається наплавний дріт, який проходить по корпусу 2 та корпусу наконечника 5. Наплавний дріт з корпусу наконечника попадає в зону наплавлення з наконечника 6. Зона наплавлення захищається атмосферою захисного газу який входить через штуцер подачі газу 3 та виходить через сопло 7.

Зменшення розмірів та маси наплавної головки дає можливість використовувати її для наплавлення складних поверхонь таких як шпонкові пази та інші складні поверхні.

### 3.3.2 Розробимо 3D модель наплавної головки

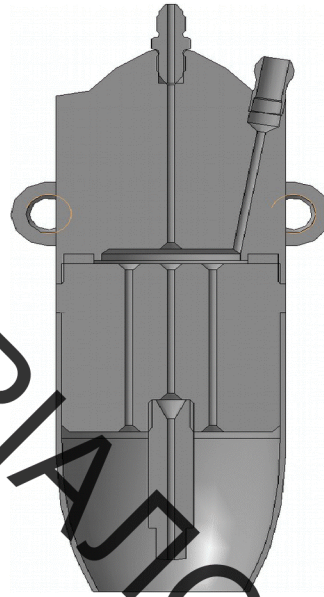


Рисунок 3.3 – 3D модель наплавної головки.

Порахуємо масу засобами САПР Компас

Маса	$M = 96,486333 \text{ г}$
Площа	$S = 20527,763198 \text{ мм}^2$
Об'єм	$V = 43857,424255 \text{ мм}^3$
Центр мас	$X_c = -0,009181 \text{ мм}$
	$Y_c = 50,934307 \text{ мм}$
	$Z_c = -0,897265 \text{ мм}$

## 3.4 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів установки для автоматизованого відновлення деталей

### 3.4.1 Механізм обертання деталі

Для розрахунку приводу обертання застосуємо програму Position drives компанії Festo. Вихідними даними для розрахунку приводу обертання є момент інерції тіл які треба обертати (в нашому випадку становить  $J_z = 1.163839 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ) додаткові сили які є гальмівними або прискорюючими (в нашому випадку відсутні). Відстань від центру тяжіння деталей, що обертаються – приймається нульовою, тому що застосовано задній центр, який компенсує всі навантаження від маси тіл, що обертаються. Максимальна частота обертання – розрахункова 6,5 об/хв приймаємо – 7 що дасть змогу обробляти більшу номенклатуру деталей. Час розгону приймаємо 1 с. Тип приводу – сервопривід постійного струму. Включно з вбудованими гальмами та варіантами з вбудованим редуктором. Монтажне розташування – горизонтальне.

В результаті розрахунку запропоновано наступне (рисунок 3.3)

**Результаты**

**Результат № 4**  
Пожалуйста гарантируйте, что следующие динамические значения, на которых основано определение размеров, не превышают допустимых значений для вашего оборудования.  
Скорость: 82 грп  
Ускорение: 903 грп/с  
Тормоза: 903 грп/с

**Выбранный привод**

Привод: Двигатель

Дополнительная информация (PDF):  
Нажмите и используйте

Контроллер

EMMS-AS-100-5-H5-Rx  
Редуктор: 20:1

SMMP-AS-C5-11A-P3-M3  
Энергетический отсек  
EMGA-X-120-P-G20-SAS-10 400 VAC (3-фазный)

**Обзор рабочих характеристик**

Момент инерции: 11638.39 кг·м²  
Расстояние от центра тяжести до оси: 0 mm  
Внешний крутящий момент: 0 Nm  
Время перемещения + Паузы: 1,129 s  
Паузы: 0,4 s

**36 Результаты**

Подробная траектория движения: Продолжительность цикла (Время перемещения + Паузы): максимум 60 s

№	Поворотный модуль	Привод	Размер	Двигатель	Двигатель	Разм	Редуктор	Двигатель	Время перемеще
1	---	---	---	Серводвигат	100-S	20:1	72 %	0,781	
2	---	---	---	Серводвигат	100-S	20:1	74 %	0,790	
3	---	---	---	Серводвигат	100-S	20:1	83 %	0,721	
4	---	---	---	Серводвигат	100-S	20:1	86 %	0,729	
5	---	---	---	Серводвигат	100-M	20:1	56 %	0,673	
6	---	---	---	Серводвигат	100-M	20:1	67 %	0,663	

Рисунок 3.4 – Результаты розрахунку

Замовимо на сайті FESTO.COM.UA 3D модель вибраного приводу обертання в форматі sat який розпізнає програма Компас

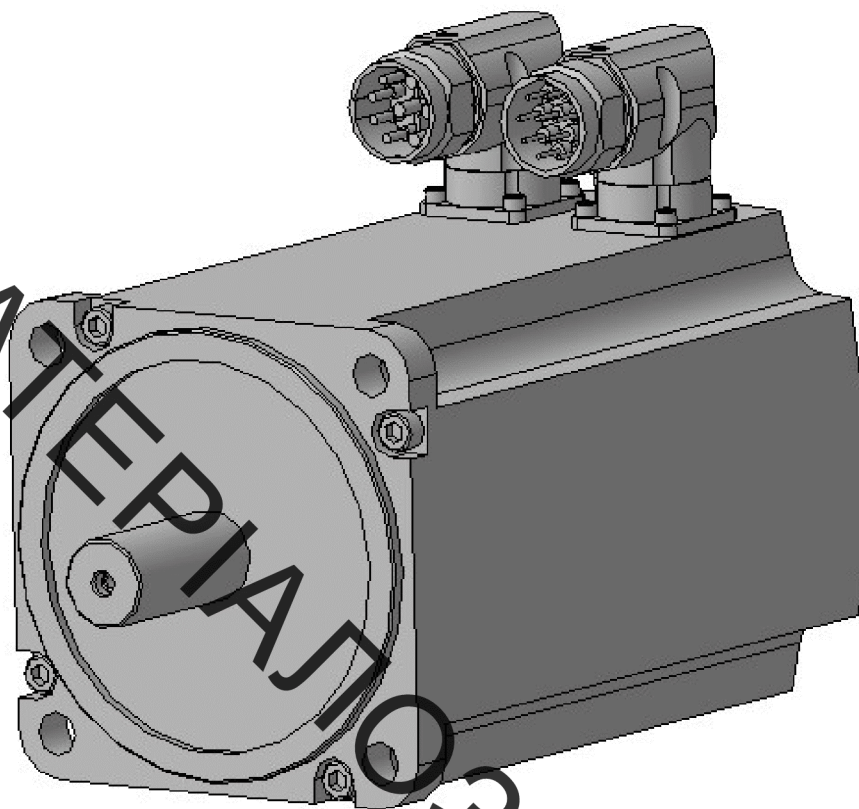


Рисунок 3.5 – 3Д модель сервомотору моделі EMMS-AS-100-S-HS-RR

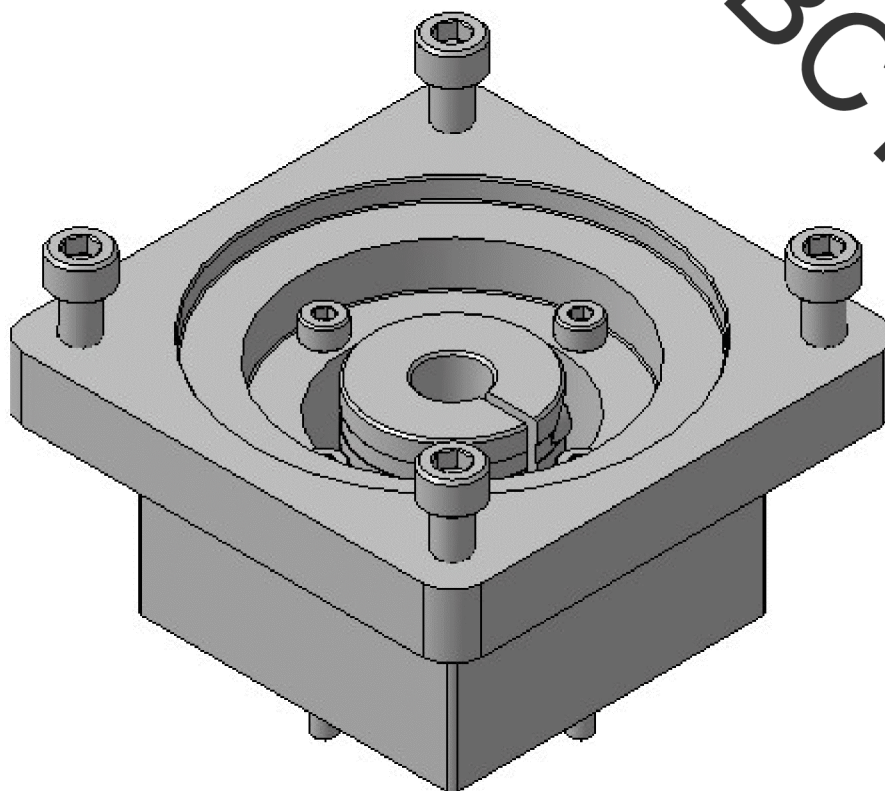


Рисунок 3.6 – Осьовий набір EAMM-A-T42-87A



Спроекуємо вузол обертання. Для цього необхідно з'єднати сервомотор з валом шпинделя та закріпити підшипниковий вузол шпинделя та сервомотор на одній платформі.

Розробимо 3D модель обертача (рисунок 3.7). Для чого спочатку розробимо 3D модель шпиндельного вузла та поєднаємо з ним вибраний сервомотор і осьовий набір (див. рисунки 3.5, 3.6)

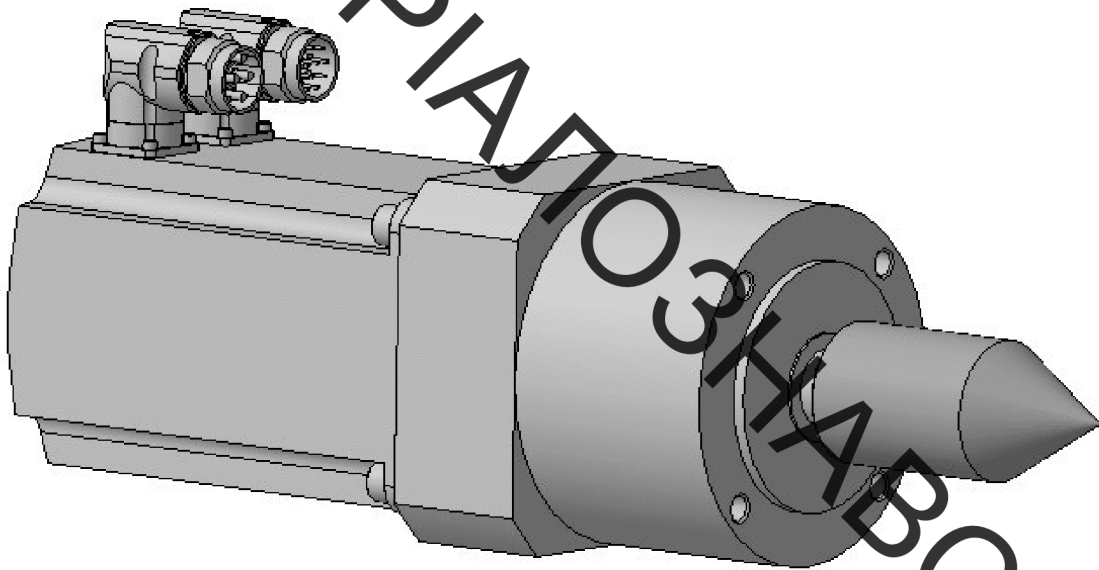


Рисунок 3.7 – 3D модель обертача

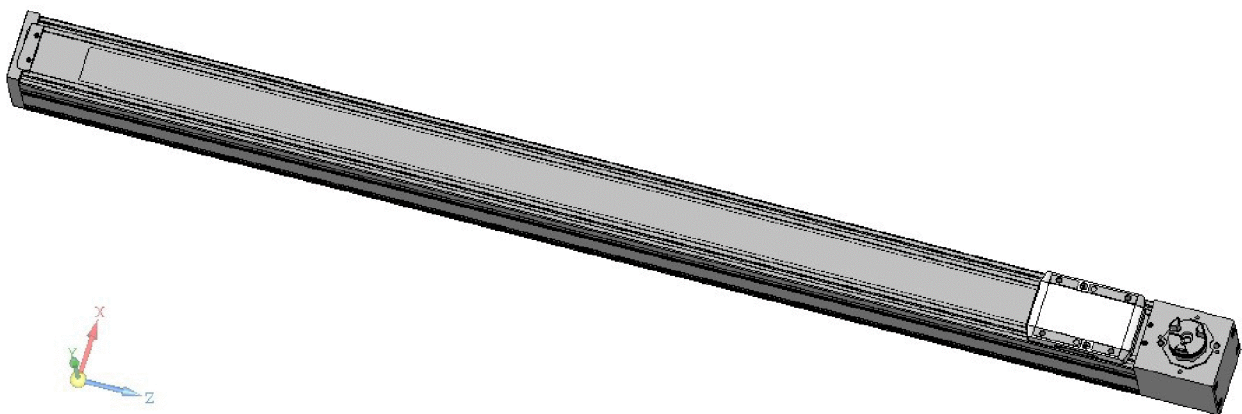


Рисунок 3.8 – 3D модель консольного приводу

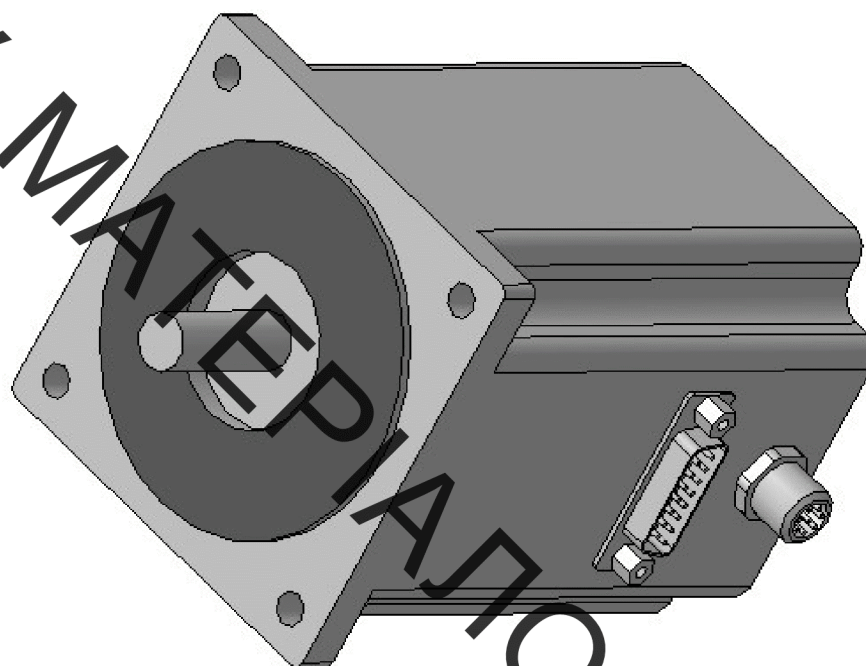


Рисунок 3.9 – 3Д модель двигуна консольного приводу

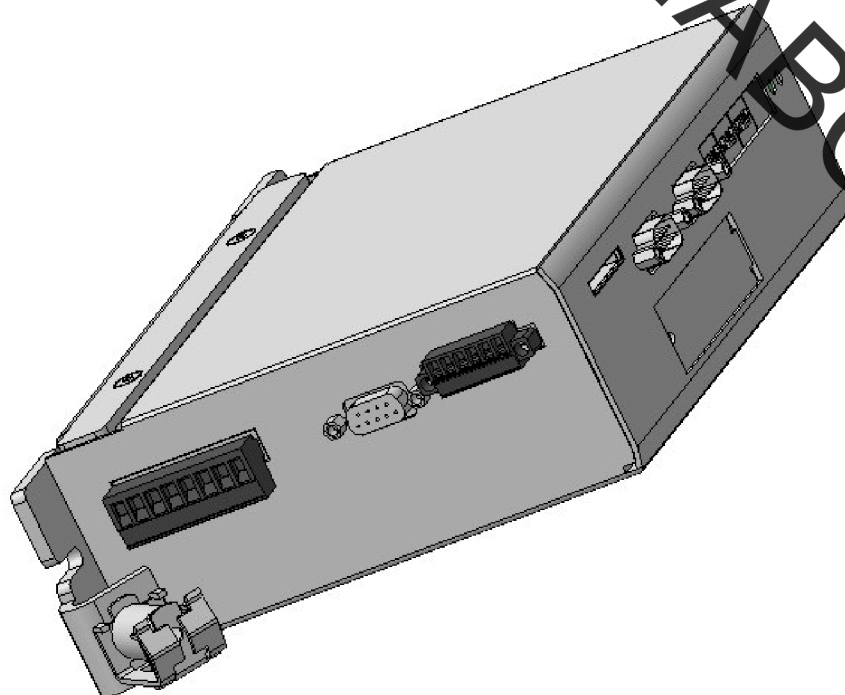


Рисунок 3.10 – 3Д модель контролера консольного приводу

Вихідними даними для вибору приводу переміщення наплавного пристрою є маса, яку необхідно переміщувати, це маса наплавного пристрою

2,3 кг плюс маса кронштейна за допомогою якого пристрій кріпиться до консольного привода, та приєднаних комунікації, яка приблизно становить до 3 кг. Разом ця маса становить  $2,3 + 3 = 5,3$  кг. Ще однією величиною для вибору привода є величина переміщення яка дорівнює перепаду діаметрів відновлюваної деталі і становить 100 мм.

Застосувавши програму Position Driving знайдемо можливе рішення у вигляді привода позиціонування

**Результат № 2**  
Пожалуйста гарантируйте, что следующие динамические значения, на которых основано определение размеров, не превышают допустимых значений для вашего оборудования.  
Скорость: 1,5 m/s  
Ускорение: 15 m/s<sup>2</sup>  
Тормоза: 15 m/s<sup>2</sup>  
 = Добавить (Сравнить продукты)

**Выбранный привод**  
Привод: ELGC-TV-KF-60-800  
Осевой: EAIM-A-T42-87A  
Двигатель: EIMS-ST-87-S-SE-G2  
Нет редуктора  
Контроллер: CIMS-ST-C8-7-G2  
Энергетический отсек: 48 VDC

**Обзор рабочих характеристик**  
Запрошенный:  
Эффективный ход: 700 mm  
Точность повторения +/-: 0,1 mm  
Движущаяся масса: 3 kg  
Горизонтальный 0°  
Дополнительное внешнее усилие (Аксиальное усилие): 0 N  
Время перемещения + Паузы: 1,56 s  
Паузы: 0,4 s

**10 Результаты (Оптимальные типоразмеры осей)**  
Подробная траектория движения: Продолжительность цикла (Время перемещения + Паузы): максимум 60 s

№	Привод	Размер	Направляющая	Двигатель	Двигатель	Разм	Редуктор	Привод	Двигатель	Направляющая	Время перемеще
1	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-S	---	---	---	16 %	99 %	72 %	1,927
2	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-S	---	---	---	43 %	97 %	72 %	1,160
3	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-M	---	---	---	10 %	99 %	72 %	1,505
4	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-M	---	---	---	24 %	99 %	72 %	2,507
5	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-L	---	---	---	9 %	99 %	72 %	6,032
6	Зубчатый ремень (ELGC)	60	Шариковый по ServoLite (E)	87-L	---	---	---	22 %	99 %	72 %	3,079

Рисунок 3.11 – Вибір обладнання у програмі Position Driving

Замовимо на сайті FESTO.COM.UA 3D модель вибраного привода. Для того щоб цей привід працював його треба укомплектувати кроковим двигуном, осьовим набором, кронштейном для кріплення які виберемо у форматі sat.

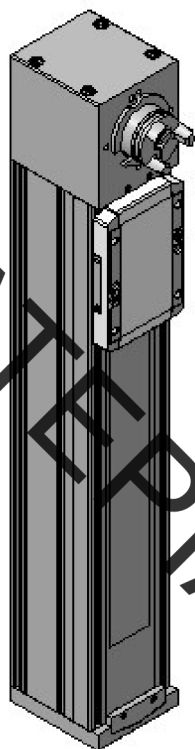


Рисунок 3.12 – 3Д модель вертикального консольного привода

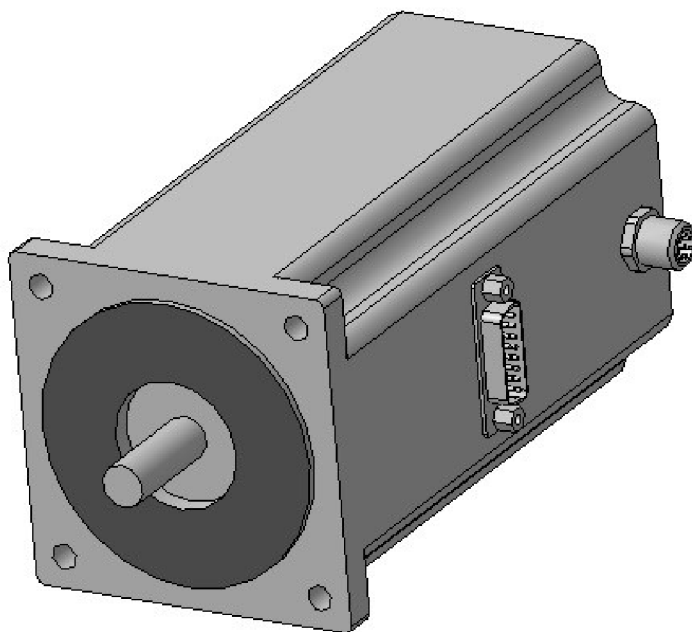


Рисунок 3.13 – 3Д модель двигателя вертикального консольного привода

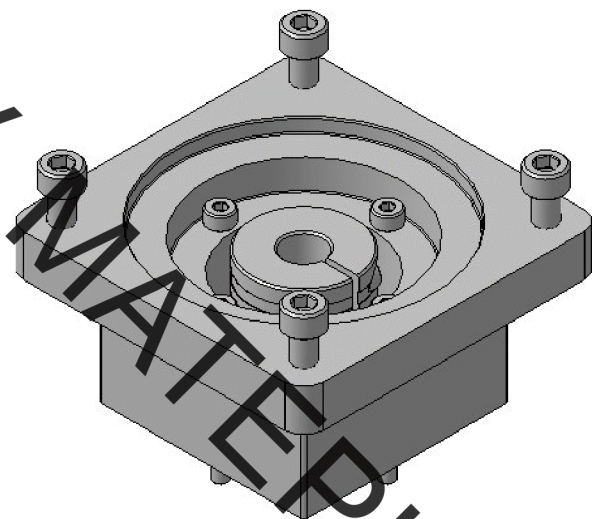


Рисунок 3.14 – 3Д модель осьового набору

Для того щоб цей привід працював до нього треба приєднати кроковий мотор (рисунок 3.13), осьовий набір (рисунок 3.14). Типорозміри вказаних деталей вибираємо згідно розділу "documentations" та розділі "accessories" які є доступними при виборі конкретного механізму на сайті Festo.com.ua.

Поеднаємо усі механізми згідно їх функціонального призначення та отримаємо функціональний вузол вертикального та горизонтального переміщень наплавлюючого пристрою та обертання деталі. Розмістимо у просторі всі деталі згідно їх призначення (рисунок 3.15).

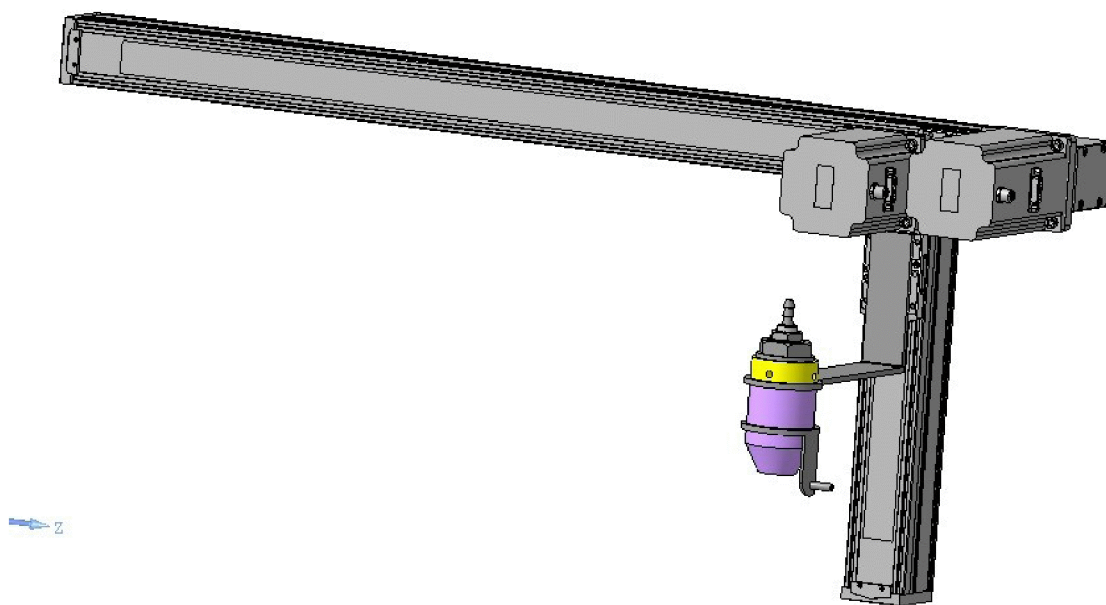


Рисунок 3.15 – Механізм переміщення наплавного пристрою (3Д модель)

### 3.5. Розробка установки з числовим програмним керуванням

Наступним кроком є створення рамної конструкції яка забезпечить задане взаємне розташування всіх механізмів. Для створення рамної конструкції використовуємо профільний металопрокат, а саме швелер.

ГОСТ 8240–79 №16. Конструкція рами зварна. Зварювання електродугове за ГОСТ 5264–80.

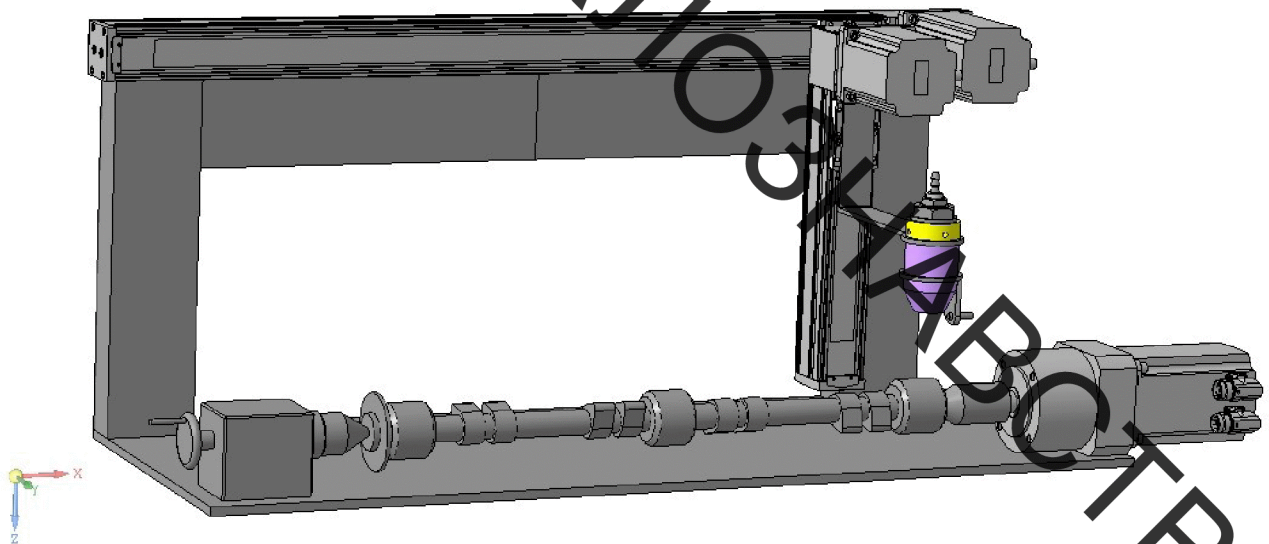


Рисунок 3.16 – Установка з числовим програмним керуванням

Складальне креслення установки для відновлення валу та інших подібних деталей довжиною не більше 700 мм та діаметром не більше 100 мм наведено в додатку.

### 3.6 Розробка робочого місця і вимоги безпеки

Виробничі приміщення цеху, в яких розміщуються дільниці для наплавлювання, повинні бути побудовані з вогнетривких матеріалів і повинні розташовуватись в окремих кабінах або відокремлюватись ширмами.

Підлога у приміщеннях повинна бути виконана з негорючих матеріалів. На робочих місцях під ногами повинні бути дерев'яні ґрати або гумові килимки.

В якості освітлення використовуються газорозрядні лампи. В приміщенні також використовується освітлення через вікна.

До роботи з устаткуванням допускається персонал, що має право роботи з електроінструментом і стисненим повітрям (кваліфікаційна група по ТБ не нижче 3) який пройшов навчання в постачальника обладнання правилам і прийомам роботи.

Для забезпечення пилезахисту персоналу і навколишнього середовища при роботі з устаткуванням у закритих приміщеннях необхідна організація робочого місця з відсмоктуванням запиленого повітря з робочої зони, де відбувається наплавлення покриттів, і наступним його очищенням.

Пилезахищена камера повинна забезпечувати можливість розміщення в ній оброблюваних виробів за умови доступу до нього соплом наплавного блоку. Персонал повинен бути захищений індивідуальними засобами пиле захисту (окуляри, респіратор).

Фільтр повинний забезпечувати очищення запиленого повітря від пилу. Витяжний вентилятор повинен забезпечувати ефективне відсмоктування запиленого повітря із системи "пилезахищена камера – фільтр – повітропроводи". Продуктивність вентилятора, навантаженого на фільтр, повинна бути не менш 2 куб.м/хв.

Для системи пилоочищення можуть використовуватися як готові промислові пилососи з достатнім ступенем фільтрації повітря і продуктивністю, так і спеціально виготовлені пристрої, що можуть включати циклони, фільтри тонкого очищення і витяжні вентилятори.

Робоче місце складається з установки з числовим програмним керуванням, яка встановлена у захисному боксі, в боксі встановлено механізм подачі дроту наплавну головку. Бокс оснащено притоковою та витяжною вентиляцією. Електроживлення здійснюється від джерела живлення. Керування установкою здійснюється від комп'ютера та контролерів. Робочий газ подається

від салона або від компресорної станції. Шинопровід забезпечує підвід всіх комунікацій до виконавчих механізмів.

ВНТКУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО



## РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РІШЕННЯ

Економічна частина є одним із завершальних розділів магістерської дипломної роботи, в якому розробляються остаточні висновки щодо економічної ефективності запропонованої розробки. В даному розділі розглянемо основні питання конкурентоспроможності продукту та комерційного потенціалу розробки.

### 4.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки

#### 4.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Для оцінювання комерційного потенціалу розробки були залучені три експерти. Оцінювання комерційного потенціалу результатів ІДДКР будемо здійснювати за 12-а критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки занесимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання комерційного успіху розробки

Критерії	Експерти		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали, виставлені експертами		
1	4	3	4
2	4	3	3
3	4	4	3
4	3	3	4
5	3	4	3
6	3	4	4
7	4	4	3
8	4	3	3
9	3	4	4

10	3	3	4
11	3	3	3
12	4	4	4
Сума балів	42	41	41
Середньоарифметична сума балів $\bar{C}_B$	41,6		

За даними таблиці 4.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Оскільки середньоарифметична сума балів складає 41,6, то рівень комерційного потенціалу розробки високий, тому дана розробка є реальною для подальшої її реалізації та впровадження.

Можливі декілька шляхів реалізації розробки. Оскільки розробка не складна, не вимагає великої кількості людей та спеціального обладнання, то це може бути невелике підприємство, або один або декілька приватних підприємців, які працюють за договорами.

Розробка має новизну, оскільки покращення зносостійкості є актуальним в даний час. Сьогодні дуже багато говориться про те, як захистити двигун автомобіля від пошкоджень, тому новизна розробки полягає у вигляді покращення захисту двигунів шляхом подовження строку експлуатації розподільчого вала. За рештою показників (зручність у користуванні, швидкодія) розробка не буде поступатися конкурентам.

Соціальним впливом застосування даного продукту може бути поліпшення якості життя, задоволенням потреб для конкретної людини.

Технічна розробка може бути здійснена за невеликий проміжок часу. Математичні та експериментальні моделі, які необхідні для реалізації продукту готові. Зібрана схема пристрою для контролю октанового числа бензину, яка буде їх реалізовувати. Документація до продукту може бути розроблена інженерами-конструкторами та менеджерами за короткий термін. Для розробки продукту необхідно найняти декілька кваліфікованих людей, які розуміються на схемотехніці.

## 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

### 4.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців досліду

Проведемо прогнозування витрат на виконання робіт у три етапи:

*1-й етап:* Розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу НДР.

*2-й етап:* Розрахунок загальних витрат на виконання НДР,

*3-й етап:* Прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження НДР.

Проведемо перший етап прогнозування.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників  $z_0$ , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ (грн.)} \quad (4.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21 \dots 23$  дні;

$t$  – число робочих днів роботи дослідника.

Дану розробку буде проводити інженер, величина окладу буде становити 5300 грн. на місяць. Кількість робочих днів у місяці складає 21, а кількість

робочих днів дослідника складає 45. Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату Грн
Керівник проекту	8200	390,47	6	2342,82
Інженер	6500	309,52	48	14857,14
Всього				17199,96

2. Розрахуємо заробітну плату працівників, які беруть участь у виконанні НДР і виконують роботи за робочими професіями.

Основна заробітна плата робітників ( $Z_p$ ), якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \text{ (грн.)} \quad (4.2)$$

де  $t_i$  – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

$n$  – число робіт по видах та розрядах;

$C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу.

Погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду визначається за формулою :

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}} \text{ (грн./год.)} \quad (4.3)$$

де  $M_M$  – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн. (розмір мінімальної зарплати в 2020 році складає 5000 грн. в місяць); мінімальна

годинна ставка робітника 1-го розряду встановлена на рівні – 28,4 грн./годину.

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду; величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 3.4;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21 \dots 23$  дні;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, зазвичай  $T_{зм} = 8$  годин.

Таблиця 4.4 – Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників

Розряд	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_i$	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,45	1,54	1,64

Зроблені розрахунки занесемо у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н.-годин	Розряд роботи	Годинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
Мийна	0,08	2	30,95	2,47
Дефектувальна	0,09	4	36,06	3,24
Токарна	0,08	4	36,06	2,88
Наплавлення	0,23	4	36,06	8,29
Правка	0,05	3	33,51	1,67
Токарна	0,08	4	36,06	2,88
Термічна	0,08	3	33,51	2,68
Шліфувальна	0,15	4	36,06	5,4
Контрольна	0,10	5	38,62	3,86
Всього:				33,37

### 3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата  $Z_0$  всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників[26]. На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_0 = 0,1 \cdot (17199,96 + 33,37) = 1723,33 (\text{грн.}) \quad (4.4)$$

4. Нарахування на заробітну плату  $H_{зп}$  дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (5.5):

$$H_{зп} = (z_o + z_p + z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ (грн.)} \quad (4.5)$$

де  $z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;

$z_p$  – основна заробітна плата робітників, грн.;

$z_d$  – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$\beta$  – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$H_{зп} = (17199,98 + 33,37 + 1723,33) \cdot \frac{22}{100} = 4170,46 \text{ (грн.)}$$

4.2.2 Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи

1. Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування  $A$  в цілому будуть розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a \cdot T}{100 \cdot 12} \text{ (грн.)} \quad (4.6)$$

де  $Ц$  – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.;

$H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань; для нашого випадку можна прийняти, що  $H_a = 10 \dots 25\%$  ;

$T$  – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Для виконання НДР використовуються офісне приміщення, виробниче приміщення, комп'ютери, токарний верстат та фрезерний верстат. Розрахуємо амортизаційні відрахування для них і розрахунки занесемо до таблиці 5.6.

Таблиця 4.6 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Переобладнання старого приміщення	215000	15	3	3583,3
Силові приводи	3800	4	2	158,3
Комп'ютер та інтерфейс	6000	4	3	625
Разом				4366,6

2. Витрати на матеріали, що були використані під час виконання даного етапу роботи визначаються за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot C_i \cdot K_i - V_i \cdot C_v) \text{ [грн.]}, \quad (4.7)$$

де  $N_i$  - кількість  $i$ -го виду матеріалів;

$K_i$  - коефіцієнт транспортних витрат,  $K_{тр} = 1,1 \dots 1,15$

$C_i$  - ціна одиниці вимірювання  $i$ -го виду матеріалів;

$V_i$  - величина відходів  $i$ -го виду матеріалів;

$C_v$  - ціна одиниці вимірювання відходів  $i$ -го виду матеріалів;

$n$  - кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.7 Розрахунок витрат на матеріали.

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за	Витрачено, кг	Вартість Витраченого
--	---------	---------------	----------------------

	1 кг, грн.		матеріалу, грн.
Дріт для наплавки ОК Tigrot 19.85	200	0,30	60
Вуглекислий газ	9	3,0	27
Газ – Аргон	25	15	375
Лобомід	35	0,2	7
Ганчір'я	7,00	0,1	0,7
Всього			516,67

3. Витрати на комплектуючі, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ (грн.)} \quad (4.8)$$

де  $H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = 1, 1, \dots, 1, 1, 5$ .

$n$  – кількість видів комплектуючих.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 - Розрахунок витрат на комплектуючі

Найменування комплектувальних	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
1. Наплавлювальна установка з ЧПК	1	180 000,00	180 000,00
2. Обертач	1	4000,00	4000,00
3. Плазмотрон	1	2500,00	2500,00
Всього			186500,00

4. Витрати на силову електроенергію  $B_e$ , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$B_e = B \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_n \text{ (грн.)} \quad [грн], \quad (4.9)$$

де  $B$  – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2020 р.,  $B \approx 2,1$  грн./кВт;



$P$  – встановлена потужність обладнання, кВт;

$\phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин;

$K_{п}$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_{п} < 1$ .

Розробка та виготовлення дослідного зразка проводиться в лабораторному приміщенні. Дані стосовно проведених робіт та встановленої потужності обладнання наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 4.9 - Проведення робіт та встановлення потужності обладнання

Найменування обладнання	Встановл ена потуж ність, кВт	Триваліс ть операц ії, год.	Витрати, кВт	Сума, грн.
UNIX1-20-2В	0,6	0,06	0,036	0,07
Дефектоскоп УД-12	0,2	0,07	0,014	0,03
Токарний верстат 16К-20Ф3	11	0,04	0,44	0,92
Наплавлювальна установка з ЧПК	23	0,23	5,3	11,13
Правильний прес	2,3	0,05	0,115	0,24
Токарний верстат 16К-20Ф3	11	0,08	0,88	1,84
Напилувальна установка з ЧПК	23	0,1	2,3	4,83
Індукційна піч ВЧГ-3-160/0,066	2,4	0,08	0,19	0,39
Круглошліфувальний універсальний верстат 3М151	2,2	0,06	0,132	0,27
Дефектоскоп УД-12	0,2	0,07	0,014	0,03
Всього				19,75

## 5. Інші витрати

Інші витрати  $B_{ин}$  охоплюють: загально виробничі витрати (витрати управління організацією, ремонт та експлуатація основних засобів, витрати на опалення, освітлення тощо), адміністративні витрати (проведення зборів, оплата юридичних та аудиторських послуг, тощо), витрати на збут (витрати на рекламу, перепідготовка кадрів) на інші операційні витрати (штрафи, пені, матеріальні допомоги, втрати від знецінення запасів тощо).

Інші витрати  $B_{ин}$  можна прийняти як 100...300% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану роботу, тобто за формулою:

$$B_{ин} = (1...3) \cdot (Z_o + Z_p) \text{ (грн.)}$$

$$B_{in} = 1 \cdot (17199,96 + 33,37) = 17233,33 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат

Сума всіх попередніх витрат дає загальні витрати на нову розробку:

$$B = Z_o + Z_p + Z_d + H_{zn} + A + M + K + B_e + B_{in} \text{ (грн.)} \quad (4.11)$$

$$B = 17199,96 + 33,37 + 1723,33 + 4170,46 + 4366,6 + 516,67 + i + 186500 + 19,75 + 17233,33 = 231763,47 \text{ (грн.)}$$

Проведемо другий етап прогнозування:

#### 4.2.3 Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи

Загальна вартість всієї наукової роботи  $B_{заг}$  визначається за формулою:

$$B_{заг} = \frac{B_{in}}{\alpha} \text{ (грн.)} \quad (4.12)$$

де  $\alpha$  – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відносних одиницях,  $\alpha = 1$ .

$$B_{заг} = \frac{231763,47}{0,8} = 289704,33 \text{ (грн.)}$$

Проведемо третій етап прогнозування:

#### 4.2.4 Прогнозування витрат на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи

Прогнозування загальних витрат  $ZB$  на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\beta} \text{ (грн.)} \quad (4.13)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи: якщо розробка знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то

$\beta \approx 0,1$  ; на стадії технічного проектування, то  $\beta \approx 0,2$  ; на стадії розробки конструкторської документації, то  $\beta \approx 0,3$  ; на стадії розробки технологій, то  $\beta \approx 0,4$  ; на стадії розробки дослідного зразка, то  $\beta \approx 0,5$  ; на стадії розробки промислового зразка,  $\beta \approx 0,7$  ; на стадії впровадження, то  $\beta \approx 0,9$  .

Етап роботи : стадія розробки технологій.

$$ЗВ = \frac{289704,33}{0,4} = 724260,84 (\text{грн.})$$

### 4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному випадку не можливо прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. Тоді збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi$  для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за наступною формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_{i=1}^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_n \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.14)$$

де  $\Delta\Pi_o$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Pi_o$  – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, рекомендується приймати 0,2...0,3;

$\nu$  – ставка податку на прибуток.

В середньому в рік продається 600 розробок. Середня вартість такої розробки становить 7500 грн.

Впровадження зразка розробки дозволяє збільшити ціну кожного зразка на 700 грн, враховуючи ціни конкурентів. Також прогнозується, що попит на даний продукт зростає, оскільки даний продукт відрізняється якістю від конкурентних.

Попит збільшиться за перший рік на 400 примірників, а за наступний – на 300 та протягом третього року – ще на 200 примірників.

Ставка податку на додану вартість в 2020 році залишилась на рівні 20%, а коефіцієнт  $\lambda=0,8333$ . Ставка податку на прибуток складає 18%.

Коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, дорівнює 0,3.

Отже, розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства на 2020 - 2022 рр.:

$$\Delta P_{2020} = (600 \cdot 7500 + (7500 + 700) \cdot 400) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1594836,2 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta P_{2021} = (600 \cdot 7500 + (7500 + 700) \cdot (400 + 300)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 2099116,03 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta P_{2022} = (600 \cdot 7500 + (7500 + 700) \cdot (400 + 300 + 200)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 243532,58 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

##### 4.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій

Основними показниками, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Спочатку розрахуємо теперішню вартість інвестиції PV, що вкладаються в наукову розробку. Такою вартістю можна вважати прогнозовану величину

загальних витрат  $ZB$  на виконання та впровадження НДР, розраховану. Тобто будемо вважати, що  $PV=ZB$ , і складає 724260,84 грн.

Далі необхідно розрахувати очікуване збільшення прибутку  $\Delta\Pi_i$ , що отримає підприємство від впровадження результатів наукової розробки, для кожного із років, починаючи з першого від впровадження. Таке збільшення прибутку було розраховано у попередньому підрозділі.

Побудуємо вісь часу, на яку нанесемо всі платежі (інвестиції та прибутки), що мають місце під час виконання НДР та впровадження її результатів. Загальні витрати необхідно внести на першому році дослідження. Результати інвестицій почнуть виявлятися через один рік, і будуть тривати три роки. За перший рік збільшення чистого прибутку відбудеться на 1594836,2 тис. грн., за другий рік – на 2099116,03 тис. грн. та за третій рік – на 2435302,58 тис. грн. Тоді рисунок, що характеризує платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рисунок 4.1.

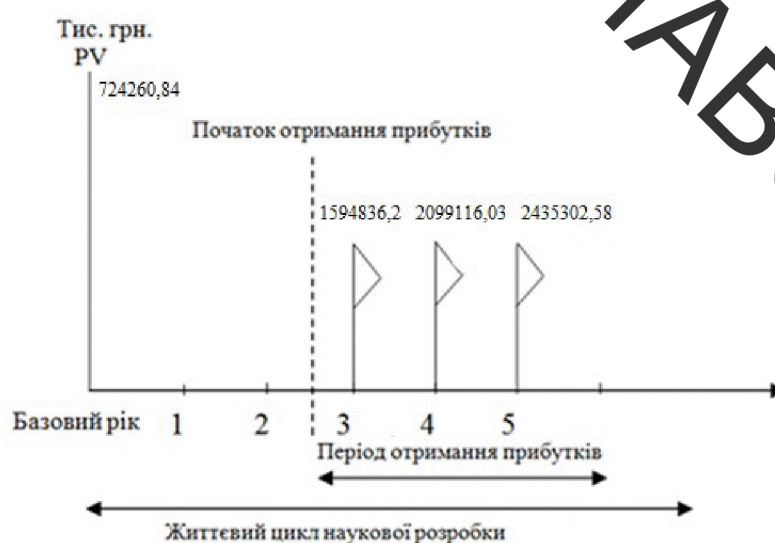


Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДР

Абсолютна ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  розраховується за формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \text{ (грн.)}, \quad (4.15)$$

де  $ПП$  – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.,

$PV$  – теперішня вартість інвестицій;  $PV=3B$ , грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків  $ПП$  розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^i} \text{ (грн.)} \quad (4.16)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДР, грн.;

$m$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні;

$t$  – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

Період часу, протягом якого виявляються результати впровадження НДР, складає 2 роки. Прогнозований щорічний рівень інфляції в Україні становить 0,1. Розрахуємо приведену вартість всіх чистих прибутків за формулою (3.16):

$$ПП = 724260,84 + \frac{1594836,2}{(1+0,1)^4} + \frac{2099116,03}{(1+0,1)^5} + \frac{2435302,58}{(1+0,1)^6} = 4492041,59 \text{ (грн.)}$$

Тепер розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  за формулою:

$$E_{абс} = (4492041,59 - 724260,84) = 3767780,75 \text{ (грн.)}$$

Оскільки  $E_{абс} > 0$ , то це означає що результат від наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, тобто вкладання коштів на виконання та

впровадження результатів НДР може бути доцільним та інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даної роботи.

#### 3.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДР

Відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_B$  розрахуємо за формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (4.17)$$

де  $E_{абс}$  – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 3B$ , грн.;

$T_{ж}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = \sqrt[3]{1 + \frac{3767780,75}{724260,84}} - 1 = 0,83 = 83\%$$

Далі, розрахована величина  $E_B$  порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f \quad (4.18)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = 0,05 \dots 0,1$ , але може бути і значно більше.

Середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках складає 0,2, а показник, що характеризує ризикованість вкладень дорівнює 0,05.

Розрахуємо мінімальну ставку дисконтування:

$$\tau = 0,2 + 0,05 = 0,25 = 25\%;$$

Відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_B$ , що дорівнює 83% перевищує мінімальну (бар'єрну) ставку

дисконтування  $\tau_{\min}$ , яка складає 25%. А це означає, що інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

### 3.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку

Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій  $T_{ок}$  можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B} \quad (4.19)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,83} = 1,20 \text{ роки}$$

Оскільки  $T < 3$ -х років, то фінансування розробки є доцільним.

## 4.5 Висновки по розділу

У даному розділі було проведено оцінювання комерційного потенціалу розробки. Для цього спочатку було залучено експертів для оцінки. Далі були розраховані витрати на НДР. Ці витрати включають основну та додаткову заробітну плату наукових співробітників та робітників, нарахування на заробітну плату, витрати на амортизацію приміщення та обладнання, витрати на комплектуючі та електроенергію, а також інші витрати. На основі цих статей були спрогнозовані загальні витрати.

У наступному розділі було проведено прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки. Для цього було розраховано зростання чистого прибутку підприємства для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

Після цього було проведено розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності. Для цього було побудовано фіксацію платежів на вісі часу, розраховано абсолютну та відносну ефективність вкладених інвестицій, а також термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій.



Зважаючи на попередній аналіз та розрахунки, вкладення інвестицій, розробку можна вважати вигідною. Тому продукт може бути конкурентним на ринку, попит на покращений продукт зросте, а завдяки покращенню його характеристик ціна також може бути збільшена. Завдяки цьому підприємство буде мати позитивну динаміку росту прибутку у найближчих роках після впровадження розробки. Абсолютна ефективність вкладених інвестицій перевищує нуль, що також вказує на позитивний результат від вкладення інвестицій. Крім цього відносна ефективність вкладених інвестицій перевищує мінімальну ставку дисконтування. Розрахунки показують, що окупність даного проекту складає менше, ніж один рік, що також є дуже позитивним фактором для інвестування проекту.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз умов праці

При виконанні робіт з підвищення довговічності деталей з робочими поверхнями складної просторової форми виникають небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні: рухомі машини та механізми; розлиті на підлогу рідини; підвищена температура поверхонь агрегатів; гострі кромки та шорсткість поверхні; підвищена запиленість, загазованість повітря; мікроклімат, який не відповідає нормативам; недостатня освітленість; підвищений рівень шуму і вібрації в приміщенні; ультрафіолетове випромінювання при проведенні короткочасного підварювання безпосередньо на робочих постах; враження електричним струмом;
- хімічні: відпрацьовані гази та агресивні рідини;
- психо-фізіологічні: монотонність праці.

### 5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.

Згідно санітарним нормам  $V=15 \text{ м}^3/\text{люд}$ ,  $S=4,5 \text{ м}^2/\text{люд}$ . Реальні показники площі і об'єму знаходяться в межах допустимих значень.

#### 5.2.1 Мікроклімат

В зоні відновлення робочих поверхонь колеса приводу трансмісії танка діючі та допустимі значення параметрів мікроклімату наведені в табл. 4.1.

Теплове опромінення не перевищує нормативне  $100 \text{ Вт/м}^2$  – при опроміненні не більше 25% поверхні тіла людини.

Максимальна допустима для роботи температура поверхонь  $\leq 45^\circ\text{C}$ .

Таблиця 5.1 - Діючі та допустимі значення параметрів мікроклімату в відновлення робочих поверхонь колеса приводу трансмісії танка

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість		Швидкість повітря	
		діюча	допустима	діюча	допустима	діюча	допустима
холодний	П б	15-20	15-21	55-65	≤75	0,2-0,4	≤0,4
теплий	П б	15-20	15-21	60-75	≤75	0,2-0,4	0,2-0,5

Фактичні параметри мікроклімату відповідають встановленим вимогам.

Вентиляція зони приточно-витяжна з механічним та природним сполучанням. Система вентиляції дозволяє підтримувати концентрацію шкідливих речовин в межах, які не перевищують гранично допустимі, що наведені в табл. 5.2. На постах є шлангові відсмоктувачі.

Таблиця 5.2 - ГДК шкідливих речовин в повітрі зони

Назва речовин	ГДК мг/м <sup>3</sup>	Діючі значення ГДК мг/м <sup>3</sup>	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Азота диоксид	2	0,2	П	3
Акролеїн	0,2	0,09	П	2
Вуглицю оксид	20	14	П	4
Масло мінеральне	5	2	А	4

Кислота сірчана	1	0,08	A	2
Марганець у зварюв. аерозолях	0,2	0,08	A	2
Мінеральний пил	2	1,2	A	4
Тетраетилсвинець	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	П	1

Витяжка приєднується до циклону за допомогою гнучкого шлангу.

Система опалення виконується з умов забезпечення температури повітря в приміщенні в холодний і перехідні періоди року на рівні  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Дані вимоги забезпечуються централізованим опаленням. В якості теплоносія – гаряча вода з температурою  $+80 - +95\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Джерелом тепlopостачання є міська котельня. Опалення здійснюється трубами  $d=100\text{ мм}$ , система опалення – двухтрубна з верхньою розводною, тупикова.

### 5.2.2 Виробниче освітлення

В приміщенні зони є природне та штучне освітлення.

Нормативне значення природнього освітлення:

$$e^{IV} = e_H^{IV} \cdot m \cdot C_K, \quad (5.1)$$

де  $e_H^{IV} = 1,5$  – коефіцієнт природнього освітлення для приміщень розташованих в IV-му поясі світлового клімату;

$m = 0,9$  – коефіцієнт світлового клімату;

$C_k = 0,75$  – коефіцієнт сонячності клімату;

$$e^{IV} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,01.$$

Норми освітлення для цеху по відновленню деталей містяться у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Норми освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Характеристика фону	Контраст об'єкту з фоном	Освітленість КЕО, $e_H^{IV}$ , %		
						Штучне		При Бокове освітлення
						Комбіноване	Загальне	
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	а	Темний	Малий	750	300	1,2

Для освітлення цеху слід застосувати газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення повинні застосовуватись світильники.

Нормативне значення штучного освітлення  $E = 200$  лк (для загального освітлення). Встановлені в приміщенні світильники забезпечують даний рівень.

### 5.3 Виробничий шум та вібрації

В робочій зоні має місце широкополосний шум, що виходить від роботи двигуна автомобіля і обладнання. Для широкополосного шуму допустимі рівні звукового тиску в активних полосах частот, рівні звукового тиску на робочих

місцях приймаються згідно [18]. Для ослаблення шуму, який поширюється з приміщення назовні, використаєм звукоізоляцію огорожуючих конструкцій.

Для боротьби з шумом та вібрацією використовують різні засоби звукоізоляції (звукоізолюючі кожухи, які закривають електродвигуни виробничого обладнання) та ін.

Для захисту від вібрації все виробниче обладнання встановлено на віброізолювані фундаменти.

Нормовані значення шуму та вібрації що діють на людину в виробничих умовах наведені в таблицях 5.3 - 5.4.

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку в дБА на робочих місцях

Робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку, лБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Допустимі
Відновлювальна дільн.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Зниження шуму на шляху його розповсюдження в значній мірі досягається проведенням будівельно-акустичних заходів з застосуванням звукоізолюючих перегородок між приміщеннями.

Таблиця 5.4 – Норми вібраційного навантаження при тривалості дії 8 годин

Тип вібрації	Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні коректовані по частоті і еквівалентні коректовані значення			
			віброприскорення		віброшвидкості	
			м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с	дБ
локальна	–	X <sub>л1</sub> , Y <sub>л1</sub> , Z <sub>л1</sub>	2	126	2	112
загальна	3 тип “а”	X <sub>л1</sub> , Y <sub>л1</sub> , Z <sub>л1</sub>	0,1	100	0,2	92

Працівник підпадає під дію шкідливих вібрацій не всю зміну, а тільки коли працюють обладнання та інструмент. В середньому загальній технологічній вібрації підлягає на протязі 150 хв., а локальній – 100 хв. Для зменшення шкідливої дії вібрації слід встановити джерела виникнення вібрації на віброізольюючі опори, а також гнучкі вставки в комунікаціях повітропроводів.

#### 5.4 Пожежна безпека

Цех відноситься до приміщення категорії Г по вибухо - та пожежонебезпеці (цех по відновленню наплавленням на напилюванням).

По ступеню вогнестійкості будівля відноситься до Ша - будівлі з переважно каркасною конструктивною схемою. Елементи каркасу - із сталевих незахищених конструкцій. Огороджуючі конструкції - із сталевих не профільованих листів або із негорючих листових матеріалів з важкогорючими утеплювачами.

Межі вогнестійкості конструкції об'єкту повинні бути такими, щоб конструкції зберігали несучі і огороджуючі функції протягом евакуації людей або перебування їх в місцях колективного захисту. При цьому межі вогнестійкості повинні встановлюватись без врахування впливу засобів гасіння пожежі, але з врахуванням пожеже – вибухонебезпеки виробничих процесів.

Основні вимоги показані у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Мінімальні межі вогнестійкості і максимальні межі

розповсюдження вогню.

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні межі вогнестійкості будівельної конструкції, год (над ризикою), і максимальні межі розповсюдження вогню по ним, см (під ризикою).								
	Стіни				Колони	Драбинні	настили	Плити	Балки, ригелі
Сітківі	Самонесучі	Зовнішні	Внутрішні						
IIIa	$\frac{1}{0}$	$\frac{0,5}{0}$	$\frac{0,25}{40}$	$\frac{0,25}{40}$	$\frac{0,25}{0}$	1	$\frac{0,25}{0}$	$\frac{0,25}{25}$	$\frac{0,5}{0}$

У приміщенні висота від підлоги до низу виступаючих конструкцій перекриття повинна бути не менше 2,2 м, висота від підлоги до низу виступаючих частин комунікацій і обладнання в місцях регулярного проходу людей і на шляхах евакуації - не менше 2 м, а в місцях нерегулярного проходу людей - не менше 1,8 м. Відстані до евакоходів для категорії приміщення Г і III ступеню вогнестійкості не обмежуються щільністю людського потоку в загальному проході.

## 5.5 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

### 5.5.1 Техніка безпеки

Основними вимогами охорони праці, які висуваються в проектуванні машин та механізмів, є безпека для людини, надійність та зручність експлуатації.

Об'єм приміщення на одного працюючого повинен бути не менше 15 м<sup>3</sup>, а площа - не менше 4,5 м<sup>2</sup>, виключаючи площу, яка зайнята обладнанням та



проходами.

Підлога в приміщенні повинна виконуватись з негорючих матеріалів та задовольняти гігієнічним, технологічним і експлуатаційним вимогам кожного конкретного виробництва у відповідності з вимогами [19].

#### 5.5.2. Електробезпека

Однією із важливих умов безпеки обладнання є електробезпека - система організаційних та технічних засобів, які забезпечують захист людини від електричного струму. Приміщення відносяться до вологих, в яких пари вологи виділяються короткочасно в невеликій кількості і відносна вологість повітря перевищує 75%. Для подолання небезпеки ураження людини електричним струмом використовують занулення

### 5.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях

#### 5.6.1 Дія іонізуючих випромінювань на людей

Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності людини.

Згідно з одними поглядами, іонізація атомів і молекул, що виникає під дією випромінювання, веде до розірвання зв'язків у білкових молекулах, що призводить до загибелі клітин і поразки всього організму. Згідно з іншими уявленнями, у формуванні біологічних наслідків іонізуючих випромінювань відіграють роль продукти радіолізу води, яка, як відомо, становить до 70% маси організму людини. При іонізації води утворюються вільні радикали  $H^+$  та  $OH^-$ , а в присутності кисню — пероксидні сполуки, що є сильними окислювачами. Останні вступають у хімічну взаємодію з молекулами білків та ферментів,

руйнуючи їх, в результаті чого утворюються сполуки, не властиві живому організму. Це призводить до порушення обмінних процесів, пригніблення ферментних і окремих функціональних систем, тобто порушення життєдіяльності всього організму.

Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини можна уявити в дуже спрощеному вигляді таким чином. Припустімо, що в організмі людини відбувається нормальний процес травлення, їжа, що надходить, розкладається на більш прості сполуки, які потім надходять через мембрану усередину кожної клітини і будуть використані як будівельний матеріал для відтворення собі подібних, для відшкодування енергетичних витрат на транспортування речовин і їхню переробку. Під час потрапляння випромінювання на мембрану відразу ж порушуються молекулярні зв'язки, атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні (токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлюються, і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінувати; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; робота органів розладнується; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

### 5.6.2 Розрахунок режимів радіаційного захисту

Під режимом роботи на виробництві в умовах радіоактивного забруднення розуміють порядок і умови роботи, переміщення і відпочинку персоналу з використанням засобів захисту, що зменшує ураження людей і скорочує вимушену зупинку виробництва.

Визначимо можливу дозу опромінення в заданих умовах радіаційного забруднення, які будуть працювати у звичайному режимі (2 зміни по 12 год.)

$$D_m = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \left( \sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3} \right)}{K_{\text{noc}}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot \left( \sqrt[4]{13^3} - 1 \right)}{12} = 1,29 \text{ мР} \quad (5.2)$$

де  $t_n=1$  год. – час початку роботи після радіоактивного забруднення;

$t_k=1+12=13$  год. – час завершення роботи першої робочої зміни після радіоактивного забруднення;

$p_{1\max}=2$  мР/год. – рівень радіації через одну годину після радіоактивного забруднення;

$K_{\text{noc}}=12$  – коефіцієнт послаблення радіації виробничим приміщенням.

Визначимо граничне значення рівня радіації, при якому можлива робота в звичайному режимі

$$p_{\text{ep}} = \frac{D_{\text{дон}} \cdot K_{\text{noc}}}{1,33 \cdot \left( \sqrt[4]{t_k^3} - \sqrt[4]{t_n^3} \right)} = \frac{0,75 \cdot 12}{1,33 \cdot \left( \sqrt[4]{13^3} - \sqrt[4]{1^3} \right)} = 1,15 \text{ мР / год} \quad (5.3)$$

Оскільки можлива доза опромінення  $D_m > D_{\text{дон}}$  ( $1,29 > 0,75$ ) та рівень радіоактивного забруднення  $p_{1\max} > p_{\text{гр}}$  ( $2 > 1,15$ ) перевищують допустимі норми, робота операторів верстатного обладнання, а отже і цеху в цілому в режимі 2 зміни по 12 год. неможлива. Для продовження виробничої діяльності об'єкта необхідно введення в дію режимів радіаційного захисту.

Розрахунок режимів радіаційного захисту проведемо в такій послідовності.

Для кожної зміни визначимо час початку робочої зміни ( $t_n$ ), час кінця робочої зміни ( $t_k$ ), тривалість роботи зміни ( $t_p$ ) та можливу дозу опромінення ( $D_m$ ).

Визначаємо час початку роботи першої зміни, для цього знаходимо коефіцієнт  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{D_{дон} \cdot K_{нос}}{1,33 \cdot p_{1\max}} = \frac{0,75 \cdot 12}{1,33 \cdot 2} = 3,38. \quad (5.4)$$

Згідно довідникових даних час початку роботи першої скороченої зміни  $t_{п1}=1$  год.

Для 1-ї скороченої зміни:  $t_{п1} = 1$  год.

Час закінчення роботи зміни

$$t_{к1} = \left( \frac{D_{дон} \cdot K_{нос} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п1}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{1^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 7,1 \approx 7 \text{ год} \quad (5.5)$$

Тривалість роботи зміни  $t_{р1} = t_{к1} - t_{п1} = 7 - 1 = 6$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.5))

$$D_{м1} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к1}^3} - \sqrt[4]{t_{п1}^3})}{K_{носл}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot (\sqrt[4]{7^3} - \sqrt[4]{1^3})}{12} = 0,746 \text{ мР}$$

Для 2-ї зміни:  $t_{п2} = t_{п1} + t_{р1} = 1 + 6 = 7$  год.

Час закінчення роботи зміни (аналогічно (5.5))

$$t_{к2} = \left( \frac{D_{дон} \cdot K_{нос} + 1,33 \cdot p_{1\max} \cdot \sqrt[4]{t_{п2}^3}}{1,33 \cdot p_{1\max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{7^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 15,06 \approx 15 \text{ год} \quad (5.6)$$

Тривалість роботи зміни  $t_{р2} = t_{к2} - t_{п2} = 15 - 7 = 8$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.6))

$$D_{м2} = \frac{1,33 \cdot p_{1\max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к2}^3} - \sqrt[4]{t_{п2}^3})}{K_{носл}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot (\sqrt[4]{15^3} - \sqrt[4]{7^3})}{12} = 0,75 \text{ мР}$$

Для 3-ї зміни:  $t_{п3} = t_{п2} + t_{р2} = 7 + 8 = 15$  год.

Час закінчення роботи зміни (аналогічно (5.6))

$$t_{к3} = \left( \frac{\mu_{дон} \cdot K_{нос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п3}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{15^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 24,3 \approx 24 \text{ год}$$

(5.7)

Тривалість роботи зміни  $t_{р3} = t_{к3} - t_{п3} = 24 - 15 = 9$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.6))

$$D_{м3} = \frac{1,33 \cdot p_{1max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к3}^3} - \sqrt[4]{t_{п3}^3})}{K_{посл}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot (\sqrt[4]{24^3} - \sqrt[4]{15^3})}{12} = 0,74 \text{ мР}$$

Для 4-ї зміни:  $t_{п4} = t_{п3} + t_{р3} = 15 + 9 = 24$  год.

Час закінчення роботи зміни (аналогічно (5.6))

$$t_{к4} = \left( \frac{\mu_{дон} \cdot K_{нос} + 1,33 \cdot p_{1max} \cdot \sqrt[4]{t_{п4}^3}}{1,33 \cdot p_{1max}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{24^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 34,16 \approx 34 \text{ год}$$

Тривалість роботи зміни  $t_{р4} = t_{к4} - t_{п4} = 34 - 24 = 10$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.6))

$$D_{м4} = \frac{1,33 \cdot p_{1max} \cdot (\sqrt[4]{t_{к4}^3} - \sqrt[4]{t_{п4}^3})}{K_{посл}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot (\sqrt[4]{34^3} - \sqrt[4]{24^3})}{12} = 0,748 \text{ мР}$$

Для 5-ї зміни:  $t_{п5} = t_{п4} + t_{р4} = 24 + 10 = 34$  год.

Час закінчення роботи зміни (аналогічно (5.6))

$$t_{k5} = \left( \frac{D_{\text{дон}} \cdot K_{\text{noc}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{n5}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{34^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 45,37 \approx 45 \text{ год}$$

Тривалість роботи зміни  $t_{p5} = t_{k5} - t_{n5} = 45 - 34 = 11$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.6))

$$D_{m5} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \left( \sqrt[4]{t_{k5}^3} - \sqrt[4]{t_{n5}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot \left( \sqrt[4]{45^3} - \sqrt[4]{34^3} \right)}{12} = 0,7494 \text{ мР}$$

Для 6-ї зміни:  $t_{n6} = t_{n5} + t_{p5} = 34 + 11 = 45$  год.

Час закінчення роботи зміни (аналогічно (5.6))

$$t_{k6} = \left( \frac{D_{\text{дон}} \cdot K_{\text{noc}} + 1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \sqrt[4]{t_{n6}^3}}{1,33 \cdot p_{1\text{max}}} \right)^{\frac{4}{3}} = \left( \frac{0,75 \cdot 12 + 1,33 \cdot 2 \cdot \sqrt[4]{45^3}}{1,33 \cdot 2} \right)^{\frac{4}{3}} = 56,87 \approx 57 \text{ год}$$

Тривалість роботи зміни  $t_{p6} = t_{k6} - t_{n6} = 57 - 45 = 12$  год.

Можлива доза опромінення зміни (аналогічно (5.6))

$$D_{m6} = \frac{1,33 \cdot p_{1\text{max}} \cdot \left( \sqrt[4]{t_{k6}^3} - \sqrt[4]{t_{n6}^3} \right)}{K_{\text{посл}}} = \frac{1,33 \cdot 2 \cdot \left( \sqrt[4]{57^3} - \sqrt[4]{45^3} \right)}{12} = 0,768 \text{ мР}$$

Згідно проведеного розрахунку режимів радіаційного захисту роботу в дві зміни на підприємстві в заданих умовах можна буде розпочинати через 34 год. після радіоактивного забруднення.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено технологічний процес відновлення, розподільчого вала двигуна внутрішнього згоряння.

Аналіз службового призначення вузла, та роботи деталі у вузлі показав, що вал працює в умовах знакозмінних навантажень. Основними дефектами є знос робочих поверхонь кулачків та місць встановлення опорних підшипників ковзання.

Для відновлення обрано та технічно обґрунтовано метод автоматичного наплавлення в середовищі вуглекислого газу на установці УД-209М стрічкою ПЛ-101.

Сформовано маршрут технологічного процесу відновлення деталі, розраховано кількість переходів на механічну обробку та проміжні припуски і технологічні розміри на механічну обробку.

Розраховано та призначено режими термічної та механічної обробки до та після нанесення покриття, обрано обладнання і джерела живлення, і проведено необхідні розрахунки, що забезпечують високу продуктивність відновлення, та в свою чергу зменшує трудомісткість та витрату часу.

В якості наукової роботи для відновлення чавунного розподільчого вала двигуна внутрішнього згоряння було обрано наплавлення в середовищі інертного газу дротом ОК Tigrot 19.85 (ER NiCr – 3) діаметром 2 мм.

Проведеними дослідженнями було визначено, що нанесений шар не має пор та включень, що можуть виникати при наплавленні та зварюванні чавунів. Однак він не піддається травленню, що свідчить про наявність в ньому великої кількості легуючих елементів, та антикорозійних властивостей.

В процесі робіт було виявлено, що наплавочні прутки ОК Tigrot 19.85 (ER NiCr – 3) дають гарну якість покриття навіть без підготовки поверхні до зварювання та попереднього підігрівання деталі. Тому такий метод можна використовувати як для наплавлення так і для виправлення дефектів після відновлення.

В роботі також розроблено заходи щодо забезпечення умов охорони праці на ремонтному виробництві. Згідно індивідуального завдання розроблено конструкцію та рекомендації щодо застосування місцевого щілинного пилегазовловлювача, який вловлює пил і гази, що виділяються в процесі ремонту.

Практика показує, що відновлення зношених деталей машин та механізмів шляхом відновлення дозволяє не тільки підвищити термін служби машин та апаратів, але і істотно зменшити трудомісткість ремонту, таї зменшити витрати на ремонт.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Манохин А.С. Неровности поверхности, обработанымкосоугольным инструментом, оснащеним ПСТМ на основе КНБ / А.С. Манохин, Н.Е. Стахнив, С.А. Клименко. // Сверхтвердые материалы, 2009, №2. – С. 61-70
2. Стахнив Н.Е. Динамические явления при чистовом точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ / [Н.Е. Стахнив, Л.И. Девин, И.А. Петруша, А.С. Осипов]. // Сверхтвердые материалы, 2009, №3 – С. 75-83.
3. Кондратьев Е.Т. Восстановление наплавкой деталей сельскохозяйственных машин/Е.Т. Кондратьев, В.Е. Кондратьев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 95 с.
4. Косте Ж. Механика грунтов / Пер. с франц./ Ж. Косте, Г. Санглера.- М.: Стройиздат, 1989.-455 с.
5. Костецкий Б. И. Классификация видов поверхностного разрушения и общая закономерность трения и изнашивания/ Б.И. Костецкий// Вестник машиностроения, 1984, №11, с. 10-13.
6. Костецкий Б. И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М. Э. Натансон, Л. И. Бершадский. — М.: "Наука", 1972 - 170 с.
7. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении/ Б.И. Костецкий //Трение и износ, 1985. – Т. VI. – №2. С.201-212.
8. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.
9. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа/Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1981. – 31 с.
10. Костецкий Б.И. Динамическое равновесие процессов при трении и износе металлов/ Б.И. Костецкий, Л.И. Бершадский // ДАН СССР, 1970. – Т.190. – №6. – С.30-38

11. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
12. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ/ И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. — М.: "Машиностроение", 1977. — 526 с
13. Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии / А.П. Семенов, И.Б.Ковш, И.М. Петрова и др. – М.: Наука, 1992. – 404 с.
- 14.Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х т. Изд. 5-е перероб. и доп./ В.И. Анурьев – М.: Машиностроение 1979г.
- 15.Алексеев Е.К. Сварка в промышленном строительстве. Учебн. пособие для техникумов. Изд. 4-е перероб. и доп./ Е.К. Алексеев, В.И. Мельник – М.: Стройиздат, 1977г.
16. Горбачевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроение [Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов]. Изд. 4-е перероб. и доп./ А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкрет – М.: Высш. Школа, 1983г.
17. Данілевський В.В. Технологія машинобудування – М.
- 18.Косілова А.Т. Довідник техніка – машинобудівника. / А.Т. Косілова, Р.К. Мещеряков – М. Машинобудування, 1985 р. 1,2 том
- 19.Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни
20. «Наплавлення і напилювання» студентами напряму підготовки 6.050504 – Зварювання /Уклад. О.П. Шиліна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 34 с.
21. Мірошник В.О. Ремонт меліоративних, будівельних машин. Практикум.: навч. посібник/ За ред. В.О.Мірошника – К.: Вища школа, 1995р.
22. Молодык Н.В. Восстановление деталей машин. Справочник./ Н.В. Молодык, А.С. Зенкин – М.: Машстрой, 1989г.
23. Малов Р.В., Екаров В.И. и др. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1982.

24.Токаренко В.М. Технологія автодорожнього машинобудування і ремонту машин.: курсове проектування. Навч. посібник. К.: Вища школа, 1982р.

25.Шиліна О.П. Газотермічна обробка матеріалів. Навчальний посібник. / О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВДТУ, 2004. 72 с.

26.Шиліна О.П. Вакуумно – конденсаційне напилювання покритть. Навчальний посібник./ О.П. Шиліна, В.І. Савуляк, А.Ю. Осадчук/ ВНТУ, 2006. 96с.

27. Савуляк В.І., Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. - Вінниця: ВНТУ, 2004. - 104 с.

28. Савуляк В.І., Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. - Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.

29.Савуляк В.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь» для студентів за напрямком 050504- Зварювання, спеціальності 7.050504 - Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій. / В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд.- Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009. - 186 с.

# ВНТУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Додатки

ВНТУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО





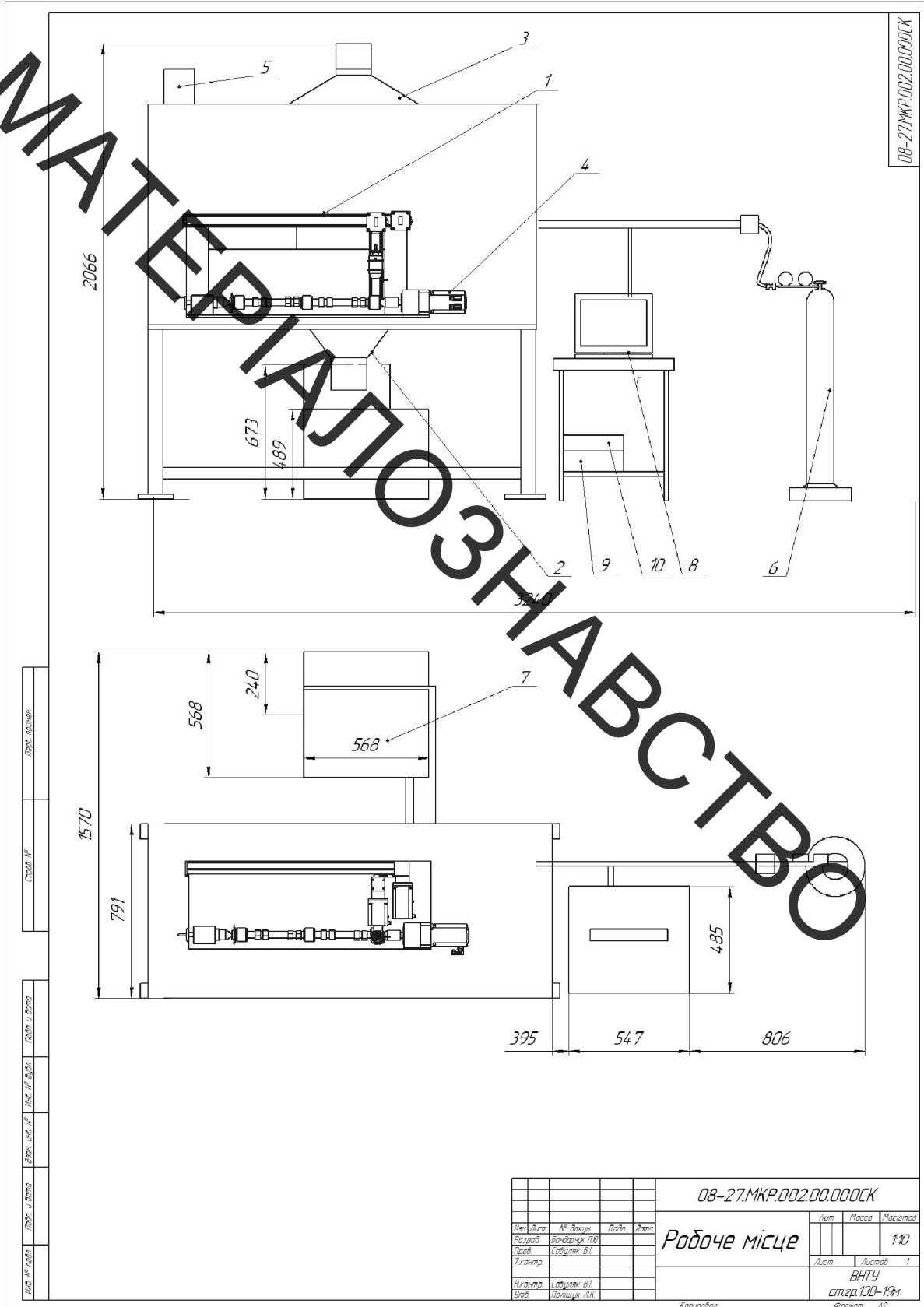
№	Найменування операцій та технологічних переділів	Схема закріплення	Обладнання
005	Мийна		Роторна мийна машина ОМ-154.29
010	Дефектувальна Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити		1 Контрольний стіл 2 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89 3 Мікрометр МК-50 ГОСТ 4.381-87
015	Термічна Високий нагрів до 600°C 2 години		1 Піч СТЗ-6.354/7
020	Токарна 1 Встановити та зняти деталь 2 Проточити поверхню 1 до $\phi 59,5$ 3 Проточити поверхню 2 до розміру зазначеного на ескізі		1 Токарно-копірувальний верстат 1716Ц
025	Наплавлювальна 1 Встановити та зняти деталь 2 Наплавити поверхні 2 до розміру вказаного ескізі 3 Наплавити поверхні 1 до $\phi 64$		1 Наплавлювально-копірувальна установка УД-209М



030	<p>Термічна 1 Відпуск для зняття напружень після наплавки при температурі 200°C</p>		1 Піч СТЗ-6.35.4/7
035	<p>Токарна 1 Встановити та зняти деталь 2 Проточити поверхню 1 до розміру <math>\phi 61,5</math> 3 Проточити поверхню 2 до розміру вказаного на ескізі</p>		1 Токарно-копірувальний верстат 1716Ц
040	<p>Шліфувальна 1 Встановити та зняти деталь 2 Шліфувати поверхню 1 до розміру <math>\phi 61_{-0,010}^{-0,029}</math> 3 Шліфувати поверхню 2 до розміру вказаного на ескізі</p>		1 Круглошліфувальний верстат 3А4.33
045	<p>Контрольна 1 Установити деталь 2 Контролювати розмір 1 <math>\phi 61_{-0,010}^{-0,029}</math> 3 Контролювати розмір 2 вказаний на ескізі</p>		1 Контрольний стіл 2 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89 3 Мікрометр МК-50 ГОСТ 4381-87

Технологічний процес відновлення розподільчого вала

ВНТУ, МАТЕРІАЛЛОЗНАВСТВО



08-27.МКР.002.00.000СК

Лист № 001	Лист № 002	Лист № 003	Лист № 004	Лист № 005	Лист № 006	Лист № 007	Лист № 008	Лист № 009	Лист № 010
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

				08-27.МКР.002.00.000СК				
Имя	Дист	№ докум	Лист	Дата	Лист	Масса		
Розроб		Борисюк Т.В.			110			
Проб		Собулук В.І.						
Технік								
Інженер		Собулук В.І.						
Змін		Поліщук Л.К.						
Робоче місце						Лист	Листів	Т
						ВНТУ		
						стор. 13В-19М		
Калькуляція						Формат А2		

