

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

**Пояснювальна записка**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ  
ПОВЕРХОНЬ ВАЛУ ЧЕР'ЯЧНОГО КОЛЕСА

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

(шифр і назва спеціальності)

Морозюк Владислав Юрієвич  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Шиліна Олена Павлівна  
(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**

Морозюку Владиславу Юрієвичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення довговічності відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса

керівник роботи Шиліна Олена Павлівна, к.т.н., доцент, 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 валу черв'ячного колеса

Допустимі параметри зносу. Режим роботи – довготривалий;

Річна програма відновлення деталей N=1000 шт.;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Сучасний стан наукової проблеми і шляхи її вирішення; Розділ 2. Дослідження направлені на підвищення якості відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса; Розділ 3. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення валу черв'ячного колеса; 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; 5. Робоче місце.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Шиліна О.П., к.т.н., доц., кафедри ГМ	1.10.2020р.	3.12.2020р.
Економіка виробництва	Бальзан М.В., к.е.н., доц., кафедри ЕПВМ	1.10.2020р.	2.12.2020р.
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Біштак І.В., доцент кафедри БЖД та ПБ	1.10.2020р.	2.12.2020р.

7. Дата видачі завдання « 23 » 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)

Морозюк В.Ю.

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Шиліна О.П.

## РЕФЕРАТ

Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена питанню підвищення довговічності відновлення робочих поверхонь валу циліндричного редуктора шляхом автоматизації робочого процесу, використання, як новітніх розробок відновлювального обладнання та дослідження впливу режимних параметрів на якість відновлення робочих поверхонь.

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків та додатків. Загальний обсяг роботи 91 стор., у тому числі 32 рис., 36 табл., 35 літературних джерел.

**Предмет дослідження** – фактори, що впливають на припуск механічної обробки при наплавленні.

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

1. Суть наукової проблеми та шляхи її вирішення;
2. Дослідження направлені на підвищення якості відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса;
3. Розробка та обґрунтування параметрів технологічного процесу відновлення валу черв'ячного колеса;
4. Розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення;
5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування припуску на механічну обробку при наплавленні.

**Головною метою** кваліфікаційної роботи є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь валу редуктора на основі досліджень впливу параметрів режимів відновлення на величину припуску механічної обробки.

## ABSTRACT

This master's thesis is devoted to increasing the durability of restoration of working surfaces of the shaft of a cylindrical gearbox by automating the work process, use as the latest developments of recovery equipment and study the impact of regime parameters on the quality of restoration of working surfaces.

The master's qualification work consists of an introduction, 5 sections, general conclusions and appendices. The total volume of work is 91 pages, including 32 figures, 36 tables, 35 literature sources.

**The subject of the study** - the factors influencing the allowance of machining during surfacing.

The work consists of five sections:

1. The essence of the scientific problem and ways to solve it;
2. Research is aimed at improving the quality of restoration of the working surfaces of the surfaces of the shaft of the worm wheel;
- 3 Development and substantiation of parameters of technological process of restoration of a shaft of a worm wheel;
4. Calculation of economic efficiency of the innovative decision;
5. Occupational health and safety in emergencies.

**The object of research** - the processes of formation of the allowance for machining during filling.

**The main purpose** of the qualification work is to develop an effective technology for restoring the working surfaces of the gearbox shaft based on studies of the influence of the parameters of the recovery modes on the value of the allowance of machining.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СУТЬ НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВИРШЕННЯ.	10
1.1 Сучасні принципи експлуатації і ремонту деталей типу вал.....	10
1.2 Дефектування валу черв'ячного колеса з використанням багатofакторного експерименту.....	11
1.3 Висновки. Мостановка мети і наукових завдань досліджень .....	16
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОВЕРХОНЬ ВАЛУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА .....	17
2.1 Матеріали та методика проведення досліджень.....	17
2.2 Експериментальні дослідження мікроструктури металу деталі після наплавлення.....	18
2.3 Вплив елементів режиму наплавлення на величину припуску на механічну обробку .....	20
2.4 Проектування напилювального пристрою та комп'ютерний аналіз його міцності.....	28
2.5 Дослідження конструкцій розпилюючого пристрою на міцність за допомогою кінцево-елементного аналізу.....	31
2.6 Висновки до 2-го розділу.....	34
3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА.....	36
3.1 Аналіз службового призначення вузла , деталі. Вимоги до деталі, що відновлюється та її поверхонь.....	36
3.2 Аналіз конструкції вала.....	37
3.3 Матеріал деталі та його властивості.....	39
3.4 Конструкторсько-технологічні характеристики деталі.....	41
3.5 Визначення характеру зносу деталі та основні дефекти валу черв'ячного редуктора.....	43
3.6 Створення технологічного процесу відновлення поверхонь валу...	46
3.7 Розробка технологічного процесу відновлення валу черв'ячного колеса.....	47
3.8 Визначення режимів механічної обробки.....	51
3.9 Нормування технологічного процесу.....	52
3.10 Сворення конструктивної схеми верстата та її опис.....	53

3.11 Розрахунок масоцентровочних характеристик (мцх) деталі та пристрою її закріплення.....	53
3.12 Розрахунок маси розпилювального пристрою.....	55
3.13 Розрахунок та вибір виконавчих механізмів установки для автоматизованого відновлення деталей.....	56
3.14 Висновки до розділу 3.....	60
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
4.1 Аналіз комерційного потенціалу розробки.....	61
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи...	63
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	71
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.....	72
4.5 Висновки до розділу.....	75
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	77
5.1 Аналіз умов праці.....	77
5.2 Організаційно-технічне рішення щодо забезпечення безпечної роботи.....	82
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89
ДОДАТКИ.....	92
ДОДАТОК А – Технічне завдання.....	93
ДОДАТОК Б – Мршрутні карти.....	99
ДОДАТОК В– Креслення.....	109

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** В наш час великим кроком розвивається техніка, починаючи від побутових приладів до великогабаритних конструкцій в багатьох галузях виробництва. Якщо розглядати умови експлуатації металевих конструкцій в складі механізмів то ми бачимо, що з підвищенням робочих швидкостей, тиску, температур, агресивності середовищ, посилюванням умов, характерних для роботи сучасного виробництва, збільшується й інтенсивність зношування, корозії й інших видів пошкодження поверхні металу деталей і механізмів, що контактують з оброблюваними матеріалами і зношуючими середовищами.

У даній магістерській роботі розглядається технологія підвищення довговічності робочих поверхонь валу, за рахунок використання технічно обґрунтованих та аналітично розрахованих режимів відновлення.

Оптимізація процесів відновлення робочих поверхонь деталей в наш час є актуальною проблемою. Пояснюється це відносно великою економічною ефективністю відновлення зношеної деталі порівняно із виготовленням нової. Існуванням пакетів прикладних програм за якими можна моделювати дію тих або інших параметрів технологічного процесу, досліджувати розподіл температурних полів при відновленні.

**Метою роботи** є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса на основі досліджень впливу параметрів режимів відновлення на величину припуску механічної обробки.

### **Задачі дослідження:**

1. Дослідити на базі математичної моделі вплив матеріалу вала, швидкості обертання вала та стану поверхонь на зносостійкість покриттів .
2. Дослідити вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску із застосуванням планування експерименту.
3. Експериментально дослідити мікроструктуру наплавленого металу в перехідній зоні.
4. Провести удосконалення електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, що дозволить підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.
5. Дослідити конструкцію модернізованого розпилювального пристрою на міцність кінцево-елементним аналізом з метою зменшення маси та розмірів.



**Об'єкт дослідження** – процеси формування припуску на механічну обробку при наплавленні.

**Предмет дослідження** – фактори, що впливають на припуск механічної обробки при наплавленні.

**Методи дослідження.**

Експериментальні дослідження виконані на вимірювальних і моделюючих установках у лабораторних умовах кафедри ГМ. Мікроструктурні дослідження проведені за допомогою мікроскопа МІМ-8 з камерою для фотографування та подальшого їх аналізу для визначення глибини, товщини та оцінки параметрів структури утвореного покриття; цитометричні дослідження для визначення твердості. Математичне оброблення результатів дослідження виконувалось з використанням існуючого прикладного програмного забезпечення.

**Наукова новизна.** При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи отримані результати, які мають наукову новизну, а саме:

1. Досліджено вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску механічної обробки методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану.

2. На основі діагностичного математичного апарату отриманої моделі зносостійкості покриттів показано, що такі фактори як: матеріал валу; швидкість обертання валу; стан поверхонь валу зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів.

3. Подальший розвиток отримало дослідження на міцність кінцево-елементним аналізом конструкції розпилювального пристрою з метою зменшення маси та розмірів.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у:

1. Удосконаленні електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, з метою підвищення довговічності, продуктивності пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.

2. Експериментальному дослідженні мікроструктури наплавленого металу в перехідній зоні

3. Розробці технологічного процесу відновлення з використанням плазмового напилювання, що забезпечує довговічність експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.

4. Проведені автором дослідження та розроблені рекомендації дозволили розробити устаткування з числовим програмним керуванням, яке може бути

використане при модернізаціях інших підприємств по відновленню зношених робочих поверхонь деталей

**Особистий внесок здобувача.** В даній роботі використано результати досліджень, які опержано автором самостійно. Мета і задачі роботи, обговорення результатів досліджень виконані спільно з керівником.

#### **Апробація результатів наукової роботи.**

Основні положення та результати наукової роботи доповідалися й обговорювалися на XLIX Науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту 2020 року та Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2021)».

#### **Публікації**

1. Морозюк В.Ю. Дослідження мікроструктури металу деталі «вал» після наплавлення. [Електронний ресурс] / Морозюк В.Ю., Шиліна О. П. // Матеріали тез доповідей КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, XLIX Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2020)

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9130/7953>

2. Морозюк В.Ю. Вплив елементів режиму наплавлення на величину припуску механічної обробки. [Електронний ресурс] / Морозюк В.Ю., Шиліна О. П. // Матеріали тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2021)»

## 1 СУТЬ НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВИРШЕННЯ

### 1.3 Сучасні принципи експлуатації і ремонту деталей типу вал

Оцінка стану деталей (дефектація), проектування технологічного процесу (ТП) відновлення, безпосереднє відновлення деталей [1, 17] є окремо функціонуючою системою при відновленні деталей. Більшість деталей машин та механізмів ремонтпридатна та підлягають відновленню.

Найчастіше відновлюється не всі поверхні валу, а лише окремі поверхні або його елементи. Види відновлення валів слід класифікувати відповідно до видів дефектів і їх наслідків.

Для усунувних дефектів можна виділити наступні види відновлення:

- розмірів деталей – різними способами покриттів і поверхнево-пластичною деформацією;
- геометричних форм деталей – способом механічної обробки або правки;
- фізико-механічних властивостей деталей – нанесенням покриттів, механічною і термічною обробкою;
- структури матеріалу деталей – способами термічної і хіміко-термічної обробки;
- маси і урівноваженості деталей – балансуванням, механічною обробкою;
- якості поверхні деталей – механічною обробкою, очищенням, нанесенням захисних покриттів;
- міцності деталей – способами зварювання і термообробки;
- жорсткості – за допомогою термообробки, нанесення покриттів і зварювання.

На рис.1.1 приведено розподіл зносу поверхонь деталей типу вал.

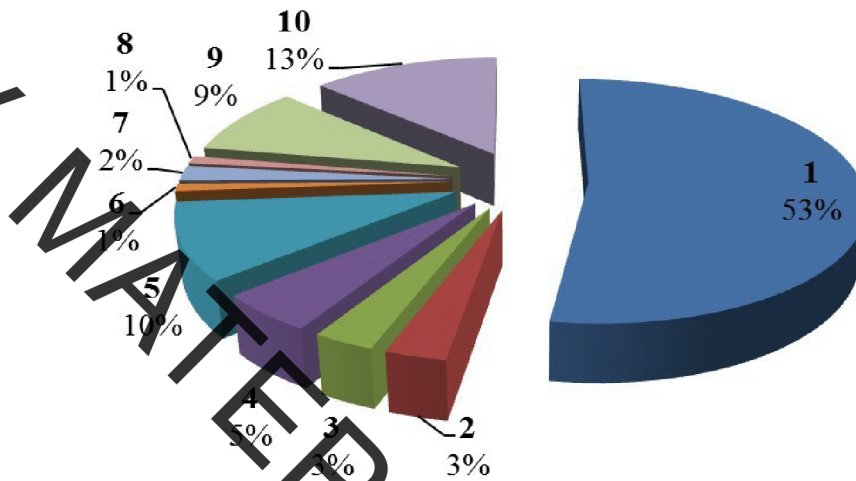


Рисунок 1.1 – Розподіл поверхонь деталей редуктора по видах зносу:  
 1 – циліндричні; 2– конічні і сферичні; 3 – шківні; 4 – пази, канавки;  
 5– різьблення; 6– плоскі поверхні; 7 – зуби шестерень;  
 8 – профільні, фасонні поверхні; 9 – тріщини і злами;  
 10 – порушення геометричної форми

Ремонт валів, що експлуатуються в промислових машинах України, дозволяє підвищити їх ресурс та включає комплекс операцій по відновленню їх працездатності (справність), яка характеризується структурними (фізико-механічні властивості матеріалів деталей і їх знос) і діагностичними (температура, вібрації, тиск та ін.) параметрами технічного стану [18].

## 1.2 Дефектування валу чер'ячного колеса з використанням багатофакторного експерименту

Діагностичний математичний апарат, який оцінює стан валу чер'ячного колеса, досить складний і базується на методах аналізу процесів зношування.

Спостереження за зносом і пошкодженнями деталей машин при експлуатації показує, що найбільш проблемні місця це шийки під підшипник, шпонкові та зубчасті спряження. Зношування виникає на тих ділянках поверхні вала, де реалізується силова взаємодія між валом і підшипником. При зміщенні підшипника відносно вала на величину середнього діаметра плями контакту існуючі фрикційні зв'язки порушуються і виникають нові в тій же кількості, але в іншій точці поверхні вала, яка належить фрикційному зв'язку і реалізується

повний цикл навантаження [13, 17, 28]. Такі поверхні швидко зношуються, оскільки вони є робочими поверхнями валу.

Найбільш поширеним пошкодженням цих поверхонь є абразивне зношування, яке виникає в результаті потрапляння частинок пилу або спрацювання робочих поверхонь валу. Тому потрібно слідкувати за роботою механізму та кожної деталі [20].

Припускалось на основі літературних даних [8, 19], що всі ці параметри, як фактори експерименту дослідження зносостійкості, відповідають умовам їх керованості, незалежності і сумісності один до одного. Керованість факторів розглядали як можливість передавати їм довільний рівень в області визначення і фіксувати сталим протягом всього дослідження, незалежність – як відсутність між ними кореляційного зв'язку, а сумісність – як можливість зафіксувати кожен з них на будь-якому рівні незалежно від значень рівнів інших факторів [21].

Проведення повного багатофакторного експерименту сплановане в інтервалі допустимих значень трьох факторів:

- матеріал валу;
- швидкість обертання валу;
- стан поверхонь валу.

Обрано методику розробки математичної моделі зносостійкості покриттів, яка дозволяє представити його у вигляді поліному першої степені

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1.1)$$

Обрані фактори позначені через  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ . Для спрощення розрахунків було введено кодовані змінні. Рівні факторів, експерименту та інтервали зміни в натуральних і в кодованих значеннях наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рівні факторів експерименту та інтервали зміни в натуральних і в кодованих значеннях

Рівні факторів	Найменування факторів та їх натуральні значення		
	Матеріал $X_1$	Швидкість обертання $X_2$	Стан поверхні $X_3$
Основний рівень (0)	206	0.175	1,6
Інтервал варіювання (I)	94	0.15	0,4
Верхній рівень (+1)	300	0.25	2
Нижній рівень (-1)	118	0.1	0,8

Складена матриця планування та результати експерименту на зносостійкість.

Для забезпечення необхідної точності експерименту проводилось незалежні досліді в незмінних режимах. Однорідність дисперсії паралельних дослідів оцінювалась за такою методикою.

Середнє арифметичне значення параметра оптимізації для кожної стрічки матриці визначалось за формулою

$$\bar{y}_j = \sum_u \frac{y_{ju}}{r}, \quad (1.2)$$

де  $r$  – число паралельних дослідів;

$u$  – номер паралельного досліді;

$y_{ju}$  – значення функції відгуку в  $u$ -тому паралельному досліді  $j$ -го рядка матриці.

Для оцінки відхилень її від середнього значення обчислювалась дисперсія паралельних дослідів

$$S_j^2 = \sum_{u=1}^r \frac{(y_{ju} - \bar{y}_j)^2}{(r-1)}. \quad (1.3)$$

Однорідність дисперсії паралельних дослідів перевірялась за критерієм Кохрена, що являє собою відношення максимальної дисперсії, до суми всіх дисперсій.

Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, якщо розрахункові значення критерію не перевищують табличного G- критерію Кохрена ( $\alpha=0.05$ ).

Рівень значущості всіх розглянутих критеріїв приймався  $\alpha=0,05$ . При цьому вірогідність  $P$  вірного дослідів складає 95%.

Для проведення розрахунків було складено програму на мові Паскаль для персонального IBM-сумісного комп'ютера. Дані представлено результати роботи програми.

За результатами проведених досліджень отримано рівняння регресії:

$$Y = 0.63 - 0.028X_1 - 0.047 X_2 - 0.055 X_3 + 0.022 X_1 X_2 + 0.005 X_1 X_3 - 0.006 X_2 X_3 + 0.03 X_1 X_2 X_3 .$$

Перевірка статистичної значущості коефіцієнтів виконувалась за  $t$ -критерієм Стьюдента.

Після коректування рівняння регресії була отримана математична модель залежності зносостійкості покриття від параметрів його нанесення:

$$Y = 0.63 - 0.028X_1 - 0.047 X_2 - 0.055 X_3 + 0.022 X_1 X_2 + 0.03 X_1 X_2 X_3 .$$

Перевірка на адекватність проводилась за критерієм Фішера:

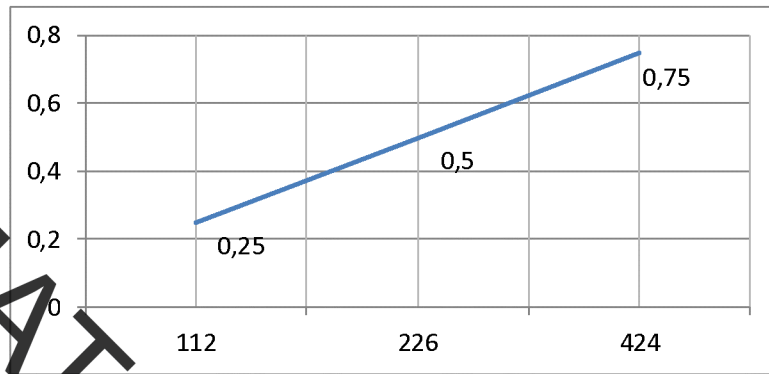


Рисунок 1.2 – Вплив швидкості обертання валу на величину зносу з мастилом: 1) 112 м/хв; 2) 226 м/хв; 3) 424 м/хв

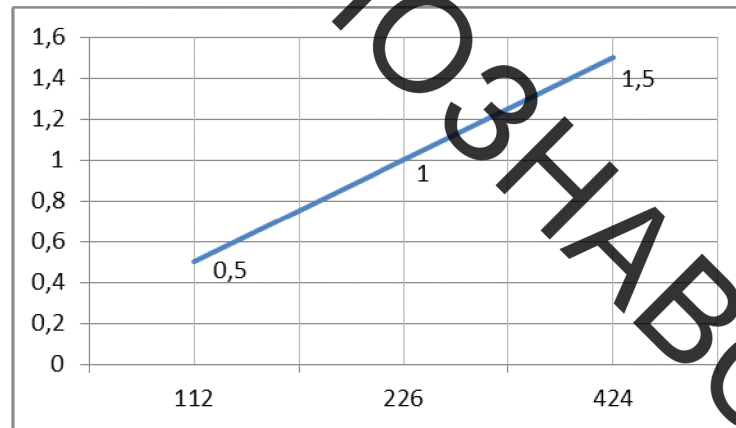


Рисунок 1.3 – Вплив швидкості обертання валу на величину зносу без мастила: 1) 112 м/хв; 2) 226 м/хв; 3) 424 м/хв

Оскільки виконується умова  $F_p < F_{табл}$ , то розроблена модель є адекватною.

Аналіз отриманої моделі показав, що всі обрані фактори, зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.



### 1.3 Висновки. Постановка мети і наукових завдань досліджень

Спостереження за зносом і пошкодженнями деталей машин при експлуатації показує, що найбільш проблемні місця це шийки під підшипник.

Діагностичний математичний апарат отриманої моделі показав, що такі фактори як: матеріал валу; швидкість обертання валу; стан поверхонь валу зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.

**Метою роботи** є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь валу редуктора на основі досліджень впливу параметрів режимів відновлення на величину припуску механічної обробки.

#### **Задачі дослідження:**

1. Дослідити на базі математичної моделі вплив матеріалу валу, швидкості обертання валу та стану поверхонь на зносостійкість покриттів .
2. Дослідити вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану.
3. Експериментально дослідити мікроструктуру наплавленого металу в перехідній зоні.
4. Провести удосконалення електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, що дозволить підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.
5. Дослідити конструкцію модернізованого розпилювального пристрою на міцність кінцево-елементним аналізом з метою зменшення маси та розмірів.
6. Розробити технологічний процес відновлення з використанням плазмового напилювання, який забезпечує відновлення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь.
7. Спроекувати устаткування з числовим програмним керуванням на базі вузлів фірми FTSTO;
8. Розробити робоче місце для реалізації технологічного процесу відновлення деталі.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛУ ЧЕР'ЯЧНОГО КОЛЕСА

### 2.1 Матеріали та методика проведення досліджень

Дослідження проводили на заготовках зі сталі сталь 40Х ГОСТ 1050-85.

Нанесення покриття на поверхню зразків здійснювалося електродуговим наплавленням електродом УОНИ 13/55 на постійному струмі зворотної полярності. Джерелом струму був випрямляч ВДУ-504 (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Випрямляч ВДУ-504

Металографічні дослідження структури наплавленого металу здійснювались на травлених шліфах із використанням мікроскопа МІМ-8 (рис. 2.2). Для фіксування зображення було використано спеціальну камеру, яка взаємодіяла з ноутбуком за допомогою спеціального програмного забезпечення.

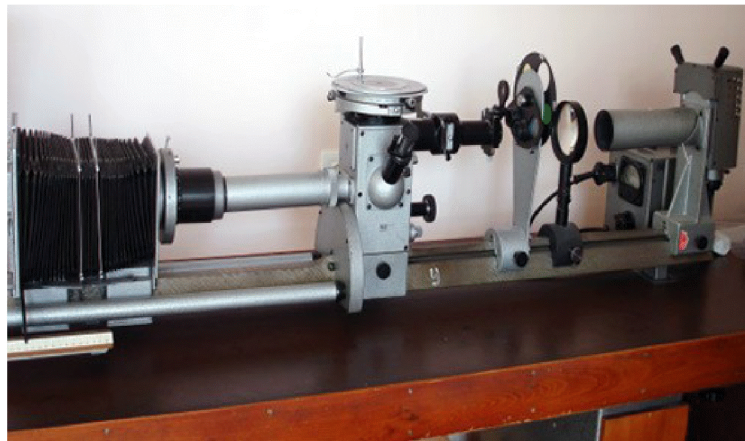


Рисунок 2.2 – Оптичний мікроскоп МІМ-8

## 2.2 Експериментальні дослідження мікроструктури металу деталі після наплавлення

Для зміцнення та відновлення робочих поверхонь масивних деталей, що працюють в умовах сухого тертя та абразивного зношування широко застосовують наплавлення під шаром флюсу. Недоліком цього методу відновлення є великий термічний вплив на матеріал деталей. Це призводить до виникнення значного градієнту температур між поверхневими та внутрішніми шарами деталей. В результаті товщина зносостійкої зони наплавленого шару зміцненої в результаті самовартування не перевищує 75 %.

Метою дослідження є експериментальне визначення мікроструктури наплавленого металу в зоні переходу до основного металу.

Досліджування мікроструктур виконували на інструментальному мікроскопі МИМ-8М. Макроаналіз зразків наплавленого металу показано на рис. 2.3.

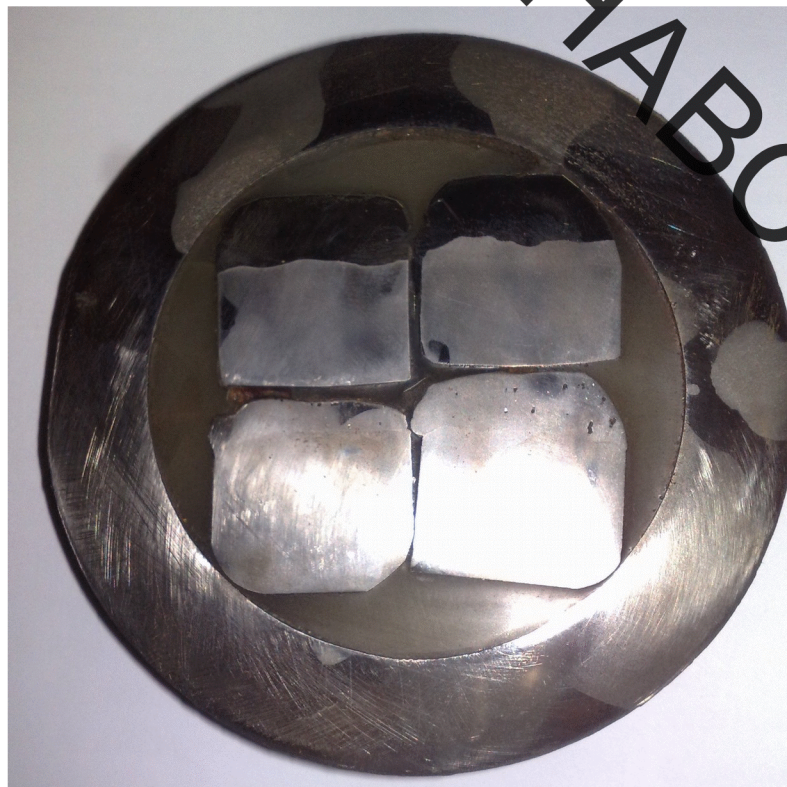


Рисунок 2.3 – Макрошліфи зразків наплавленого металу: 1 – наплавлення електродом УОНИ 13/55

Мікроструктурний аналіз зони основного металу показано на рис. 2.3. Виявлено зміну мікроструктури основного металу (сталь 40Х) в зоні термічного впливу при наплавленні електродом УОНИ.

Мікроструктура являє собою структуру доевтектоїдної сталі (50% фериту + 50% дисперсного перліту). Наплавлений шар, у порівнянні з вихідною структурою сплаву, показав помітне збільшення частки перліту.

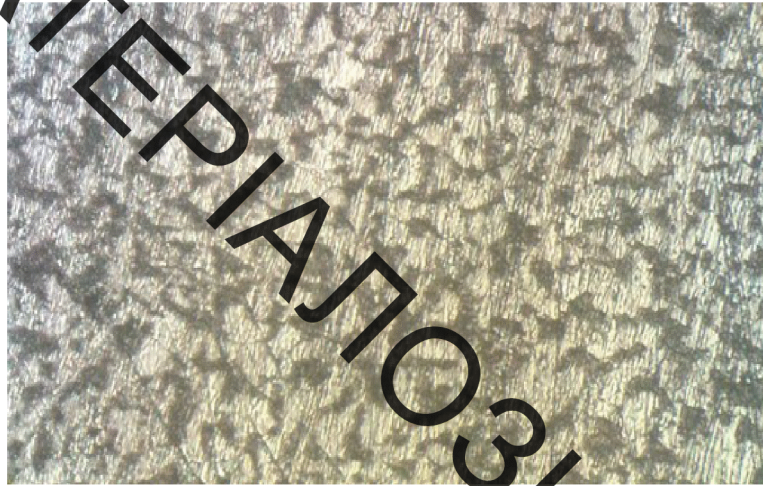


Рисунок 2.4 – Мікроструктура основного металу в зоні термічного впливу при наплавленні під шаром флюсу електродом УОНИ, x150

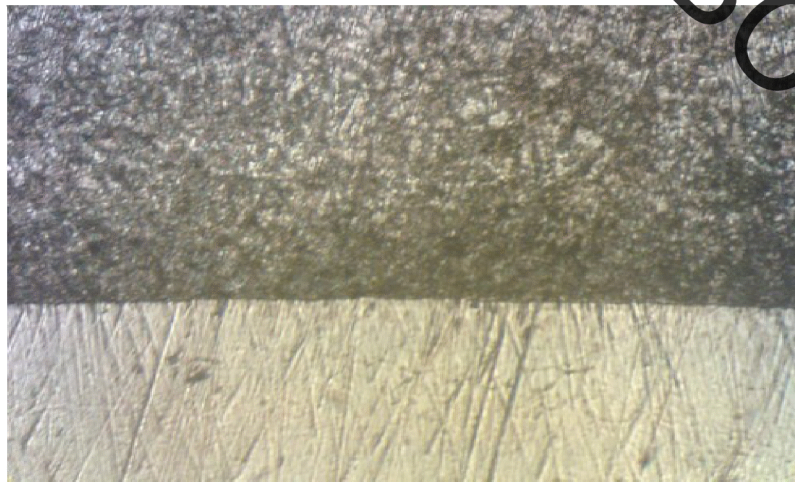


Рисунок 2.5 – Мікроструктура зони сплавлення шару металу, що утворилась після наплавлення під шаром флюсу електродом УОНИ: x 150.

Наплавлення виконували електродом марки УОНИ 13/55, які призначені для зварювання та наплавлення особливо відповідальних металоконструкцій, виконаних з низьколегованих і вуглецевих сталей, коли до шва пред'являються

підвищені вимоги пластичності та ударної в'язкості. Зварювальні електроди вітчизняної марки УОНИ 13/55 дозволяють утворювати якісні з'єднання в різних їх просторових розташуваннях на постійному струмі зворотної полярності.

Технічні характеристики:

Покриття УОНИ 13/55 - основне;

Коефіцієнт наплавлення -  $3,5 \text{ г} / \text{А} \cdot \text{год}$ ;

Витрата катодів на 1 кілограм наплавленого матеріалу становить 1,7 кілограма;

Продуктивність наплавлення при товщині електрода 4 міліметри –  $1,4 \text{ кг} / \text{год}$ .

Мікроструктурний аналіз показав, що утворився наплавлений шар (рис.2.4), який практично не піддається трітінню ніталем (10...12%  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті) [27]. Товщину зони переходу від покриття до основного металу неможливо виявити стандартним правником. Проте гранична лінія є тонкою та рівною, що свідчить про протікання дифузійних процесів, сповільнених спаданням градієнта температур при кристалізації наплавленого покриття.

При наплавленні вуглецевої сталі електродами можна отримати в'язку серцевину з наплавленими шарами високої якості та експлуатаційними властивостями.

### **2.3 Вплив елементів режиму наплавлення на величину припуску механічної обробки**

Утворений у процесі відновлення припуск – це шар металу, який необхідний для виконання всієї сукупності технологічних переходів під час відновлення даного елемента деталі.

Спотворення геометричних форм – еліптичність, овальність опуклість, угнутість тощо мають укладатися в поле допуску на розмір відновлюваного елемента деталі, який враховують під час встановлення припуску на обробку.

На рисунку 2.6 показана схема розрізу відновлюваної деталі, де  $a$  – висота наплавленого шару,  $z$ - припуск на мінімальну обробку.

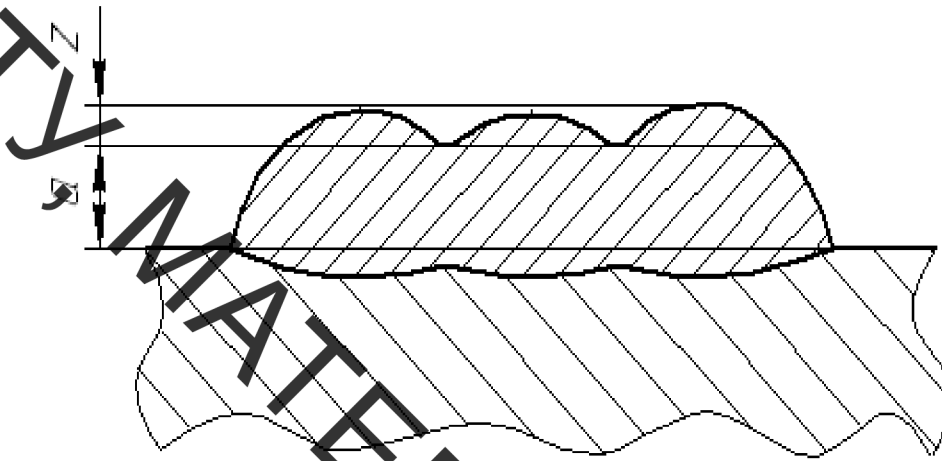


Рисунок 2.6 - Основні параметри наплавленого шару

До основних факторів, що визначають припуск, належать: конфігурація деталі та її розміри, матеріал деталі, технологія і точність виготовлення, технічні вимоги до якості обробки поверхонь, структура технологічного процесу обробки деталі і точність її встановлення під час базування. Припуск має бути оптимальним, тобто таким, який би гарантував виконання потрібної механічної обробки відповідно до креслень та технічних умов при мінімальній витраті матеріалу і найменшій собівартості деталі [21].

При розрахунку припуску наплавлених циліндричних поверхонь користуються наступною залежністю

$$2 \cdot Z_{i \min} = 2 \cdot [(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}], \quad (2.1)$$

де  $Rz$  – значення параметра шорсткості поверхні,  $h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (зневуглецьований або вибілений шар);  $\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності) на попередньому переході;  $\varepsilon_i$  — похибка установлення деталі на виконуваному переході.

Похибка сумарного відхилення розташування поверхонь є величиною табличною і залежить від багатьох факторів: виду механічної обробки, пристосування в якому закріплена деталь тощо. Дефектний шар – величина, що залежить в основному від способу нанесення відновного покриття на деталь. Похибка установлення деталі залежить від схем базування та пристосування в якому закріплюється заготовка.

Крім того, параметр шорсткості поверхні, а як наслідок і припуски, залежать від режимів наплавлення поверхонь, від самого обладнання. Чим

обладнання новіше і чим режими вибрані раціональніше, тим менша шорсткість і тим менший відпуск на механічну обробку.

Дослідимо як саме впливають режими наплавлення на висоту наплавленого шару  $a$  та величину припуску на механічну обробку  $z$ .

Визначимо параметри, які найбільше впливають на геометрію наплавленого шару:

- швидкість подачі дроту конструктивно пов'язана із швидкістю наплавлення;
- збільшення діаметра електродного дроту прямопропорційно збільшує площу перерізу наплавленого валика.

Як варіативні параметри прийнемо:

- швидкість наплавлення  $v_n$ ;
- напруга на дузі  $U$ ;
- крок наплавлення  $t$ .

Для розв'язання даної задачі була розроблена математична модель, яка описує вплив визначених параметрів ( $v_n$ ,  $U$ ,  $t$ ) на геометрію наплавленого шару ( $a$ ,  $z$ ). Доцільним є використання методу планування та постановки повного факторного експерименту з проведенням регресійного аналізу.

Інтервали варіювання та рівні факторів приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Інтервали варіювання та рівні факторів впливу на геометрію наплавленого шару

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		основн. 0	верхн. +1	нижн. -1
$x_1$ – напруга на дузі, В	8	30	38	22
$x_2$ – швидкість наплавлення, м/хв	2	5	7	3
$x_3$ – крок наплавлення, мм/об	1,75	4,55	6,3	2,8

Рівняння регресії, які були виведені в [21] мають наступний вигляд:

$$y_a = 2,1 - 0,359 \cdot x_2 - 0,296 \cdot x_3 - 0,264 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,204 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,041 \cdot x_3^2, \quad (2.2)$$

$$y_z = 0,523 + 0,203 \cdot x_1 + 0,172 \cdot x_3 + 0,131 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,111 \cdot x_3^2. \quad (2.3)$$

Дослідимо як впливає кожен із зазначених вище трьох параметрів на висоту наплавленого шару та величину припуску. Для цього будемо один із

трьох параметрів змінювати, а для двох інших візьмемо середні значення. Розрахунки будемо проводити підставляючи значення формули (2.2) та (2.3).

Залежність величини припуску та товщини наплавленого покриття від напруги показано на рис. 2.7.

Таблиця 2.2 – Розрахунок величини припуску та наплавленого покриття при зміні напруги.

$U, \text{В}$	$v_n, \text{м/хв}$	$t, \text{мм/об}$	$a, \text{мм}$	$z, \text{мм}$
22	7	6,3	1,464	0,25
22,5	7	6,3	1,47	0,242409
23	7	6,3	1,476	0,234818
23,5	7	6,3	1,482	0,227227
24	7	6,3	1,488	0,219636
24,5	7	6,3	1,494	0,212045
25	7	6,3	1,5	0,204455
25,5	7	6,3	1,506	0,196864
26	7	6,3	1,512	0,189273
26,5	7	6,3	1,518	0,181682
27	7	6,3	1,524	0,174091
27,5	7	6,3	1,53	0,1665
28	7	6,3	1,536	0,158909
28,5	7	6,3	1,542	0,151318
29	7	6,3	1,548	0,143727
29,5	7	6,3	1,554	0,136136
30	7	6,3	1,56	0,128545
30,5	7	6,3	1,566	0,120955
31	7	6,3	1,572	0,113364
31,5	7	6,3	1,578	0,105773
32	7	6,3	1,584	0,098182
32,5	7	6,3	1,59	0,090591
33	7	6,3	1,596	0,083
33,5	7	6,3	1,602	0,075409
34	7	6,3	1,608	0,067818
34,5	7	6,3	1,614	0,060227
35	7	6,3	1,62	0,052636
35,5	7	6,3	1,626	0,045045
36	7	6,3	1,632	0,037455
36,5	7	6,3	1,638	0,029864
37	7	6,3	1,644	0,022273
37,5	7	6,3	1,65	0,014682
38	7	6,3	1,656	0,007091



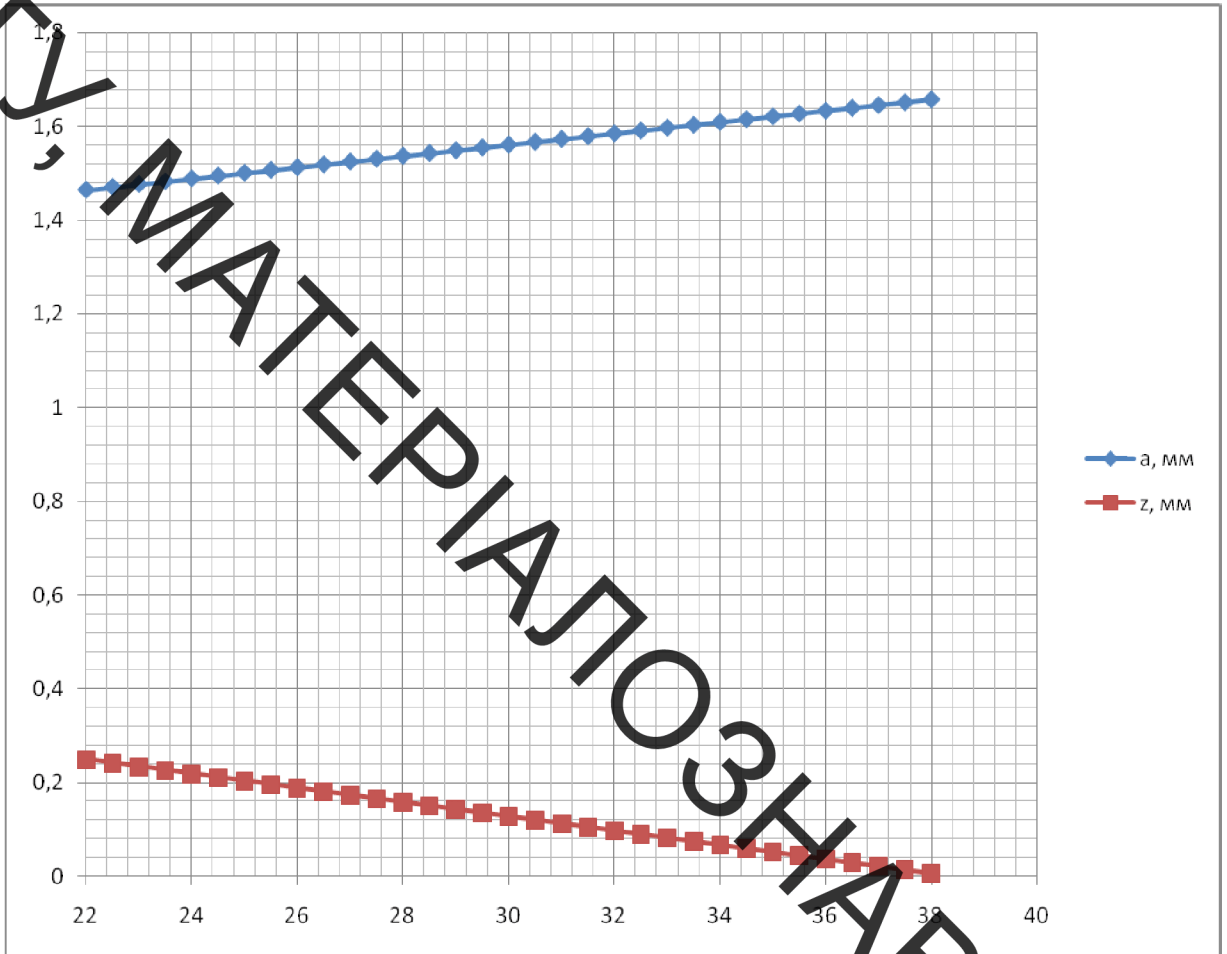


Рисунок 2.7 – Залежність припуску  $z$  та товщини наплавленого шару  $a$  від напруги

Залежність величини припуску та товщини наплавленого покриття від швидкості наплавлення показано на рис. 2.8.

В таблицях 2.2; 2.3; 2.4 неведені експериментальні значення розрахунку величини припуску та наплавленого покриття, відповідно, при зміні напруги при зміні, швидкості наплавлення, при зміні кроку наплавлення.

Таблиця 2.3 – Розрахунок величини припуску та наплавленого покриття при зміні швидкості наплавлення.

U, В	$v_n$ , м/хв	$t$ , мм/ об	a, мм	z, мм
22	3	2,8	2,024571	0,168
22	3,2	2,8	2,020143	0,168
22	3,4	2,8	2,015714	0,168
22	3,6	2,8	2,011286	0,168
22	3,8	2,8	2,006857	0,168
22	4	2,8	2,002429	0,168
22	4,2	2,8	1,998	0,168
22	4,4	2,8	1,993571	0,168
22	4,6	2,8	1,989143	0,168
22	4,8	2,8	1,984714	0,168
22	5	2,8	1,980286	0,168
22	5,2	2,8	1,975857	0,168
22	5,4	2,8	1,971429	0,168
22	5,6	2,8	1,967	0,168
22	5,8	2,8	1,962571	0,168
22	6,2	2,8	1,953714	0,168
22	6,4	2,8	1,949286	0,168
22	6,6	2,8	1,944857	0,168
22	6,8	2,8	1,940429	0,168
22	7	2,8	1,936	0,168

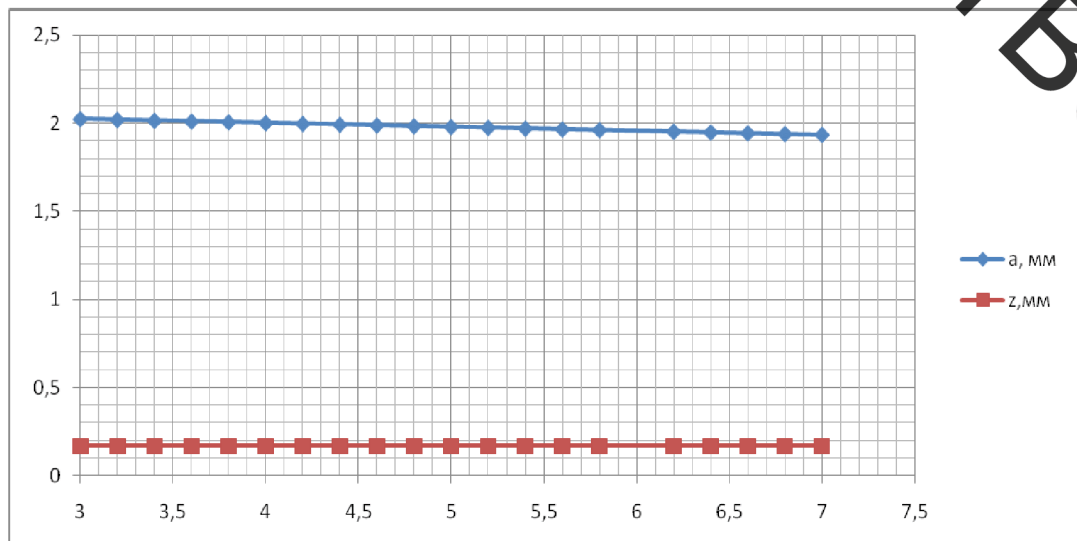


Рисунок 2.8 – Залежність припуску  $z$  та товщини наплавленого шару  $a$  від швидкості наплавлення.

Залежність величини припуску та товщини наплавленого покриття від кроку наплавлення показано на рис. 2.9.

Таблиця 2.4 – Розрахунок величини припуску та наплавленого покриття при зміні кроку наплавлення

U, В	$v_n$ , м/хв	t, мм/ об	a, мм	z, мм
22	5	2,8	2,077679	0,316296
22	5	2,9	2,076582	0,315353
22	5	3	2,075465	0,314354
22	5	3,1	2,074327	0,313299
22	5	3,2	2,073168	0,312187
22	5	3,3	2,071989	0,31102
22	5	3,4	2,070789	0,309797
22	5	3,5	2,069568	0,308519
22	5	3,6	2,068327	0,307184
22	5	3,7	2,067064	0,305793
22	5	3,8	2,065782	0,304346
22	5	3,9	2,064478	0,302844
22	5	4	2,063154	0,301285
22	5	4,1	2,06181	0,29967
22	5	4,2	2,060444	0,29798
22	5	4,3	2,059058	0,296274
22	5	4,4	2,057652	0,294491
22	5	4,5	2,056224	0,292653
22	5	4,6	2,054777	0,290759
22	5	4,7	2,053308	0,288809
22	5	4,8	2,051819	0,286803
22	5	4,9	2,050309	0,284741
22	5	5	2,048778	0,282623
22	5	5,1	2,047227	0,280449
22	5	5,2	2,045655	0,278219
22	5	5,3	2,044062	0,275933
22	5	5,4	2,042449	0,273592
22	5	5,5	2,040815	0,271194
22	5	5,6	2,03916	0,268741
22	5	5,7	2,037485	0,266231
22	5	5,8	2,035789	0,263666
22	5	5,9	2,034073	0,261045
22	5	6	2,032336	0,258367
22	5	6,1	2,030578	0,255634
22	5	6,2	2,028799	0,252845
22	5	6,3	2,027	0,25

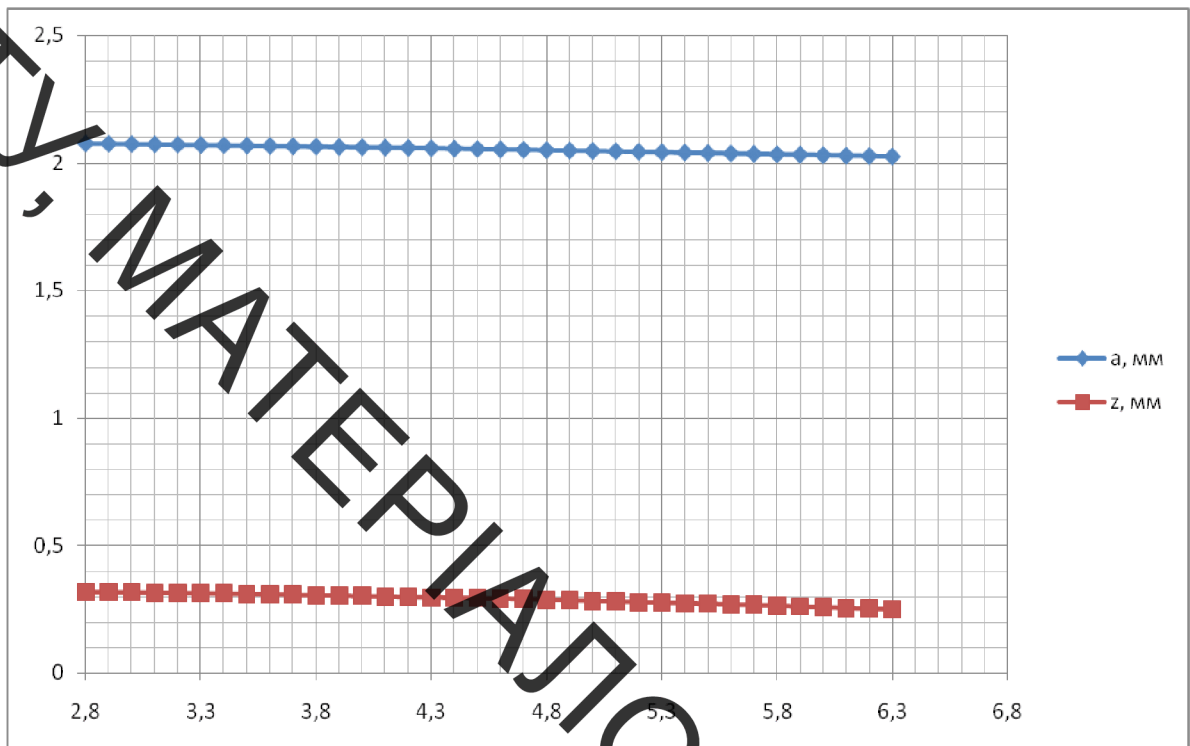


Рисунок 2.9. – Залежність припуску  $z$  та товщини наплавленого шару  $a$  від кроку наплавлення.

Отже, як видно із рисунків 2.7, 2.8 та 2.9 на величину припуску та товщину наплавленого шару суттєво впливають такі режими наплавлення як: напруга, швидкість та крок наплавлення. При збільшенні напруги припуск на механічну обробку зменшується, а товщина наплавленого шару збільшується. Не впливає на величину припуску на механічну обробку швидкість наплавлення, а при збільшенні кроку наплавлення припуск також зменшується.

Що ж стосується товщини наплавленого покриття, то на неї впливає швидкість та крок наплавлення: при збільшенні цих параметрів товщина наплавленого шару також збільшується. Це потрібно обов'язково враховувати при проектуванні технологічних процесів, тому що припуски мають бути оптимальними. Завищені припуски призводять до підвищеної витрати матеріалу, зростання трудомісткості механічної обробки, значного підвищення експлуатаційних витрат верстатної обробки. Недостатні припуски можуть перешкоджати виправленню похибок від попередньої обробки і досягненню необхідної точності й шорсткості оброблюваної поверхні на визначеному переході.

## 2.4 Проектування напилювального пристрою та комп'ютерний аналіз його міцності

Напилювальний пристрій відноситься до галузі обробки матеріалів, а саме для нанесення поверхневих покриттів і може знайти застосування в машинобудівній галузі, а особливо для відновлення деталей.

Відомий плазмотрон для нанесення тугоплавких матеріалів (патент РФ 2276840, опубл. 20.05.2006 бюл. № 14), який містить співвісно і послідовно установленні катодний вузол із катодом, анодний вузол із соплом-анодом, ізолятор, встановлений між катодним та анодним вузлами, систему охолодження катодного і анодного вузлів із патрубками входу та виходу охолоджуючої рідини, систему подачі плазмоутворюючого газу і систему подачі порошку для напилення [12].

Недоліком цього плазмотрона є недосконала система охолодження катода, оскільки робоча зона катода мало охолоджується. Недоліком також є складна конструкція каналу подачі порошку, яка дуже ускладнює рух порошкових частинок.

Найбільш близьким до корисної моделі по технічній сутності є плазмотрон для нанесення покриттів із індивідуальним охолодженням анодного і катодного вузлів (патент РФ 2366122, опубл. 27.08.2009 бюл. № 24), який містить катод, сопло-анод, ізолятор, систему водоохолодження, канали введення плазмоутворюючого газу і порошку, об'єднані в один канал, який через тангенціальні отвори завихрювального кільця пов'язаний з міжелектродним простором, причому сумарна площа поперечних перерізів вхідних отворів завихрювального кільця дорівнює площі критичного перетину сопла-анода, при цьому довжина сопла-анода може бути обрана в діапазоні від 1 до 10 діаметрів критичного перетину сопла-анода, а канал між катодом, ізолятором, завихрювальним кільцем і входом в сопло-анод виконаний у вигляді конуса.

Недоліком плазмотрона для нанесення покриттів є суміщена подача порошкового напилювального матеріалу з плазмоутворюючим газом до сопла та рух порошкових частинок (що являють собою тугоплавкий мілкий абразив) у створеному вихровому потоці, завдяки якому і внаслідок дії відцентрових сил, відбувається інтенсивне зношення порошковими частинками робочих поверхонь соплового вузла. Внаслідок інтенсивного зношення докритичної

зони сопла-анода відбувається значне зменшення довговічності та змінюються параметри нанесення покриття.

Також до недоліків можна віднести відсутність можливості регулювання зазору між катодом та соплом-анодом (регулювання режимів плазмотрона), що обмежує функціональні можливості приладу.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого електродугового плазмотрона для нанесення покриттів, в якому за рахунок введення нових елементів та їх розташування розширюються функціональні можливості.

Поставлена задача досягається тим, що в електродуговому плазмотроні для напилювання покриттів, який містить співвісно і послідовно встановлені у корпусі систему охолодження сопла-анода, канали введення плазмоутворюючого газу та порошку, завихрювальне кільце, ізолятор, катод, систему охолодження катода, ізолятор корпусу та фіксуючу гайку, причому канали введення плазмоутворюючого газу та порошку виконані роздільно, канал введення порошку розташований всередині катода та співвісно із катодом і соплом-анодом, а катод встановлено з можливістю регулювання відстані до сопла-анода та утворює зазор із соплом-анодом, конічна частина катода частково розміщена в отворі сопла-анода.

На рисунку 2.10 наведено поперечний переріз електродугового плазмотрона для нанесення покриттів.

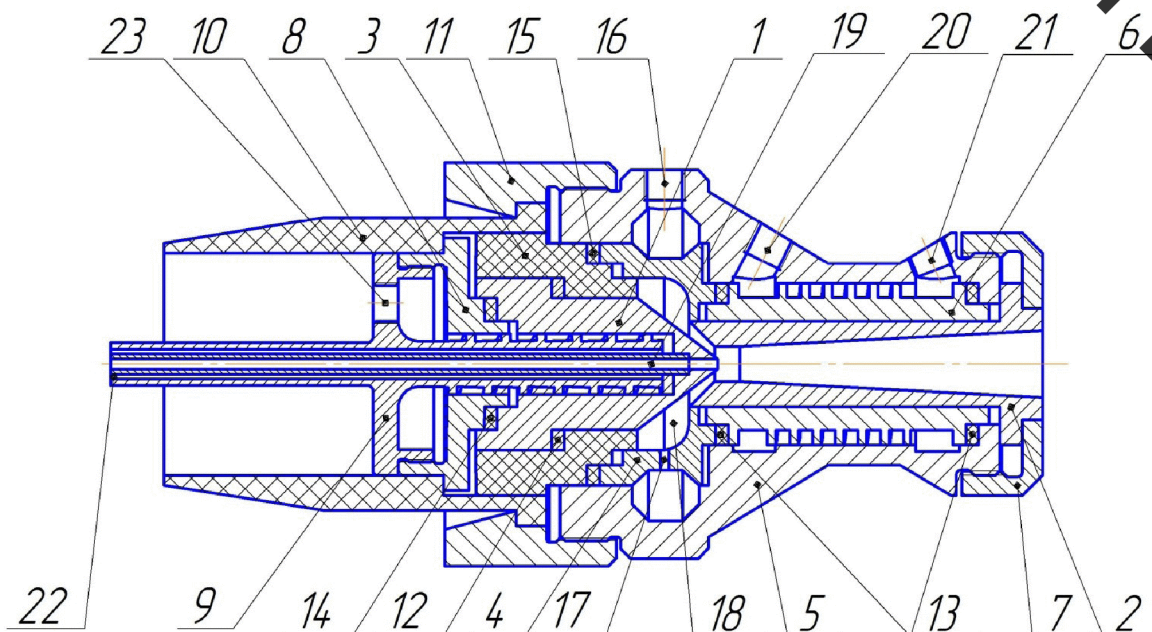


Рисунок 2.10 – Електродуговий плазмотрон для нанесення покриттів

Електродуговий плазмотрон для напилювання покриттів складається із корпусу 5, в якому співвісно і послідовно встановлено сопло-анод 2, яке фіксується торцевою гайкою 7, далі встановлено спіральну втулку 6, що слугує системою охолодження сопла-анода 2 і ущільнюється ущільнюючими кільцями 13 сопла-анода 2.

Корпус 5 містить у собі канал подачі охолоджуючої рідини 20 сопла-анода 2, канал виходу охолоджуючої рідини 21 сопла-анода 2 та канал введення плазмоутворюючого газу 16. Також у корпусі 5 встановлено завихрююче кільце 4 із тангенціальними отворами 17, які сполучені із порожниною 18.

Далі послідовно встановлено ущільнююче кільце 15 корпусу 5, ізолятор 3, регулювальне кільце 12 та катод 1. У катод 1 встановлено систему охолодження катода, що ущільнена ущільнюючим кільцем 14. Система охолодження катода складається із прижимної втулки 8, в яку вкручується спіральна кришка 9, у середині якої розташований канал введення порошку 19. Спіральна кришка 9 містить у собі канал подачі охолоджуючої рідини 22 катода 1 та канал виходу охолоджуючої рідини 23 катода 1.

Система охолодження катода ізолюється прижимним ізолятором 10 та нерухомо фіксується за допомогою фіксуючої гайки 11.

Електродуговий плазмотрон для напилення покриттів працює таким чином.

Включають подачу охолоджуючої рідини катода 1 та сопла-анода 2.

Охолодження катода 1 відбуваються за рахунок кругового обігу охолоджуючої рідини. Через канал подачі охолоджуючої рідини 22 катода 1 подається охолоджувальна рідина, тоді вона рухається по спіральній кришці 9, яка вкручена у прижимну втулку 8, далі охолоджувальна рідина виводиться через канал виходу охолоджуючої рідини 23 катода 1.

Охолодження сопла-анода 2 також відбуваються за рахунок кругового обігу охолоджуючої рідини. Через канал подачі охолоджуючої рідини 20 сопла-анода 2 подається охолоджувальна рідина, далі вона рухається по спіральній втулці 6, що встановлена у корпусі 5, далі охолоджувальна рідина виводиться через канал виходу охолоджуючої рідини 21 сопла-анода 2.

Герметичність проходження охолоджувальної рідини під час охолодження катода 1 та сопла-анода 2 забезпечується ущільнюючими кільцями 13 сопла-анода 2 та ущільнюючим кільцем 14 катода 1.

Включають подачу плазмоутворюючого газу, подають напругу постійного струму між катодом 1 і соплом-анодом 2. Для уникнення короткого замикання між катодом 1 та соплом-анодом 2 розміщений ізолятор 3. При наявності напруги постійного струму між катодом 1 і соплом-анодом 2 збуджується електрична дуга. Після цього здійснюють подачу плазмоутворюючого газу через канал введення плазмоутворюючого газу 16 та тангенціальні отвори 17 завихрювального кільця 4, після чого плазмоутворюючий газ потрапляє у порожнину 18 для стабілізації горіння дуги. Герметичність подачі плазмоутворюючого газу забезпечується ущільнюючим кільцем 15 корпуса 5. Далі відбувається подача порошку через канал введення порошку 19 і за рахунок ефекту ежекції, який виникає у соплі-аноді 2 порошок транспортується через катод 1, далі через критичний перетин сопла-анода 2, де нагрівається та розплавляється. Послідовний нагрів і диспергування триває в надзвуковій частині сопла-анода 2, де також відбувається інтенсивний розгін частинок порошку, що забезпечує підвищені адгезійні властивості покриттів при нанесенні покриттів в середовищі зниженого тиску. Далі розплавлений матеріал наноситься на відновлювальну деталь і утворює однорідне покриття, яке має добре зчеплення з поверхнею.

За допомогою регулювального кільця 12 можливо змінювати відстань між катодом 1 та соплом – анодом 2, за рахунок чого можна змінювати продуктивність подачі порошку. Регулювання проводиться за допомогою зміни висоти регулювального кільця 12.

Зажим та фіксування усіх деталей електродугового плазмотрона для наплення покриттів забезпечується за допомогою прижимного ізолятора 10, фіксуючої гайки 11 та торцевої гайки 7.

## **2.5 Дослідження конструкцій розпилюючого пристрою на міцність за допомогою кінцево-елементного аналізу**

Дослідження конструкції на міцність проводиться за допомогою кінцево–елементного аналізу.

Етап 1. Попередньо для дослідження потрібно задати закріплення конструкції та вказати поверхні на які діє навантаження (Рисунок 2.11)



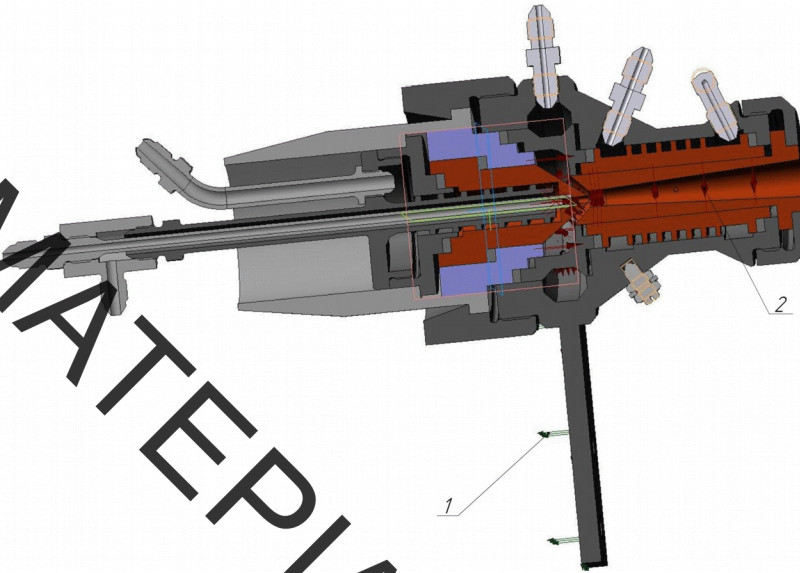


Рисунок 2.11 – Закріплення та навантаження поверхонь плазмотрона на які діють навантаження: 1 – закріплення конструкції; 2 – поверхні на які діє навантаження (1МПа)

Етап 2. Генерація кінцево-елементної сітки (Рисунок 2.12).

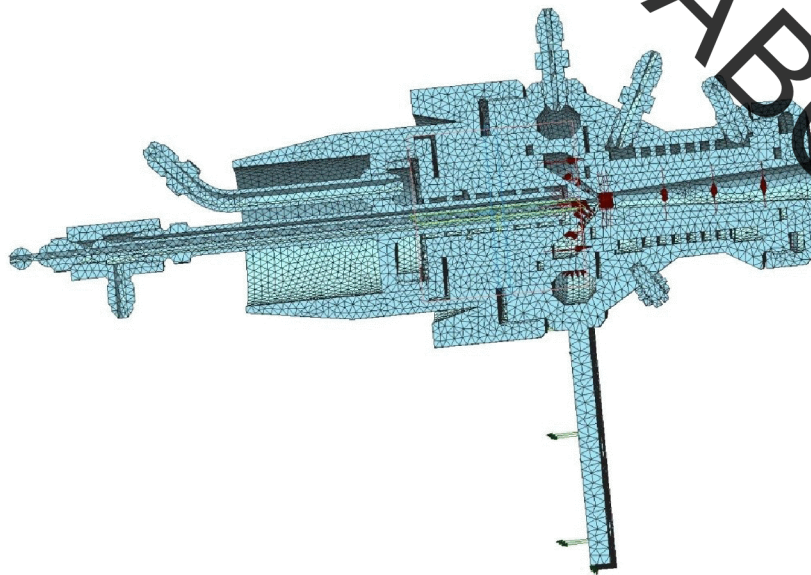


Рисунок 2.12 – Результати розбиття 3D – моделі плазмотрона кінцево-елементною сіткою

Етап 3. Результати розрахунків Коефіцієнтів запасу за текучістю, міцністю та деформацією показано на рисунках 2.13 – 2.15.

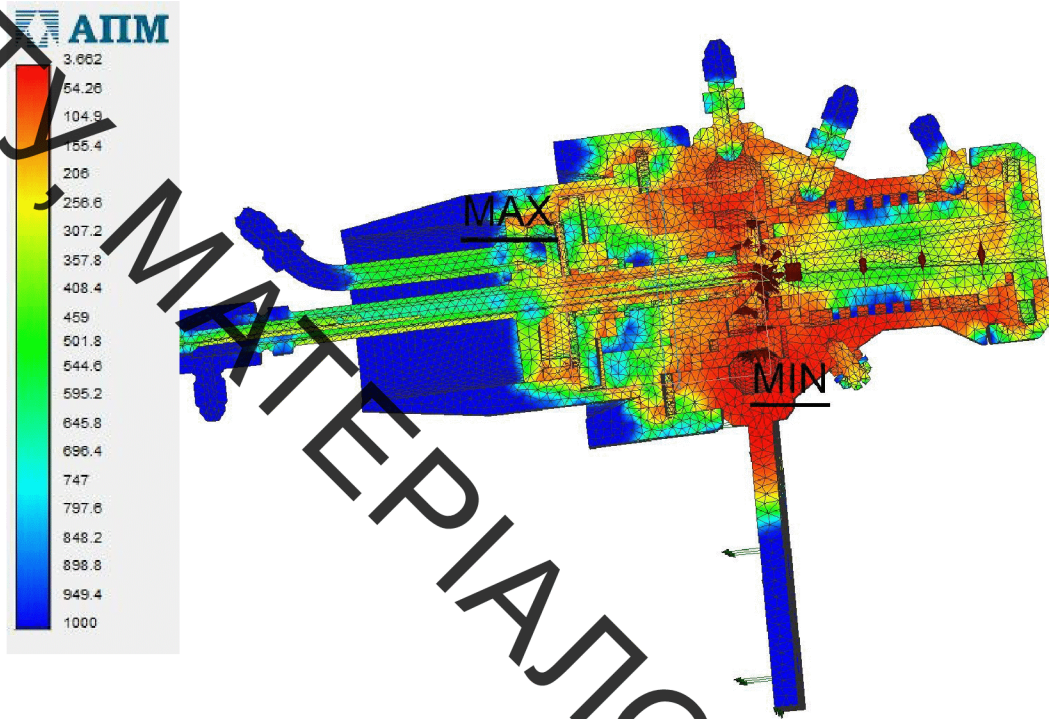


Рисунок 2.13 – Розподілення коефіцієнт запасу текучості

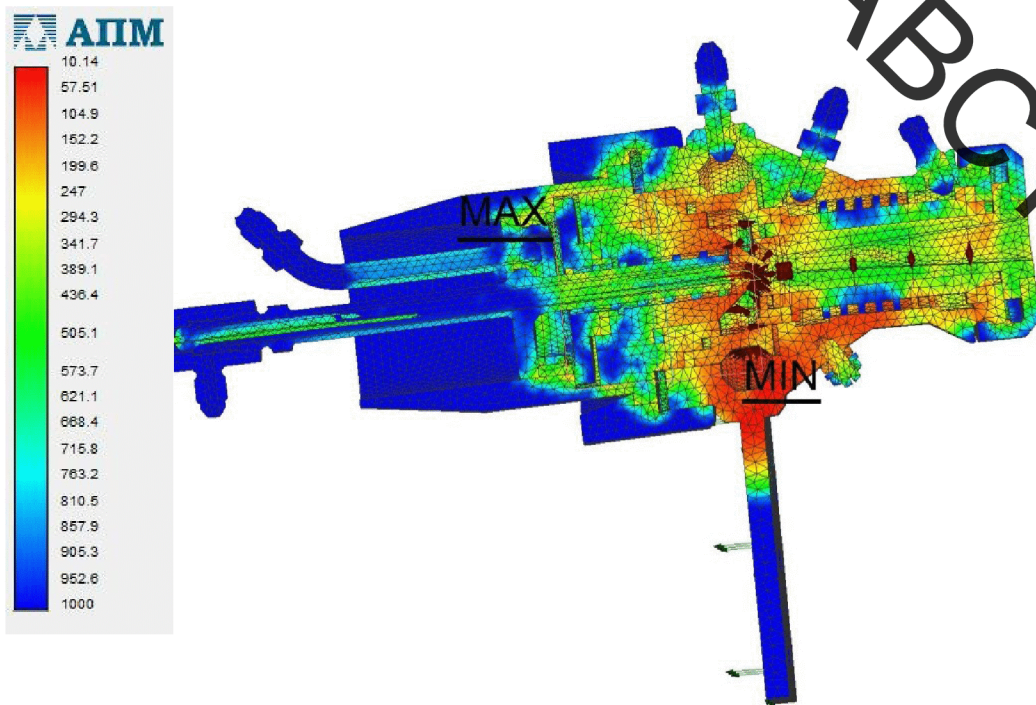


Рисунок 2.14 – Розподілення коефіцієнт запасу міцності

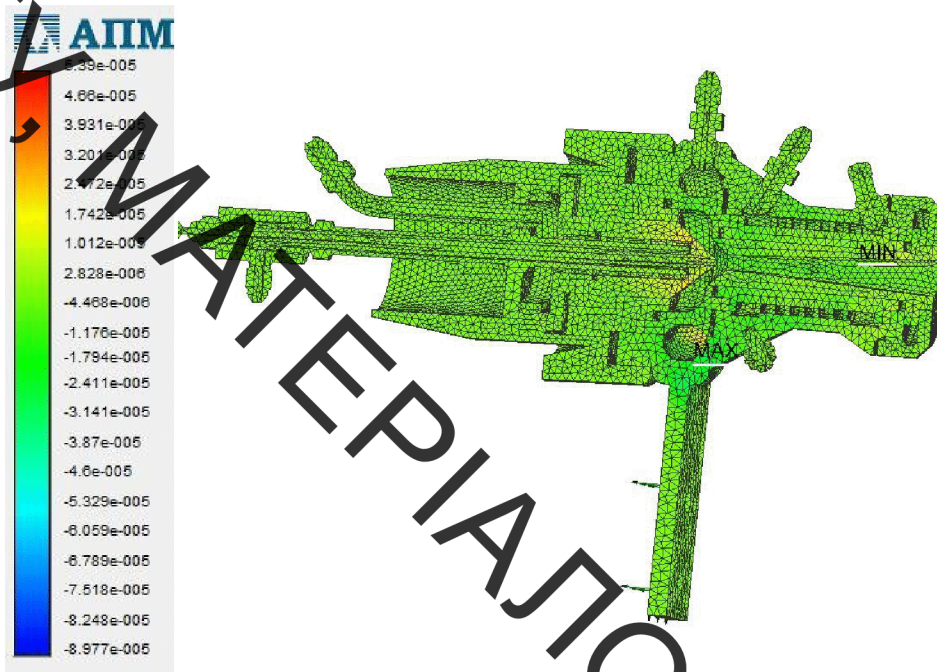


Рисунок 2.15 – Розподілення коефіцієнту деформації

## 2.6 Висновки до 2-го розділу

1. При напавленні вуглецевої сталі покритими електродами змінюючі режими напавлення можна отримати в'язку серцевину з напавленими шарами високої якості та експлуатаційними властивостями. Гранична лінія напавленого та основного металів є тонкою та рівною, що свідчить про протікання дифузійних процесів, сповільнених спаданням градієнта температур при кристалізації напавленого покриття.

2. Припуск на механічну обробку відновленої поверхні повинен гарантувати виконання потрібної механічної обробки відповідно до креслень та технічних умов при мінімальній витраті матеріалу і найменшій собівартості деталі.

3. Методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану досліджено вплив режимів процесу напавлення на величину припуску механічної обробки. До уваги прийняті такі елементи режиму напавлення, які змінювались в межах: напруга – 22...38 В, швидкість напавлення – 3...7 м/хв та крок напавлення – 2,8 ... 6,3 мм/об.

4. Встановлено, що на величину припуску впливають напруга, швидкість та крок наплавлення. Із їх збільшенням припуск на механічну обробку зменшується. Це потрібно враховувати при проектуванні технологічних процесів.

5. Удосконалено електродуговий плазмотрон для напилювання покриттів, який дозволяє підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.

6. Застосувавши кінцево-елементний аналіз для дослідження конструкції розпилювального пристрою на міцність встановили, що конструкція має суттєві резерви по зменшенню маси та розмірів, що буде виконано під час модернізації.

### 3 РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА

#### **3.1 Аналіз службового призначення вузла, деталі. Вимоги до деталі, що відновлюється та її поверхонь**

Вал черв'ячного колеса редуктора є однією з деталей силового вузла, яка знайшла широке використання в різноманітних машинах, в більшості випадків саме ця деталь лімітує ресурс роботи редуктора. Основне службове призначення деталі є в обмеженні осового і радіального переміщення самого валу та підшипників, що встановлюється по обидва кінці валу як опори. “Вал” працює в умовах вібрацій, знакозмінних зусиль, внутрішніх напружень тощо. Це призводить до порушень якості поверхонь, до механічних пошкоджень, відхилення розміщення, спрацювання, овальності і конусності спряжених поверхонь.

Під дією багатьох факторів умови роботи валу змінюються в широкому діапазоні, тому темп та величина зношування його поверхонь випадкові.

Деталь «Вал черв'ячного колеса редуктора» є важливою складовою черв'ячного редуктора і служить для передачі крутного моменту та кутової швидкості від ведучого валу до веденого і є в даному випадку проміжною ланкою редуктора. Вал в редукторі закріплюється на підшипниках кочення  $\varnothing 80g6$  та  $\varnothing 90h7$  зі шпонковим пазом де кріпиться колесо. На валу черв'ячного колеса закріплена маточина, яка нерухомо заблокована шпонкою встановленою у шпонковий паз.

Групу конструкторських баз складають основні та допоміжні поверхні. Бажано, щоб конструкторські та технологічні бази співпадали, тоді похибка базування дорівнює 0 [5, 3].

Жорсткі технічні вимоги точності обробки поверхонь ( $\varnothing 80g6^{(-0,010)}$ ;  $\varnothing 90h8^{(-0,022)}$ ) та висока чистота обробки – зумовлені високими вимогами функціонального призначення деталі і точністю розташування деталей, що приєднуються, для забезпечення високої надійності і довговічності роботи вузла

### 3.2 Аналіз конструкції вала

За своєю формою, конструкцією і технологічними ознаками деталь відноситься до класу «Вали».

На валу черв'ячного колеса закріплена маточина, яка нерухомо заблокована шпонкою і встановлена у шпонковий паз 5.

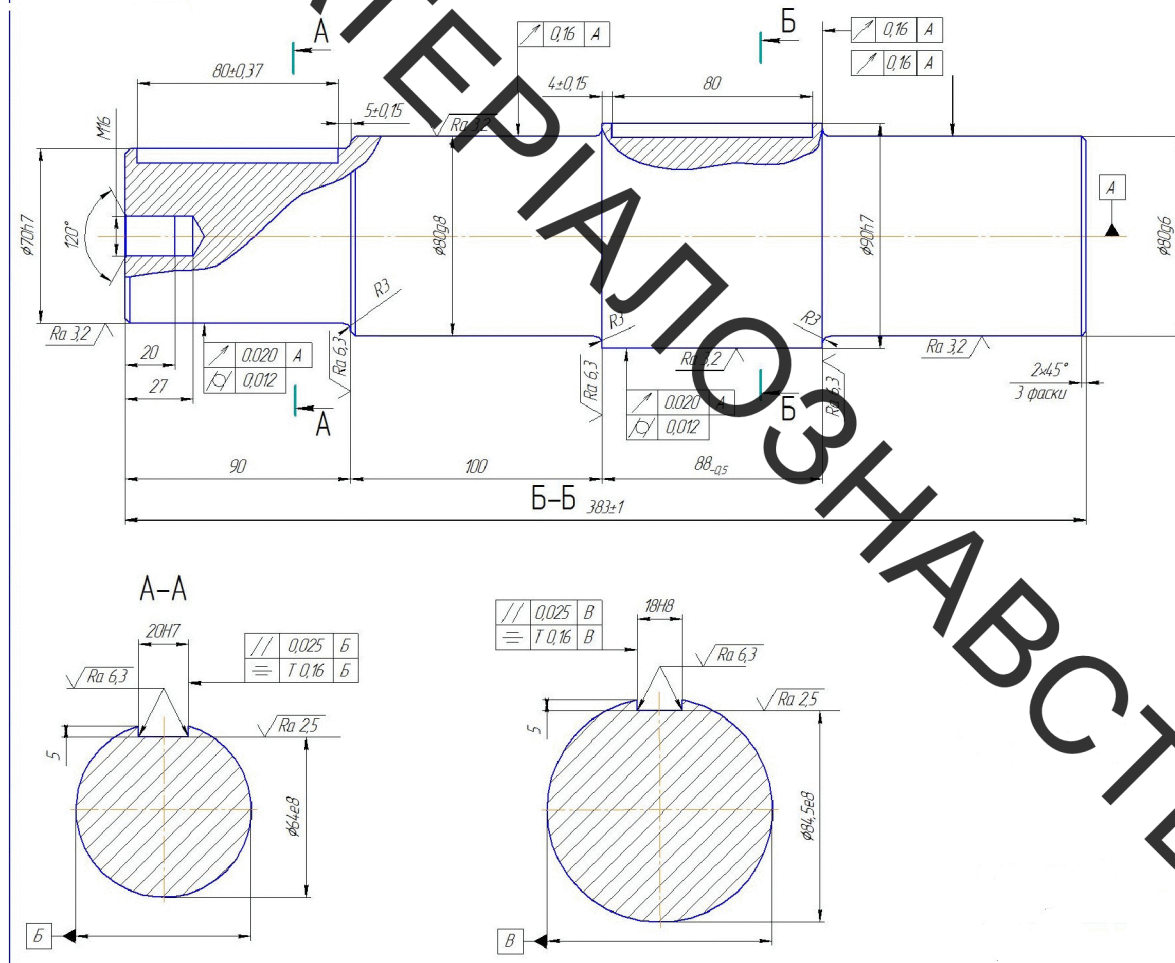


Рисунок 3.1- Робоче креслення вала черв'ячного колеса.

Поверхню 3 вал утворює нерухоме з'єднання з маточиною. На поверхні 1 встановлюються муфта, яка з'єднує вал редуктора з валом приводного мотора (рисунок 1.3) і нерухомо заблокована шпонкою у шпонковому пазі 4. Навантаження, яке передається перпендикулярно осі вала черв'ячного колеса, визиває кручення та поверхневий зріз.

Поверхня 2 та 6 забезпечують нерухомі з'єднання вала з підшипниками, до них ставляться порівняно високі вимоги на точність і шорсткість. Поверхня повинна бути виконана по 8 квалітету точності з шорсткість не більше як

$R_a=2,5\text{мкм}$ . Відхилення співвісності поверхонь після відновлення не повинне перевищувати  $0,01\text{мм}$ . Відносно цієї поверхні задані уточнення технічних вимог по відновленню деталі, які розглянуті нижче.

Креслення деталі валу черв'ячного колеса містить всі необхідні відомості про деталь. Розглянемо всі опрацьовані поверхні валу черв'ячного колеса і їх призначення, використовуючи рисунки 1 та 2.

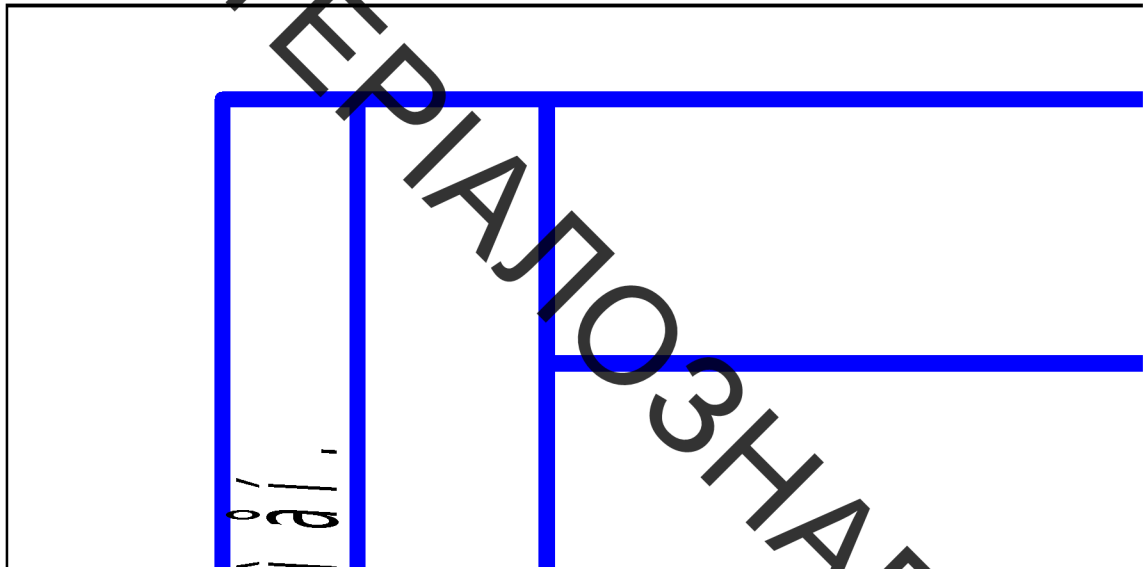


Рисунок 3.2 - Ескіз валу черв'ячного колеса з вказаними номерами поверхонь

Поверхня 2 використовується для нерухомого з'єднання валу черв'ячного колеса з маточиною, до неї ставляться порівняно високі вимоги на точність і шорсткість. Поверхня повинна бути виконана по 8 квалітету точності, а шорсткість не більше як  $R_a=3,2\text{мкм}$ . Відхилення від циліндричності поверхні після відновлення не повинне перевищувати  $0,01\text{мм}$ .

Шпонкові пази 4 та 5, знаходяться на поверхні 1 та 3 відповідно, служать для надійного кріплення встановлених деталей і вони повинні бути виконані по 9 квалітету точності, шорсткість дна  $R_a=6,3\text{мкм}$ , бокової поверхні –  $R_a=2,5\text{мкм}$ .

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

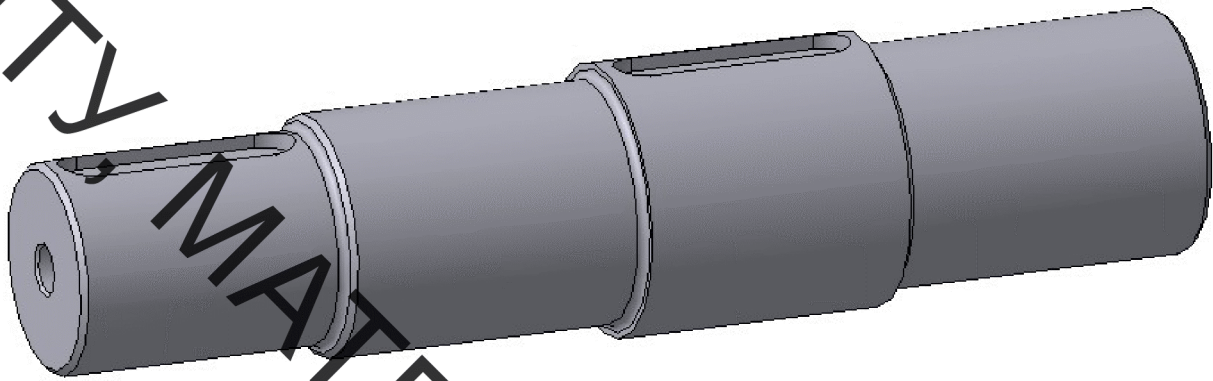


Рисунок 3.3 – 3D – модель валу черв'ячного колеса редуктора

### 3.3 Матеріал деталі та його властивості

Вал черв'ячного колеса редуктора виготовлено із легованої сталі – 40Х ГОСТ4543-71. Сталь 40Х має всі якості для обробки на металорізальних верстатах без утруднень.

Сталь 40Х ГОСТ 4543-71 (табл. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) використовується для виготовлення валів, штоків, вал-шестерень та інших деталей завдяки своїм механічним властивостям. Даний метал відмінно піддається обробці різанням та має задовільну пластичність. Особливості структурних перетворень відповідають вимогам, які є необхідним для виготовлення валів. В деяких випадках деталі виготовлені з даного матеріалу потребують термічної обробки для зміни твердості та підвищення зносостійкості. [12, 13].

Таблиця 3.1 – Характеристика матеріалу. Сталь 40Х

Марка	Сталь 40Х
Класифікація	Сталь конструкционная легированная.Хромистая
Замінник	Сталь 45Х ,сталь 38ХА ,сталь 40ХН ,сталь 40ХС ,сталь 40ХФА ,сталь 40ХГТР
Іноземні аналоги	AISI 5135, AISI 5135H, AISI 5140, AISI 5140 H
Використання	оси, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, коленчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рійки, губчасті вінці, болти, напіввісі, втулки та інші поліпшувані деталі підвищеної міцності.



Таблиця 3.2 – Хімічний склад у % сталі 40X

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3

Таблиця 3.3 – Температура критичних точок

Критична точка	°C
$A_{c1}$	743
$A_{c3}$	815
$A_{r3}$	730
$A_{r1}$	693
$M_n$	325

Таблиця 3.4 – Механічні властивості сталі 40X

Термообработка, состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	KCU, Дж/м <sup>2</sup>	HB
Пруток ГОСТ 4543-71							
Гартування 860 °C, олія. Відпуск 500 °C, вода або олія	25	780	980	10	45	59	

Для визначення придатності даного матеріалу до наплавлення та напилення необхідно визначити значення вуглецевого еквіваленту [13]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{4} [\%]. \quad (3.1)$$

$$C_e = 0,36 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,2}{24} + \frac{0,1}{40} + \frac{0,8}{5} = 0.6138 (\%). \quad (3.2)$$

Для уникнення появи мікротріщин та кращого з'єднання матеріалу, що наноситься з основою рекомендується здійснювати підігрів деталі до 200–250°C.

Базування деталі виконується в центрах. Вказані на кресленні квалітети точності механічної обробки відповідають параметрам шорсткості. Розміри деталі вказані на кресленні можуть бути легко перевірені. Можливе суміщення технологічних і вимірювальних баз та необхідність додаткових технологічних операцій для одержання заданої точності і шорсткості оброблених поверхонь.

Отже, можна зробити висновок, що деталь є технологічною [3,10].

### 3.4 Конструкторсько-технологічні характеристики деталі

Якісна властивість технологічності

За кресленням деталі бачимо, що вал – не досить жорстка, що негативно впливає на спотворення при термічній обробці:  $\frac{l}{d_{cp}} = \frac{275}{45} = 6,11$ , що дещо більше 5...6. Так як деталь вал є не досить жорсткою, то це вимагає правки на пресі для розмірної точності поверхонь 2 і 3 відносно базової осі і це впливає на обмеження режимів різання через конструкцію деталі, що має суттєве значення при розрахунку і виборі режимів різання.

Плюсом слід вважати, що деталь вал не має поверхонь складної конфігурації, що позитивно впливає на прохід інструмента

Кількісна властивість технологічності

Визначення рівня уніфікації проведена за методикою [3, 10], результати наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розміри деталі

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри радіуси	Шорсткість	Різь метрична
381	Ø90*	45° (3)*	Ra 3,2 (6)*	M16-7H*
90*	Ø80* (2)	R3 (3)	Ra 2.5 (4)*	
100*	Ø70*	120°*	Ra 6,3 (5)*	
88			Ra 12,5 (4)*	
80*				
64				
84,5*				
20*				
18*				
5(3)				
Σ <sub>заг.</sub> = 11	Σ <sub>заг.</sub> = 4	Σ <sub>заг.</sub> = 7	Σ <sub>заг.</sub> = 13	Σ <sub>заг.</sub> = 1
Σ <sub>уніф.</sub> = 6	Σ <sub>уніф.</sub> = 4	Σ <sub>уніф.</sub> = 4	Σ <sub>уніф.</sub> = 13	Σ <sub>уніф.</sub> = 1

Примітка: позначення «\*» мають уніфіковані розміри.

Коефіцієнта точності обробки:

Знайдемо коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{29}{36} = 0,85.$$

При  $K_y = 0,837$  деталь відноситься до технологічних.  
Коефіцієнт точності обробки (табл.3.6):

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{T_{cp.}} \quad (3.3)$$

де  $T_{cp.}$  – середній квалітет точності розмірів.

$$T_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (3.4)$$

де  $T_i$  – поточне значення квалітету для певної поверхні,  
 $n_i$  – кількість поверхонь даного квалітету.

Таблиця 3.6 – Визначення точності обробки

Квалітет (розміри)	Кількість поверхонь	Розрахунок
6(90h6, Ø80g6,)	4	6·4=24
7(M16-7H, 20H7, Ø70h7 )	3	7·3=21
8 (Ø64e8; 84,5e8; 18H8)	3	3·9=27
14(88js14, 100, 90, 80)	4	14·4=56
Сума	14	128

$$T_{cp.} = \frac{6*4+7*3+9*3+14*4}{14} = 9,14$$

$$K_{m.o.} = 1 - \frac{1}{9,14} = 0,11.$$

Так як коефіцієнт точності обробки  $K_{m.o.}$  менше 0,7...0,8, то деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості поверхні (табл.3.7):

$$K_{ш.} = \frac{1}{III_{cp.}} \quad (3.5)$$

де  $III_{cp.}$  – середня шорсткість поверхонь.

$$Ш_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n Ш_i n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (3.6)$$

де  $Ш_i$  – поточне значення шорсткості певної поверхні,  
 $n_i$  – кількість поверхонь даної шорсткості

Таблиця 3.7 – Коефіцієнт шорсткості поверхні

Показники шорсткості	Кількість поверхонь	Розрахунок
Ra 3,2 (90h6, Ø80g6)	3	3,2·3=12,6
Ra 2,5 (18, 20)	2	2,5·2=5
Ra 6,3 (100, 88,90)	5	6,3·5=31,5
Ra 12.5 (383h14, Ø70, 90, 80h9,)	5	12.5·5=61
Сума	15	104.1

$$Ш_{cp.} = \frac{104,1}{23} = 4,53,$$

$$K_{m.o.} = \frac{1}{4,53} = 0,22.$$

Деталь технологічна оскільки коефіцієнт шорсткості поверхні  $K_{m.o.}$  менше 0,32.

На основі проведеного аналізу можна сказати, що в цілому деталь вал досить технологічний, допускає використання високопродуктивних режимів різання (обробки), має добрі базові поверхні для первісної обробки і проста за конструкцією, за конфігурацією зовнішнього контуру валу.

Габаритні розміри 383x90x90мм, маса 15,1 кг

### 3.5 Визначення характеру зносу деталі та основні дефекти валу черв'ячного колеса редуктора

Вал зазнає дії підвищених статичних та динамічних навантажень, які спричиняють напруження згину і кручення. Шпонкові з'єднання працюють на зминання і зазнають дії тертя ковзання, що призводить до спрацювання поверхонь спряження. Це все призводить до порушень якості поверхонь (задирки, риски, кородування), до механічних пошкоджень (тріщини, відколи),

відхилення розміщення (непаралельність, неперпендикулярність), спрацювання, овальності і конусності спряжених поверхонь.

Знос виникає на тих ділянках поверхні вала, де реалізується силова взаємодія між валом і підшипником. В стаціонарному режимі фактична площа контакту постійна в будь який момент часу. При зміщенні підшипника відносно вала на величину середнього діаметра плями контакту існуючі фрикційні зв'язки порушуються і виникають нові в тій же кількості, але в іншій точці поверхні валу, яка належить фрикційному зв'язку і реалізується повний цикл навантаження [11, 17, 23].

В процесі експлуатації валу черв'ячного колеса виникає руйнування втоми. Усувають дефекти валів нарощенням поверхні, з наступною механічною обробкою до розмірів за кресленням. Прогини валів ліквідують правкою [23].

Проаналізувавши умови роботи валу можна зробити висновок, що він може мати наступні дефекти:

- а) спрацювання поверхні спряження зовнішнього діаметру  $\varnothing 80g6$  мм з підшипниками;
- б) спрацювання поверхні спряження зовнішнього діаметру  $90h8$  мм з черв'ячним колесом;
- в) спрацювання шпонкових пазів.

Дефект 1, 3 – зношування спряження зовнішнього діаметру з підшипниками, що виходить за межі розміру  $\varnothing 80g6^{(-0,010)}_{(-0,029)}$ . Дефект виникає внаслідок тертя, яке викликає глибинне місцеве виривання шарів поверхневого металу. Дефект визначаємо за допомогою мікрометра М50-1 ГОСТ 166-90

Дефект 2 – зношування спряження зовнішнього діаметру з черв'ячним колесом, що виходить за межі розміру  $\varnothing 90h8_{-0,022}$ . Дефект виникає внаслідок тертя, яке викликає глибинне місцеве виривання шарів поверхневого металу. Зношування шпонкових пазів, що виходять за межі допустимих розмірів  $20^{+0,021}$ ,  $18^{+0,021}$  мм. Наявність дефекту зумовлюється фретинг-корозією. Дефект визначаємо за допомогою мікрометра М50-1 ГОСТ 166-90

На рис. 3.4 показано ремонтне креслення, а табл. 1.8 наведені основні дефекти та способи їх виявлення.

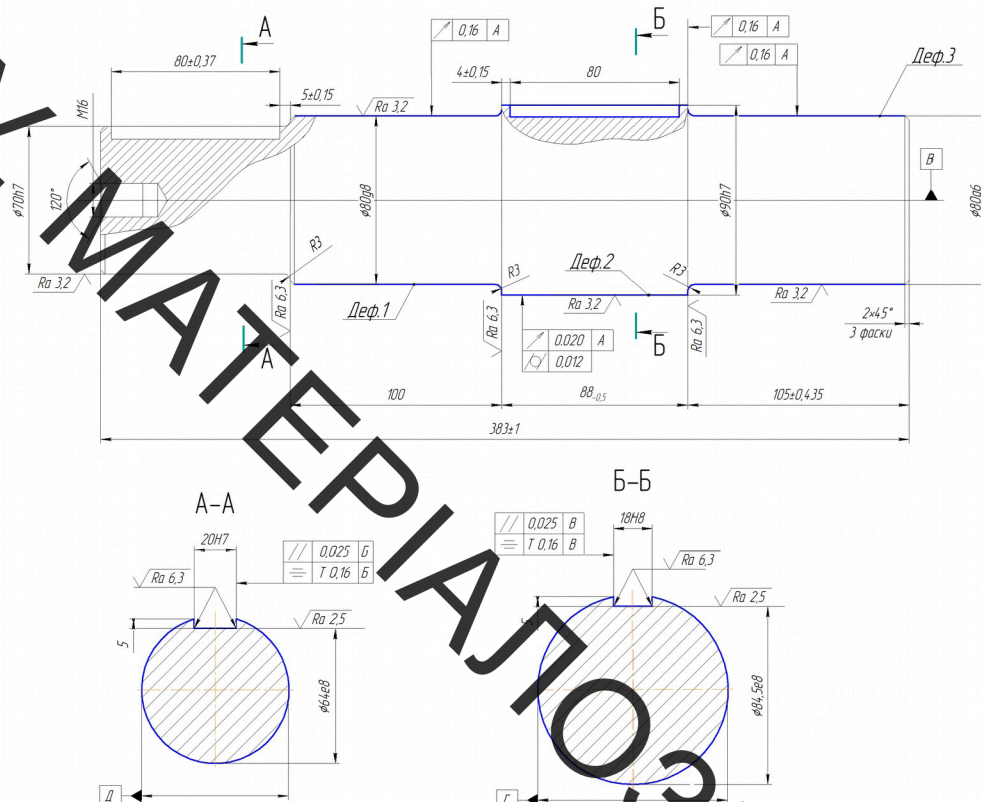


Рисунок 3.4 – Ремонтне креслення валу черв'ячного

Таблиця 3.8 – Дефектація валу

№ п/п	Дефект	Спосіб виявлення дефекту. Вимірювальний інструмент	Розміри, мм	
			За кресленням	Допустимі
1	Спрацювання поверхні валу діаметром	Штангенциркуль ШЦ I 0-200	$\varnothing 80g6_{(-0,010)}^{(-0,029)}$	$\varnothing 79,5$
2	Спрацювання поверхні валу діаметром $90_{-0,019}$ мм (Деф.2) Спрацювання шпоночних пазів (Деф.2)	Мікрометр МЗ75-1 Штангенциркуль ШЦ I 0-200	$\varnothing 90h8_{(-0,022)}^{(+0,021)}$	$\varnothing 89,5$ 20,5
3	Спрацювання поверхні валу діаметром (Деф.3)	Мікрометр МЗ75-1 Штангенциркуль ШЦ I 0-200	$\varnothing 80g6_{(-0,029)}^{(-0,010)}$	$\varnothing 79,5$

Також дана деталь дефектується на приховані тріщини, які виникають в процесі експлуатації чи внаслідок відновлення деталі.

### 3.6 Створення технологічного процесу відновлення поверхонь валу

Першим етапом створення технологічного процесу є визначення кількості переходів та операцій відновлення поверхонь [5,28] .

Кількість переходів механічної обробки залежить від виду поверхні та способу відновлення.

Розрахунковою величиною припуску є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході погрішностей обробки і дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході або операції та компенсації погрішностей, що виникають на виконуваному переході [2]

Для поверхні:  $\varnothing 80g6^{(-0,010)}_{(-0,029)}$

$$\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дем}}; \quad (3.7)$$

$$\varepsilon = \frac{600}{19} = 31,58$$

$$\Sigma = 5 \cdot 4 \cdot 1,578 = 31,58 \text{ (мкм)}$$

Уся зазначена обробка виконується з установкою заготовки на шийки вала.

Визначаємо допуск на виконавчому діаметрі:

$$\left(\frac{1}{6}\right)T_1; \left(\frac{1}{6}\right)T_2; \left(\frac{1}{6}\right)T_3; \quad (3.8)$$

або

$$T_1 = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_1}; T_2 = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_2}; T_3 = \frac{T_{заг}}{\varepsilon_3}; \quad (3.9)$$

$$T_1 = \frac{600}{5} = 120 \text{ (мкм)}.$$

За табличними позначеннями найближче – 10 квалітет – 120 мкм.

$$T_2 = \frac{120}{4} = 30 \text{ (мкм)}.$$

За табличними значеннями найближче – 7 квалітет – 30 мкм.

$$T_2 = \frac{30}{1,578} = 19 \text{ (мкм)};$$

За табличними значеннями найближче – 6 квалітет – 19 мкм.

Аналітичний розрахунок припусків на механічну обробку проведено згідно стандартної методики методики [9. 28]. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 3.9 – Розрахунок припусків на  $\varnothing 80g6^{(-0,010)}_{(-0,029)}$ .

Операція $\varnothing 80g6$	Величина, що визначає $Z_{\min}$ , мкм				$Z_{\min}$ , мкм	Розрахунок розміри відновл. дет.	Допуск на розм., мкм	Гран. розм. віднов. дет., мм		Гран. знач. припуску, мм	
	$R_z$	H	$\rho$	$E_y$				min	max	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
Відновлена деталь	150	150	100	0	-	81,334	600	81,334	81,934		
Шліфування чорнове	50	50	50	0	1000	80,334	120	80,334	80,454	1,0	1.48
чистове	10	10	12.5	0	300	80,034	30	80,034	80,067	0,3	0,387
остаточне	5	5	0.5	0	63	79,971	19	79,971	79.99	0,063	0,077

Загальна товщина нанесеного шару становить  $1,6 + 1,0 = 2,6$  мм, а на сторону приблизно 1,2... 1,3 мм

### 3.7 Розробка технологічного процесу відновлення валу черв'ячного колеса

При виборі раціонального способу відновлення валу потрібно керуватись такими технологічними показниками як простота, економічна доцільність, продуктивність [5, 16, 23, 28].

Враховуючи умови роботи валу, характер та причини виникнення дефектів, проаналізувавши його конструктивні особливості, необхідно при відновленні обрати такий метод, який відповідатиме вимогам:



- мінімальна зона термічного впливу;
- відсутність деформації деталі після відновлення;
- висока твердість та зносостійкість покриття;
- простота обладнання та порівняно дешевий присадковий матеріал.

Тому для відновлення поверхонь можна застосувати наступні методи відновлення:

- наплавлення в середовищі захисних газів;
- наплавлення під шаром флюсу;
- плазмове напилювання порошками.

В роботі [12] показано, що найбільш ефективним способом відновлення є плазмове напилювання порошковим матеріалом.

Згідно результатів дефектування і технології відновлення дефектів складаємо план операцій відновлення:

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

010 - Дефектувальна.

015 – Навлаочна:

Заплавити шпонковий паз на поверхні 2

025 Правка (правка валу на пресі)

030 - Токарна:

а) Точити поверхні 2 до  $\varnothing 89,0 \pm 0,1$  мм ;

б) Точити поверхню 1, 3 до  $\varnothing 79,0 \pm 0,1$  мм ;

035 - Напилювальна: Матеріал для напилювання – порошок ПГ-12Н-03 ТУ 48-19-142-79, підшар – порошок ПТ-НА-01(товщиною 0.05 мм).

Напилити поверхню 2 до  $\varnothing 92 \pm 0,5$  ; поверхні 1 та 3 до  $\varnothing 79,0 \pm 0,1$  мм

040- Фрезерувальна: фрезерувати шпонковий паз.

045– Термічна (гартування СВЧ);

050– Шліфувальна :

б) Шліфувати (попередньо чорнове) поверхню 1 в розмір 80,3

в) Шліфувати (попередньо чистове) поверхню 1 та 3 в розмір 80,1

г) Шліфувати (попередньо тонке) поверхню 1 та 3 в розмір  $\varnothing 80_{(-0,029)}^{(-0,010)}$

055 – Контрольна: контролювати розмір поверхні 1 та 3 до розміру

$\varnothing 80_{(-0,029)}^{(-0,010)}$  , контролювати поверхню 2 до розміру  $\varnothing 90_{(-0,022)}$  .

В таблиці 3.10 наведено маршрут відновлення вала черв'ячного колеса

Таблиця 3.10 – Маршрут механічної обробки валу черв'ячного колеса

№ операції	Найменування операції та технічних переходів	Схема базування	Обладнання
005	Мийна 1. Установити і зняти деталь 2. Мити деталь розчином „Лабомід - 101” ТУ 308.10738-80		1. Мийна машина АКТБ – 116
010	Дефектувальна 1. Установити і зняти деталь 2. Дефектування поверхні Деф.1 згідно ескізу 2. Дефектування поверхні Деф.2 згідно ескізу 3. Дефектування поверхні Деф. 3 згідно ескізу		1. ШЦ-1-125-0.1 ГОСТ 166-73 2. Зразки шорсткості поверхні ГОСТ 2789-73 3. Пристрій контрольний
015	Наплавлення 1. Установити і зняти деталь 2. Заплавити шпонковий паз на пов. Деф.2		1. Установка з ЧПК. Центр 1 – 5 – Н Наплавочна головка
020	Правильна 1. Установити і зняти деталь 2. Провести правку валу		Правильний прес
025	Токарна 1. Установити зняти деталь 2. Точити поверхню 2 згідно ескізу до $\varnothing 89,0 \pm 0,1$ мм 3. Точити поверхню 3 згідно ескізу до $\varnothing 79,0 \pm 0,1$ мм (2 пов. Деф.1 ,3		

Продовження таблиці 3.10

030	Напилувальна 1. Установити зняти деталь 2. Напилити поверхню 1 згідно ескізу до $\varnothing 82 \pm 0,5$ 3. Напилити поверхню 2 згідно ескізу до $\varnothing 92 \pm 0,5$ 4. Напилити поверхню 3 згідно ескізу до $\varnothing 82 \pm 0,5$		1. Установа 3 ЧПК. Центр 1 – 5 – Н 3. Плазмотрон
035	Фрезерувальна 1. Установити і зняти деталь 2. Фрезерувати шпонковий паз поверхні 2 згідно ескізу до розмірів $5 \times 18 \times 80$ (мм)		1. Вертикально- фрезерний універсальний верстат 6Т104
040	Термічна 1. Установити і зняти деталь 2. Провести гартування		1. Індуктивна піч ВЧГ-3- 160/0,066
045	Шліфувальна 1. Установити і зняти деталь 2. Шліфувати поверхню 1 згідно ескізу до розмірів $\varnothing 80_{-0,029}^{-0,010}$ мм 3. Шліфувати поверхню 3 згідно ескізу до розмірів $\varnothing 80_{-0,029}^{-0,010}$ мм 4. Шліфувати поверхню 2 до розмірів $\varnothing 90_{0,022}$		1. Шліфувальн ий верстат М151 2. Центр 1 – 5 – Н

<p>050</p>	<p>Контрольна 1. Контроль поверхні Деф.1 згідно ескізу 2. Контроль поверхні Деф.2 згідно ескізу 3. Контроль поверхні Деф.3 згідно ескізу 4. Шорсткість обробки поверхонь відхилення розмірів</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стіл контрольний</li> <li>2. ШЦ-1-125-0.1 ГОСТ 166-73</li> <li>3. Зразки шорсткості поверхні ГОСТ 2789-73</li> <li>4. Пристрій контрольний</li> </ol>
------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 3.8 Визначення режимів механічної обробки

Розрахунок режимів обробки проведено згідно методики [3, 5, 9, 10], дані розрахунків наведені у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Режими обробки технологічного процесу за операціями

№ОП	Найменування операції	Вхідні дані для обробки
010	Токарна верстат 16К20Ф3	<p>Швидкість різання: <math>V_{різ} = 31 (м/хв)</math>                      Частота обертання: <math>n=200</math> ;                      Глибина різання: <math>t=0,5</math> мм                      Дійсна швидкість різання: <math>V_{д1} = 32,53 (м/хв.)</math>;                      Потужність: <math>N_1=0,8</math> (кВт);</p>
015	Наплавлювальна Установка з ЧПК	<p>Приймаємо струм постійний, зворотної полярності, діаметр електроду <math>d=2,5</math> мм Нп-30ХГС, флюс АН – 28 [10, 12, 17].  <math>I = 40 \cdot \sqrt[3]{90} = 179</math> А. <math>U = 21 + 0,04 \cdot 179 = 28</math> В.                      Швидкість наплавлення  <math>V = 3,14 \cdot 6,25 \cdot 34,2 \cdot 0,9 / 4 \cdot 1,75 = 21,6</math> м/год.                      Швидкість подачі ел. дроту  <math>V^e = 4 \cdot 7,32 \cdot 179 / 3,14 \cdot 6,25 \cdot 7,8 = 34,2</math> м/год.</p>
025	Токарна верстат 16К20Ф3	<p>Швидкість різання: <math>V_{різ} = 31 (м/хв)</math>;                      Частота обертання: <math>n=200</math> ;</p>

		Глибина різання: $t=0,5$ мм Дійсна швидкість різання: $V_{д1} = 32,53$ (м/хв.); Потужність: $N_1=0,8$ (кВт);
Продовження таблиці 3.11		
030	Напилювальна Установка з ЧПК	Швидкість напилювального пристрою: $V_s=22$ , мм/с; Горизонтальна швидкість деталі: $V_n= 1,06$ мм/с. Кількість обертів деталі : $n = 1,0$ об/с кількість проходів $n=8$
035	Фрезерувальна Вертикально-фрезерний верстат: 6Т104	Шпонкова двоперова фреза Р6М5 ГОСТ 6637-80 $Z$ – число зубців фрези = 2. Швидкість різання: $V_{різ} = 34$ (м/хв); Частота обертання: $n=800$ ( об/хв ); Глибина різання: $t=2,5$ мм; Подача: $s=160$ (м/хв);
045	Чорнове шліфування круглошліфувальний верстаті 3М151	Швидкість повздовжнього ходу столу: $s_{пв}=19$ м/хв, Поперечна подача: $s_{пп}=0,05$ мм, Швидкість круга: $v_{кр}=30$ м/с, Частота обертання деталі: $n_д=139$ об/хв.
	Напівчистове шліфування круглошліфувальний верстаті 3М151	Швидкість повздовжнього ходу столу: $s_{пв}=19$ , м/хв, Поперечна подача: $s_{пп}=0,024$ мм, Швидкість круга: $v_{кр}=30$ м/с, Частота обертання деталі: $n_д=139$ об/хв.
	Чистове шліфування круглошліфувальний верстаті 3М151	Швидкість повздовжнього ходу столу: $s_{пв}=17,3$ м/хв Поперечна подача: $s_{пп}=0,008$ мм, Швидкість круга: $v_{кр}=30$ м/с, Частота обертання деталі: $n_д=173$ об/хв.

### 3.9 Нормування технологічного процесу

Норми часу технологічного процесу[ 4, 24] заносимо до таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Норми часу на обробку поверхонь деталі

№	Назваоперації	$t_o$	$t_{доп}$	$t_{оп}$	$t_{обсл}+ t_{відп}$	$T_{шт}$	$T_{п-з}$	$T_{шт-к}$	$n_{дет}$
005	Мийна	3,0	0,45	3,45	0,224	3,674	16	3,70	24
010	Дефектувальна	2	0,8	2,8	0,182	3,6	13	4,14	24
015	Токарна	1,1	0,44	1,54	0,1	1,64	21,7	2,54	24
020	Наплавлення	26,3	0,67	26,93	3,05	29,98	18	30,77	24
025	Правка	За хронометражем						3,2	24
030	Токарна	3,2	0,32	3,52	0,23	3,75	21,7	4,55	24
035	Напилювальна	3,65	0,35	4,0	0,25	4,25	21,7	5,02	24

040	Фрезерувальна	0,58	0,23	0,81	0,052	0,862	19	1,65	24
045	Термічна	3,2	0,32	3,52	0,23	3,75	19	4,55	24
050	Шліфувальна	1,58	0,33	1,92	0,77	2,69	20,5	3,72	24
055	Контрольна	3,0	0,24	3,24	0,21	3,45	18	4,20	24

### 3.10 Створення конструктивної схеми верстата та її опис

Основними елементами конструктивної схеми (рис. 3.5) є напилювальний пристрій 11, закріплений на каретці портального приводу 10, що забезпечує можливість переміщення напилювального пристрою вздовж деталі 6. Відновлювана деталь 6 закріплюється у патроні 5. Патрон 5 закріплено у шпинделі 3 встановленим на підшипниках. Шпиндель 3 через редуктор з осьовим набором 2 з'єднано з електромотором 1 і закріплений на рамі установки [35].

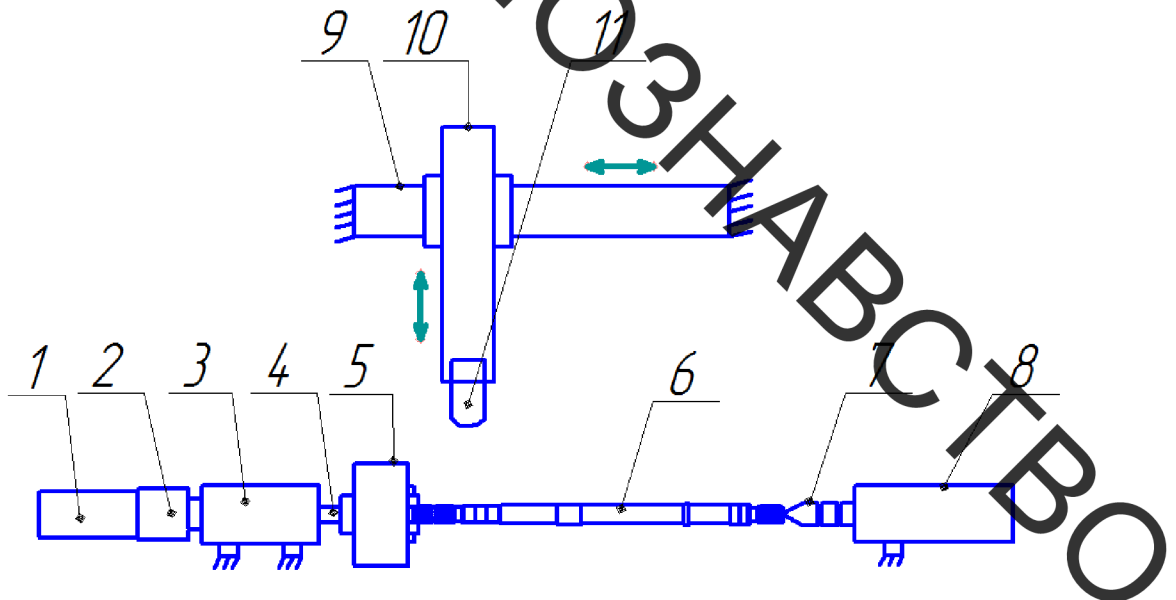


Рисунок 3.5 – Конструктивна схема установки відновлення

1– електромотор, 2 – редуктор, 3– шпиндельний вузол, 4– вал шпинделя, 5 – патрон, 6–деталь що обробляється, 7– центр, 8– пневмоциліндр з фіксуючим штоком, 9 – балка горизонтального переміщення, 10 – каретка портального приводу; 11 – напилювальний пристрій

### 3.11 Розрахунок масоцентровочних характеристик (мцх) деталі та пристрою її закріплення

Для визначення масоцентровочних характеристик розробимо 3D моделі усіх деталей що обертаються (рис. 3.6)



$$J_x = 14049 \text{ кг*см}^2$$

$$J_y = 14049 \text{ кг*см}^2$$

$$J_z = 79 \text{ кг*см}^2$$

В главной центральной системе координат:

$$J_1 = 14049 \text{ кг*см}^2$$

$$J_2 = 14049 \text{ кг*см}^2$$

$$J_3 = 79 \text{ кг*}$$

### 3.13 Розрахунок маси розпилюючого пристрою

Розробимо 3D модель розпилюючого пристрою - плазмотрона (рисунок 3.5)

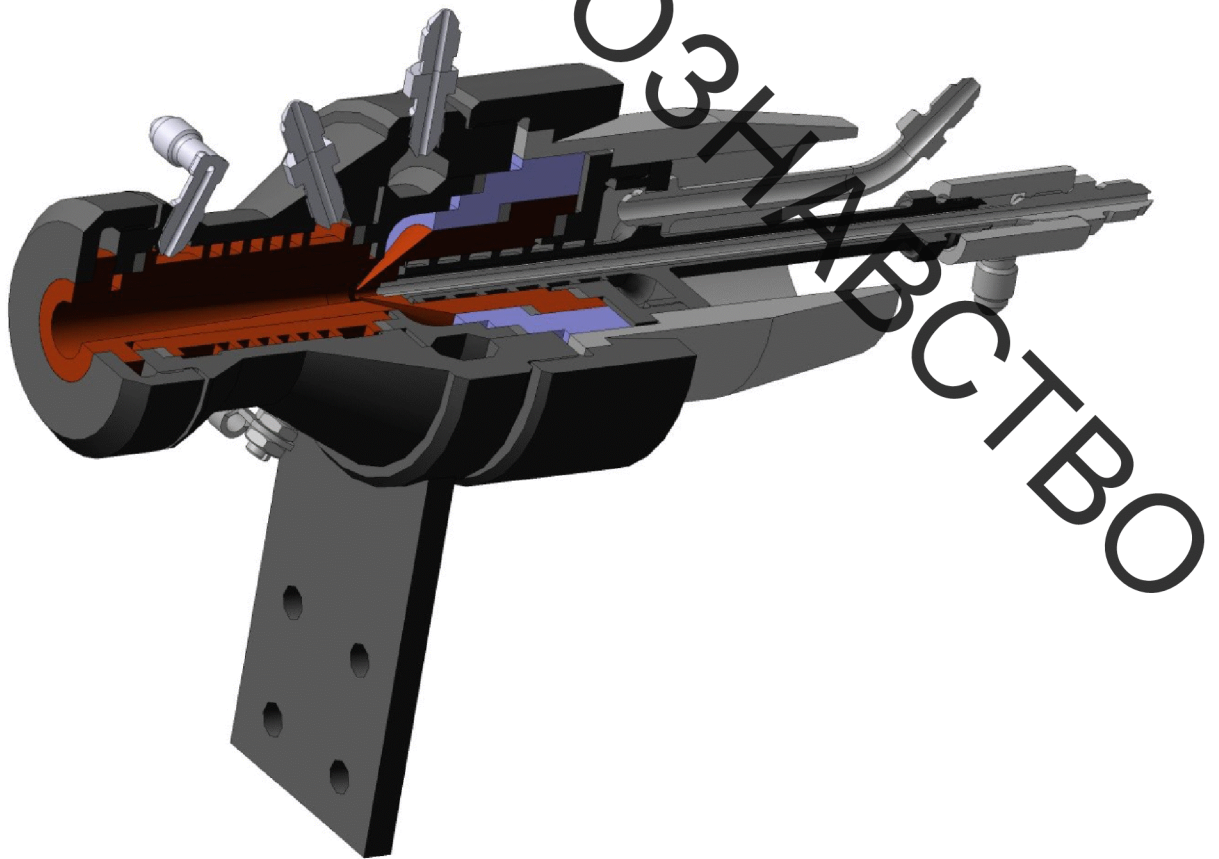


Рисунок 3.5 – 3D модель розпилювального пристрою

Порахуємо засобами САПР Компас масу розпилювального пристрою

Маса  $M = 2500 \text{ г}$

Площа  $S = 168220 \text{ мм}^2$ .

Об'єм  $V = 388823 \text{ мм}^3$ .



Центр мас

$X_c = -0.023048$  мм;

$Y_c = 4.599461$  мм;

$Z_c = -20.271732$  мм.

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

Для розрахунку приводу обертання застосуємо програму Positioning drives компанії Festo[35].

Вихідними даними для розрахунку приводу обертання є момент інерції тіл які треба обертати (в нашому випадку становить  $J_x = 79$  кг\* $см^2$  додаткові сили які є гальмівними або прискорювальними (в нашому випадку відсутні). Відстань від центру тяжіння деталей що обертаються – приймаємо нульовою тому, що застосовано додатковий проміжний циліндр, який сприймає всі навантаження від маси тіл, що обертаються. Максимальна розрахункова частота обертання –  $0,035$  об/с =  $2,1$  об/хв, приймаємо –  $3$  об/хв, що дасть змогу обробляти більшу номенклатуру деталей. Час розгону приймаємо  $1$  с. Тип приводу - сервопривід постійного струму. Включно з вбудованими гальмами та редуктором. Монтажне розташування горизонтальне.

Замовимо на сайті FESTO.COM.UA 3D модель обраного приводу обертання в форматі sat 7, який розпізнає програма Компас. Комплектуючі приводу наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Комплектуючі приводу обертання

Серводвигун	EMME-AS-80-S-LS-Mx
Осьовий набір	EAMM-A-S62-80P-G2
Пневмоциліндр з фіксуєчим штоком із встановленим центром	DSBC-40-100-PPVA-N
Контроллер	CMMP-AS-C2-3A-Mx

Розробимо 3D модель обертача (рис. 3.10). Для чого спочатку розробимо 3D модель шпиндельного вузла та поєднаємо з ним обраний сервомотор і осьовий набір.

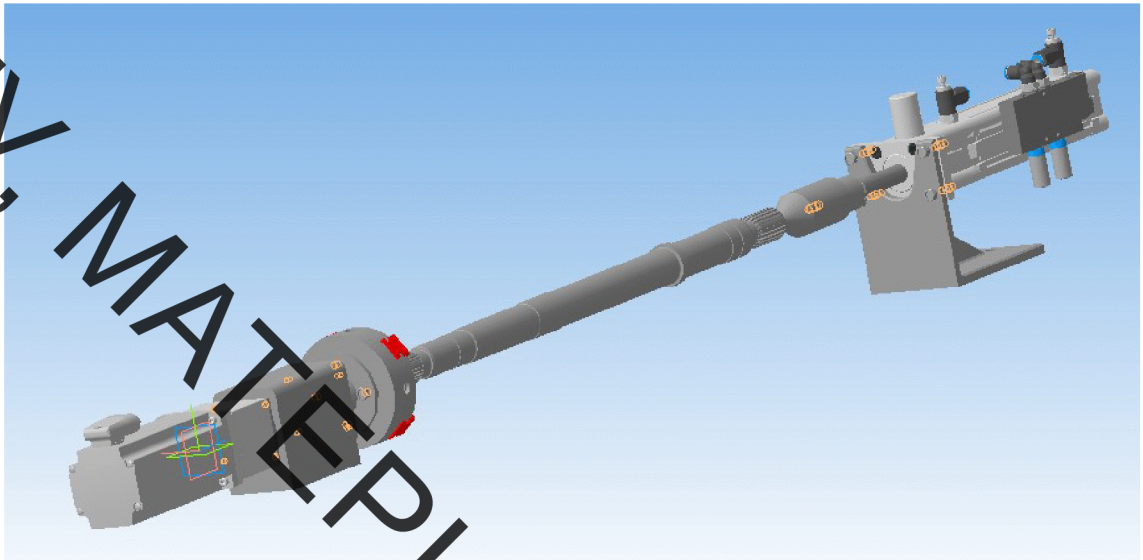


Рисунок 3.10 – Обертач 3D модель

Вихідними даними для вибору привода переміщення напилюючого пристрою є маса, яку необхідно переміщувати, це маса напилювального пристрою – 1,95 кг.

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 7 і представлені нижче. Комплектуючі приводу наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Комплектуючі консольного приводу

Серводвигун	2089730_EMME-AS-60-M-LS-Ax
Редуктор	2089730_EMME-AS-60-M-LS-Ax
Осьовий набір	EAMM-A-D32-60P #543148
Консольний привід	EGSL-BS-45-100-3P #562225
Контроллер електродвигуна	CMMP-AS-C5-3A-M3

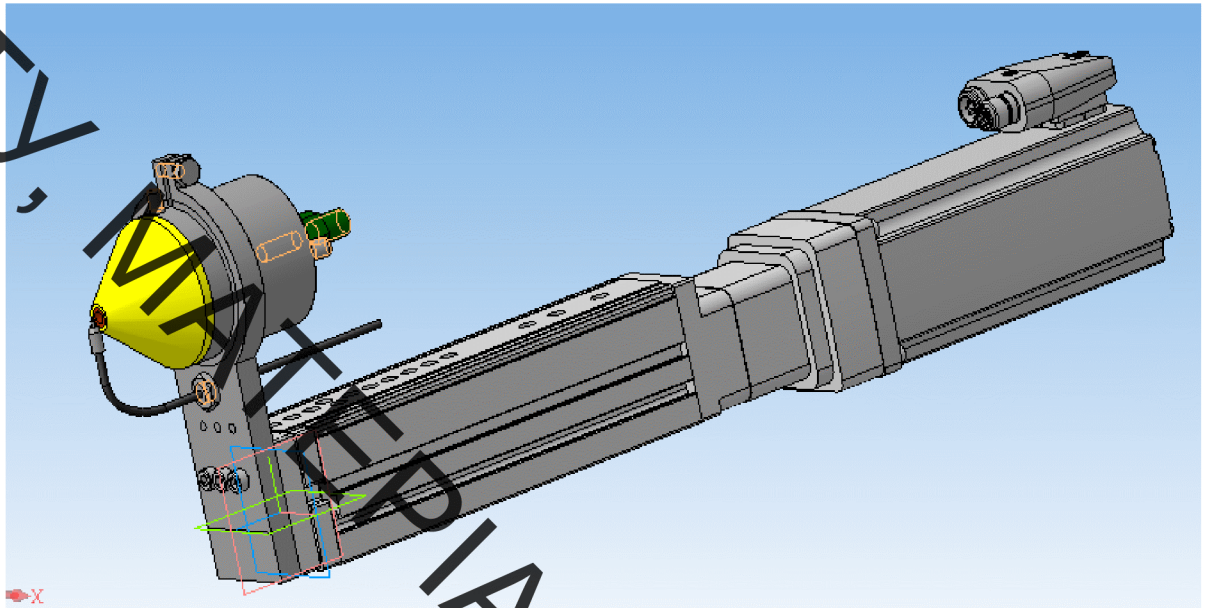


Рисунок 3.11 – Консольна вісь у зборі з плазмотроном

Маса консольної вісі у зборі з плазмотроном складає 10,8 кг. Враховуючи масу ,та розмір поверхні, яку необхідно обробити, оберемо порталний привід за допомогою програми PositionDrives.

Замовимо на сайті FESTO усі необхідні комплектуючі. Комплектуючі наведені в таблиці 3.15

Таблиця 3.15 – Комплектуючі консольного приводу

Портальна вісь	EGC-80-TB-KF-OH-GK
Кроковий двигун	1370491 EMMS-ST-87-L-SE-G2
Осьовий набір	560680 EAMM-A-L38-87A
Комплект адаптерів кріплення	DHAA-p-E7-70-B17-1
Контроллер електродвигуна	CMMP-AS-C5-3A-Mx

Для того щоб цей привід працював до нього треба приєднати кроковий двигун , осьовий набір, кріплення. Типорозміри вказаних деталей вибираємо згідно розділу "documentations" та розділі "accessories" яки є доступними при виборі конкретного механізму на сайті Festo.com.ua

Поєднаємо усі механізми згідно їх функціонального призначення та отримаємо функціональний вузол вертикального та горизонтального переміщень напилювального пристрою та обертання деталі. Розмістимо у просторі всі деталі згідно їх призначення (рис. 3.12).

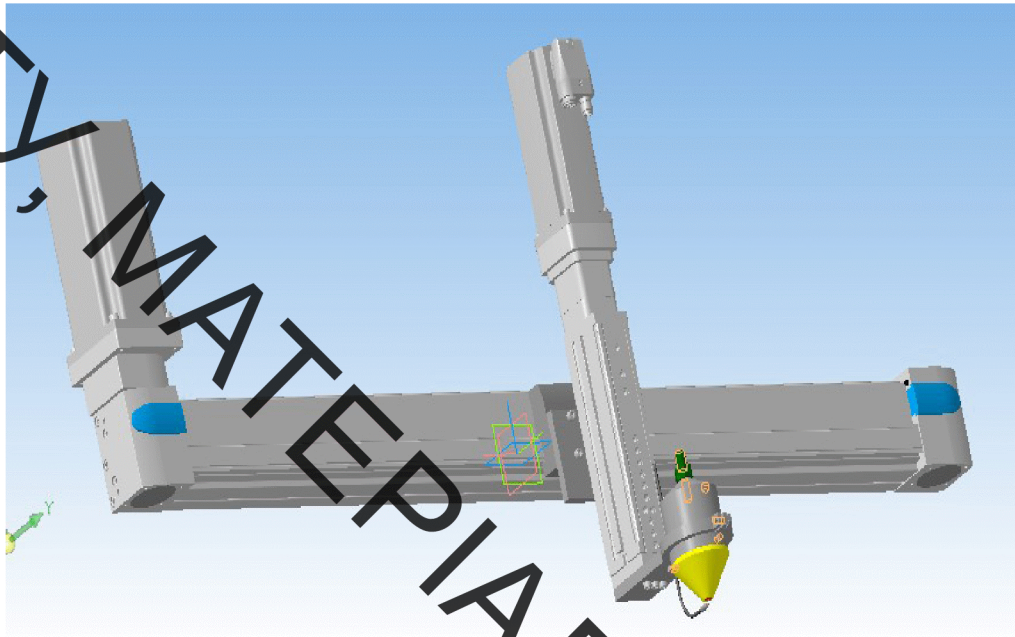


Рисунок 3.12 – Механізм переміщення напилувального пристрою (3D модель)

Наступним кроком є створення рамної конструкції, яка забезпечить задане взаємне розташування всіх механізмів. Для створення рамної конструкції використаємо профільний металопрокат – швелер ГОСТ 8240-79 №16. Конструкція рами зварна. Зварювання електродугове за ГОСТ 5264-80.

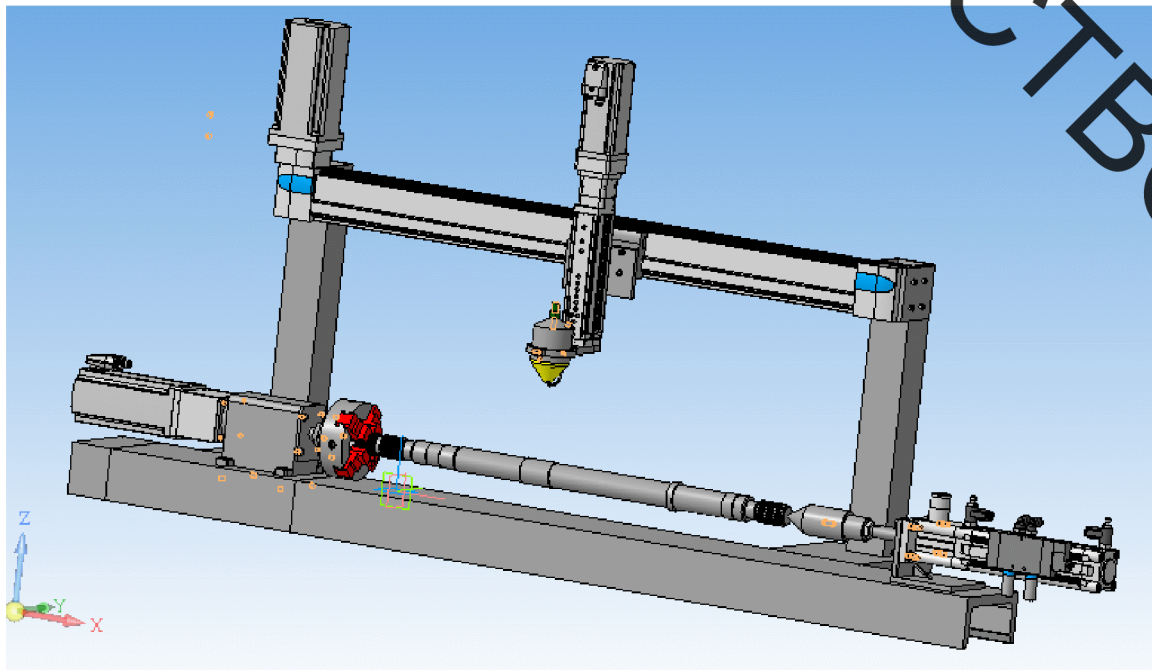


Рисунок 3.13 – 3D модель установки для відновлення валу

### Висновки до розділу 3:

В ході виконання даного розділу магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено технологічний процес відновлення валу черв'ячного колеса. Технологією відновлення валу черв'ячного колеса обрано плазмове напилювання посадкових шийок під підшипники і черв'ячне колесо.

Проведено необхідні розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення, що в свою чергу зменшує трудомісткість та витрату часу. Запропонований технологічний процес відновлення є раціональним та економічно вигідним.

Для реалізації процесу відновлення розроблено конструкторську документацію на складальне креслення установки автоматизованого відновлення з використанням виконавчих механізмів з числовим програмним керуванням. Спроектовано пристрій нанесення покриття: плазмотрон та установку з числовим програмним керуванням для якої розраховані режими відновлення валу.

В процесі роботи застосовувались такі програми. Програма Компас – для 3D моделювання, розрахунку масоцентровочних характеристик, та розробки креслення. Програма Positioning drives – для розрахунку і вибору виконавчих механізмів та комплектуючих деталей.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна частина є завершальним розділом 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 заносимо 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	3	4	3
4	3	3	4
5	3	4	3
6	3	4	3
7	4	3	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 $\overline{CB}$	41,3		

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 41,3, 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 проблема якості та довговічності поверхонь деталей є актуальною в даний час. Сьогодні дуже багато говориться про те, як захистити поверхні тертя деталей від передчасного зношування, тому новизна розробки полягає у визначенні впливу режимів процесу наплавлення на величину припуску на механічну обробку, який суттєво впливає на формування поверхневого шару з покращеними властивостями і його захисту від зношування у порівнянні з його аналогами. За рештою показників (зручність у користуванні) розробка не буде поступатися конкурентам.

Програмне забезпечення буде універсальним, тому може підходити як і простим користувачам-ремонтникам, так і великим підприємствам у промислових масштабах. Основною конкурентною перевагою даного продукту буде застосування оптимальних припусків для механічної обробки під час нанесення покриття та формування поверхневого шару, що дозволяє забезпечити високу надійність та малу вартість. За іншими показниками розробка не буде програвати аналогам на ринку.

Соціальним впливом застосування даного продукту може бути поліпшення якості та довговічності нанесеного покриття на поверхні деталі, задоволенням потреб для конкретного підприємства.

Технічна розробка може бути здійснена за невеликий проміжок часу. Математичні та експериментальні моделі, які необхідні для реалізації продукту готові. Зібрана схема установки з ЧПК на базі вузлів FTSTO для відновлення та підвищення довговічності деталей, 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 процесах відновлення деталей машин.

В даній розробці зацікавлене підприємство, основним напрямом якого є енергетичне збереження та підвищення довговічності і надійності роботи машин та приладів.

## 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

### 4.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців дослідів

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  $Z_o$ , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

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

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

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21...23$  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	7000	318,18	5	1590,9
Інженер	5300	252,38	45	11357,1
Всього				12948

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 :

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

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

погодинна 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 4.4;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21...23$  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-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Величина оплати,
Мийна	0,06	2	30,97	1,85
Дефектувальна	0,07	4	36,06	2,52
Токарна	0,04	4	36,06	1,44
Наплавлення	0,23	4	36,06	8,29
Правка	0,05	3	33,51	1,67
Токарна	0,08	4	36,06	2,88
Напилювальна	0,1	4	36,06	3,60
Фрезерувальна	0,03	3	33,51	1,00
Термічна	0,08	3	33,51	2,68
Шліфувальна	0,06	4	36,06	2,16
Контрольна	0,07	5	38,62	2,70
Всього				30,79

### 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 [6, 7]. На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_d = 0,1 \cdot (12948 + 30,79) = 1297,87 \text{ (грн.)} \quad (4.4)$$

4. Нарахування на заробітну плату  $H_{зп}$  дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (3.5):

$$H_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ (грн.)}, \quad (4.5)$$

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:

$$H_{зп} = (12948 + 30,79 + 1297,87) \cdot \frac{22}{100} = 3140,86 \text{ (грн.)}$$

Отже, нарахування на заробітну плату складають 3140,86 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:

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

де  $C$  – 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  $H_a = 10...25\%$ ;

$T$  – 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 4.6.

Таблиця 4.6 – Амортизаційні відрахування

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Переобладнання старого приміщення	228600	15	3	3810,00
Силові приводи	3800	4	2	31,66
Комп'ютер та інтерфейс	6000	4	5	625
Разом				4466,66

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

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

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 1 кг, грн.	Витрачено, кг	Вартість Витраченого матеріалу, грн
1.ЕлектроднийдрітНп-30ХГСА	65	0,15	9,75
2.ПоршокПГ-12Н-03 ТУ 48-19-142-79	125	0.27	33,75
3.Вуглекислий газ	9	3,0	27,0
4. Газ – Аргон	25	15	375
4.Лобомід	35	0,2	17,5
5.Ганчір'я	7,00	0,1	0,7
Всього з урахуванням транспортних витрат			510,07

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,  $K_i = 1,1 \dots 1,15$ ;

$n$  – 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. Напилувальна установка з ЧПК	1	180 000,00	180 000
2. Обертач	1	4000,00	4000
3. Плазмотрон	1	2500,00	2500
Всього з врахуванням транспортних витрат			205150

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

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

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

$P$  – установлена потужність обладнання, кВт;

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

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_n < 1$ .

Розробка та виготовлення дослідного зразка проводиться в лабораторному приміщенні. Дані стосовно проведених робіт та встановленої потужності обладнання наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Проведення робіт та встановлення потужності обладнання

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість операції, год.	Витрати, кВт	Сума, грн.
УНІХ1-20-2В	0,6	0,06	0,036	0,07
Дефектоскоп УД-12	0,2	0,07	0,014	0,02
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
Фрезерувальний верстат 6Т104	3	0,03	0,09	0,19
Індукційна пч 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				19,93

#### 5. Інші витрати

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

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

$$(4.10)$$

$$B_{in} = 1 \cdot (12948 + 30,79) = 12978,79 \text{ (грн.)}$$

#### 6. Сума всіх попередніх статей витрат

Сума всіх попередніх витрат дає загальні витрати на нову розробку:

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

$$B = 12948 + 30,79 + 1297,87 + 3140,86 + 4466,66 + 510,07 + 205150 + 19,93 + 12978,79 = 240542,97(\text{грн.})$$

Проведемо другий етап прогнозування:

4.2.3 Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи

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

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

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

$$B_{\text{заг}} = \frac{240542,97}{0,7} = 343632,81 (\text{грн.})$$

Проведемо третій етап прогнозування:

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

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

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

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 технології.

$$ЗВ = \frac{343632,81}{0,4} = 859082,03 (\text{грн.})$$

Отже, загальні витрати складають 859082,03 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  $\Delta\Pi_i$  і для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за наступною формулою:

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

де  $\Delta C_o$  – 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;

$C_o$  – 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;

$v$  – ставка податку на прибуток.

В середньому в рік продається 1000 розробок. Середня вартість такої розробки становить 20000 грн.

Впровадження розробки дозволяє збільшити ціну кожного зразка на 2000 грн, враховуючи ціни конкурентів. Також прогнозується, що попит на даний продукт зросте, оскільки даний продукт відрізняється якістю від конкурентних.

Попит збільшиться за перший рік на 200 примірників, а за наступний – на 150 та протягом третього року – ще на 50 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.

$$\Delta\Pi_{2020} = (1000 \cdot 20000 + (20000 + 2000) \cdot 200) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 5001799,92 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_{2021} = (1000 \cdot 20000 + (20000 + 2000) \cdot (200 + 150)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 5678272,86 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_{2022} = (1000 \cdot 20000 + (20000 + 2000) \cdot (200 + 150 + 50)) \cdot 0,8333 \cdot 0,3 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 5903763,84 \text{ (грн.)}$$

#### 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 інвестицій  $PV$ , 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 859082,03 грн.

Далі необхідно розрахувати очікуване збільшення прибутку  $\Delta\Pi$ , 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 5001799,92 тис. грн., за другий рік – на 5678272,86 тис. грн. та за третій рік – на 5903763,84 тис. грн. Тоді рисунок, що характеризує платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, наведений на рисунок 4.1.

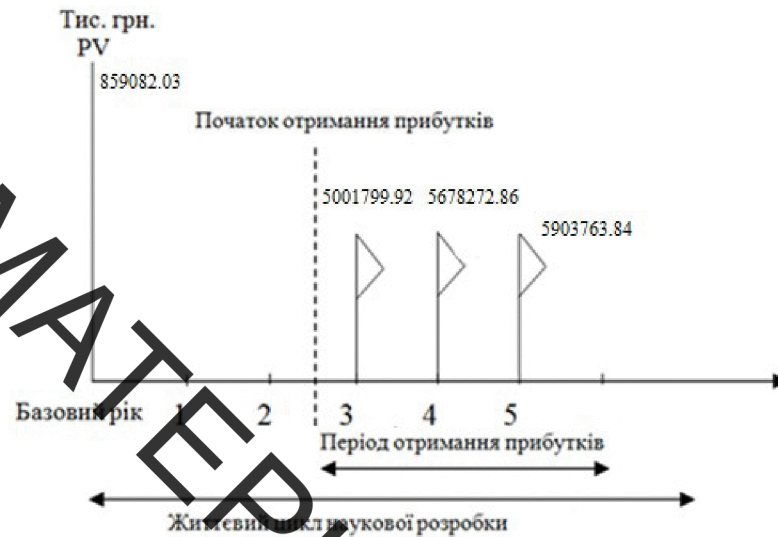


Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДР

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 3 роки. Прогнозований щорічний рівень інфляції в Україні становить 0,1. Розрахуємо приведену вартість всіх чистих прибутків за формулою (3.16):

$$ПП = 859082,03 + \frac{5001799,92}{(1 + 0,1)^4} + \frac{5678272,86}{(1 + 0,1)^5} + \frac{5903763,84}{(1 + 0,1)^6} = 11134715,78 \text{ (грн.)}$$

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

$$E_{абс} = (11134715,78 - 859082,03) = 10275633,75 \text{ (грн.)}$$

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:

$$E_B = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (4.7)$$

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

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

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

$$E_B = \sqrt[3]{1 + \frac{10275633,75}{859082,03}} - 1 = 1,34 = 134\%$$

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 134% перевищує мінімальну (бар'єрну) ставку дисконтування  $\tau_{\min}$ , яка складає 25%. А це означає, що інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

4.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку

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

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

$$T_{ок} = \frac{1}{1,34} = 0,74 \text{ роки}$$

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 зростає, 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.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙШИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз умов праці

На ділянці відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса на працівників можуть впливати шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

До шкідливих виробничих факторів відносять:

- а) підвищена концентрація в повітрі робочої зони газів.
- б) ультрафіолетове видиме і інфрачервоне випромінювання.
- в) шум.
- г) вібрації.

До небезпечних виробничих факторів відносять:

- а) електричний струм;
- б) психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

В зону дихання працюючого можуть попадати аерозолі, а також токсичні гази (оксид вуглецю CO).

Застосовується 3-х фазна, 3-х провідна мережа з ізольованою нейтраллю.

Приміщення є вогнестійкими і оснащені приточно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує задовільний стан повітряного середовища.

Робочі місця оснащуються місцевою витяжною вентиляцією.

Штучне освітлення, електропроводку і інше обладнання виконуються в вибухонебезпечному стані.

Висота стелі повина бути не меншою за 3,2 метри.

Підлогу роблять твердою, негорючою, не слизькою і рівною.

Вхідні двері оббиваються листовою-сталлю і відкриваються назовні. Інтер'єр приміщення ділянки фарбують в світлий колір з дифузійним відбиттям світла. Пости знаходяться на відстані 4-10 м від місця де знаходяться горючі матеріали.

5.1.1 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.

Вимоги до виробничих та допоміжних приміщень. Будівлі повинні відповідати вимогам [21]:

- площа виробничого приміщення на одного працюючого - 4,5 м<sup>2</sup>;
- об'єм виробничого приміщення на одного працюючого - 15 м<sup>3</sup>;
- висота цеху - 3,5м.

Ремонтні майстерні, інструментальні кладові, службові приміщення

повинні розташовуватись в добудованих до основної будівлі.

Згідно зі СНП 2.09.04-87 допоміжні приміщення потрібно розташовувати в добудованих до виробничих будівель в місцях з найменшою дією небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Висота допоміжних приміщень, розташованих в виробничих будівлях, повинна бути не менше 2,4 м.

#### 5.1.2 Мікроклімат

Інтенсивність теплового випромінювання працюючих від відкритих джерел згідно [31] не перевищує  $100 \text{ Вт/м}^2$ , при цьому випромінюванні не підлягає більше 25 % поверхні тіла і обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, в тому числі засобів захисту обличчя та очей.

Роботи, що виконуються відносяться до категорії робіт Пб – середньої важкості. Вони пов'язані з розбиранням і збиранням вузлів і агрегатів, процесами відновлення та зміцнення. Ці роботи пов'язані з середнім фізичним навантаженням.

Параметри, що характеризують мікроклімат в приміщенні є наступними: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

Оптимальні і допустимі норми цих параметрів в залежності від категорії робіт, періоду року та числові значення цих норм додано в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні і допустимі норми параметрів мікроклімату в приміщенні

Період року	Категорія	Температура, °С			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/в	
		Оптим.	Допустима		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
			Верхня гран.	Нижня гран.				
Холод	Пб	17-19	21	15	40-60	75	0.3	0.4
Тепло	Пб	20-22	27	16	40-60	70	0.4	0.5

При роботі відбувається виділення великої кількості газів. Граничнодопустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони приведені в таблиці 5.2.

Для захисту від шкідливих речовин застосовують комплекс організаційно-технічних санітарно-гігієнічних заходів:

- пристрій місцевої витяжної вентиляції для видалення шкідливих речовин від місць їх утворення;

- регулярне прибирання приміщення;
- застосування засобів індивідуального захисту (спеціальний одяг, захисні окуляри, респіратори та інше);
- профілактичні медичні огляди, виконання правил особистої гігієни;
- суворе дотримання правил поведінки з устаткуванням,

Граничнодопустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони наведено в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Граничнодопустима концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони

№ п/п	Назва речовини	ГДК мг/м <sup>3</sup>	Діюче значення, мг/м	Клас небезпеки
1	Бензин паливний	100	84,3	4
2	Гас	300	266	4
3	Тетраетил свинець	0,0005	0,00035	1
4	Оксид вуглецю CO <sub>2</sub>	20	16,7	4
5	Сажа	4	2,8	3

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони проводиться на найбільш небезпечних робочих місцях. При однаковому обладнанні, або при виконанні однакових операцій контроль проводиться вибірково на окремих робочих місцях, розташованих в центрі і по периферії приміщення.

Система вентиляції приміщення буде комбінована, тобто буде поєднувати в собі механічну і природну, організовану вентиляцію.

### 5.1.3 Виробниче освітлення

Згідно з [31] розряд зорової роботи IV а. Освітленість при системі одного загального освітлення 300 лк. Характеристика зорової роботи середньої точності. Найменший розмір розрізнення 1 мм.

На дільниці спроектоване устаткування для освітлення з урахуванням класифікації пожежовибухонебезпечних технологічних одиниць і устаткувань. Значення якісних та кількісних показників освітлення передбачені вимогами і наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Параметри штучного та природного освітлення

					Штучне освітлення	Природне освітлення



Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізн об'єкта, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характеристика фона	Освітленість, лк	КПО %
Малої точності	1	IV	a	малий	300	1,5

Природне освітлення на дільниці - бокове одностороннє. Розрахуємо коефіцієнт природної освітленості:

$$e_{л} = e_{н} \cdot m \cdot c_{к} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,945 \approx 1\%$$

де  $m=0,9$  - коефіцієнт світового клімату для IV поясу;

$c_{к}=0,7$  - коефіцієнт сонячності клімату, азимут  $90^{\circ}$ .

Характеристика штучних джерел світла наведено в табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Підбір штучних джерел світла

Характеристика зорової роботи	Освітленість при системі заломленого освітлення, лк	Мінімальний індекс кольоропередачі джерела світла для виробничої будівлі	Діпазон кольорової апаратури джерел світла для виробничої будівлі	Наведені типи джерел освітлення будівель
Робота з механічними об'єктами	150-300	30	3000-4500	ЛБ, ДБЛ

Люмінесцентні лампи встановлені на висоті 3,2 м. Внутрішня електропроводка виконана з надійною електро- та гідроізоляцією. Робоче місце робітника забезпечене місцевим освітленням. На дільниці передбачене аварійне освітлення, освітлює підлоги в основних місцях і переходах, відповідає - 0,5 лк.

#### 5.1.4 Виробничий шум

Під час роботи на дільниці робітники піддаються впливу шуму. Джерелами шуму є: верстати, вентиляційна система, трансформатори, випрямлячі та інше обладнання.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами Гц									Рівні звуку та еквівален тні рівні звуку в дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

При надмірних шумах встановлено звукоізоляцію, кожухи, відбиваючі екрани, заглушки та інші пристрої. Шумові машини закриваються звукоізолюваними кожухами, які виготовлені з металу та облицьовані з середини звукопоглинаючими матеріалами, де неможливо ізолювати джерела шуму проводять акустичну обробку.

#### 5.1.5 Виробничі вібрації

Крім впливу шуму на ділянки робітники піддаються впливу вібрації. Захист від вібрації повинен задовольняти вимогам [32]. Вібрації знижуються за допомогою амортизаторів, змащувальних матеріалів і реактивних гасників пульсацій. Для особистого захисту робітників застосовують спеціальне взуття на вібропоглинаючій підшві, рукавиці з м'якими налodonниками. На робітників може також діяти локальна та загальна вібрації. Загальна вібрація категорії "З" тип "а", критерії оцінки - границя зниження продуктивності праці.

Нормування вібрацій наведено в таблиці 5.6

Таблиця 5.6 - Характеристики вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативне коректування по частоті і еквівалентне коректування значень			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с <sup>2</sup> ·10 <sup>-2</sup>	дБ	м/с <sup>2</sup> ·10 <sup>-2</sup>	дБ
Локальна	—	X <sub>п</sub> , Y <sub>а</sub> , Z <sub>п</sub>	2,0	12.5	2,0	112
Загальна	3 тип "а"	Z <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub> , X <sub>0</sub>	0,1	100	0,2	92

Віробезпека праці на підприємстві забезпечується дотриманням правил умов експлуатації машин і введення процесів підтримання технічного стану машин, параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища, своєчасним проведенням планового і попереднього ремонту машин і обладнання.

## **5.2 Організаційно – технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи**

### **5.2.1 Техніка безпеки**

Згідно з [32] дільниця відноситься до особливо небезпечної дільниці, оскільки підлога струмопровідна і в повітрі є струмопровідні гази. Захист проводимо такими методами: електроізоляція струмонесучих частин, системи автоматичного відключення - це такі пристрої, спроможні автоматично відключати установку від мережі у випадку виникнення аварійної ситуації.

Для підводу струму до електротримачів необхідно використовувати ізольовані гнучкі кабелі. При прокладанні або переміщенні дротів необхідно приймати заходи проти пошкодження їх ізоляції. Відстань від дротів до гарячих трубопроводів повинна бути не менша 0,5 м. В джерелах живлення обладнання повинні бути передбачені і встановлені надійні огороження елементів, які знаходяться під напругою. Металеві частини обладнання, які знаходяться під напругою повинні бути заземлені. Дільниця повинна бути відокремлена від суміжних робочих місць і проходів незгораємими екранами висотою не менше 1,8 м.

Джерела струму можуть приєднуватись до розподільчих електричних мереж з напругою не більше 380 В. Усе устаткування повинно бути захищене запобіжниками або автоматичними вимикачами з боку мережі, що живлять.

### **5.2.2 Пожежна безпека**

Дільниця належить до категорії приміщення з позначкою Г. Категорію Г для будівель застосовані тому, що дільниця характеризується негорючими речовинами і матеріалами в гарячому або розжареному стані з виділенням променевого тепла, іскр, газоподібних речовин.

Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці відображена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці

Категорія приміщення	Характер речовин та матеріалів, що знаходяться в приміщенні
Г	Негорючі речовини в гарячому або в розжареному стані, в процесі роботи яких виділяється промениста теплота, іскри полум'я, горючі гази, рідини і тверді речовини накопичуються і утилізуються в якості палива

За ступенем вогнестійкості елементів будівля відноситься до групи II.

Ступінь вогнестійкості будівлі II - це будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових матеріалів.

Роботи можуть спричинити пожежу. Для її запобігання вживаємо ряд протипожежних заходів, найважливішим з яких є суворе дотримання протипожежного режиму роботи, а також правил експлуатації електрообладнання. Неможливе зберігання легкозаймистих та вогнебезпечних матеріалів.

Для запобігання пожежі сигналізацію автоматичної дії та теплові попередники максимальної дії. Вони спрацьовують, коли температура повітря досягає заданого критичного значення. Для локалізації та ліквідації невеликих загорань та пожеж застосовуємо первинні засоби пожежогасіння.

Для гасіння пожежі передбачені:

- щити з пожежним інвентарем;
- ящик з піском, кирки, лопати;
- щит з вогнегасниками ОУ-8.

Відстань від найбільш віддаленого місця до найближчого евакуаційного виходу для категорії приміщень Г, незалежно від об'єму, для ступеня вогнестійкості II - не обмежується.

У покритті будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

### 5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Для зниження можливих доз опромінення при ліквідації наслідків у зонах забруднення проводиться дезактивація території, будинків і споруджень, устаткування, техніки й інших об'єктів, виконуються заходи щодо усунення пилу. Роботи ведуться позмінно з урахуванням припустимих доз опромінення, встановлених для формувань. Радіоактивні відходи, що утворюються при дезактивації, вивозяться на спеціально створювані пункти захоронення.

Пункти спеціальної обробки (ПуСО) створюються на межах зон забруднення; люди і транспорт, що відбувають із зон забруднення, на них проходять дозиметричний контроль. При виявленні забруднення вище припустимих рівнів люди проходять санітарну обробку, транспорт – дезактивацію. Забруднений одяг відправляється на дезактивацію, замість нього з підмінного фонду видається чистий. Санобробка людей може також проводитися на стаціонарних санітарно-обмивальних пунктах (СОП), дезактивація – на станціях знезаражування транспорту (СЗТ).

Техніка і майно, що вивозяться із забрудненої території, дезактивуються на спеціальних майданчиках, які обладнуються біля ПуСО.

Реевакуація населення здійснюється після завершення робіт з дезактивації населених пунктів чи зниження забруднення внаслідок природного розпаду РР до припустимих рівнів. Дозвіл на реевакуацію дається після обстеження населених пунктів спеціально створюваними комісіями.

Для проведення дезактивації використовується вода. Разом з водою застосовуються спеціальні препарати, що підвищують ефективність змивання радіоактивних речовин. Це поверхнево-активні і комплексоутворюючі речовини, кислоти, луги. До перших відносять порошок СФ-2 і препарати ОП-7 і ОП-10; до других - фосфати натрію, трилон - Б, Лужна і лимонна кислоти, солі цих кислот.

Для одержання розчину порошок додають у воду невеликими порціями при постійному перемішуванні. Дезактивацію транспортних засобів і техніки проводять із застосуванням 0,15 %-го розчину СФ-2 у воді (улітку) чи аміачній воді, що містить 20 - 24% аміаку. Препарат ОП-7 і ОП-10 застосовують як складову частину дезактивуючих розчинів, призначених для дезактивації поверхонь будинків споруджень і устаткування.

Дезактивація транспортних засобів і техніки проводиться при їхньому зараженні 200 мР/год і більше. Дезактивація проводиться змиванням струменем води під тиском 2-3 атм. чи обробкою дезактивуючими розчинами,

протиранням ганчіркою змоченою в бензині, гасі, дизельному паливі, а також обробкою газокрапельним потоком.

Пункт спеціальної обробки ПуСО доцільно розробляти і організувати на базі даного підприємства тому, що воно повністю забезпечене потрібним персоналом та спеціалістами, які здатні обслуговувати та працювати в ПуСО, також підприємство має всі необхідні засоби техніку та обладнання для організації ПуСО.

Розташування ПуСО зручно зробити на виїзді з міста тому, що поблизу протікає річка, яка повністю може забезпечити потреби ПуСО у водопостачанні. Електропостачання забезпечує лінія електропередач, яка проходить поблизу.

Способи дезактивації техніки і транспорту

До основних способів відносять:

- змивання радіоактивних речовин розчинами для дезактивації, водою і розчинниками з одночасною обробкою зараженої поверхні щітками дегазаційних машин і приборів дозволяє знизити зараженість у 50-80 разів;
- змивання радіоактивних речовин струменем води під тиском дозволяє знизити зараженість в 20 разів;
- видалення радіоактивних речовин переривистим газо-крапельним потоком з використанням спеціальної техніки з турбореактивними двигунами;
- видалення радіоактивних речовин обтиранням заражених поверхонь тампонами з ганчірок, змоченими розчинами для дезактивації, водою або розчинниками; використовується в основному для внутрішніх поверхонь техніки і транспорту;
- замітання (змивання) радіоактивного пилу віниками, щітками, мотлоком та іншими підручними засобами; використовується в основному при проведенні часткової дезактивації;
- видалення радіоактивного пилу методом відсмоктування пилу, здійснюється за допомогою спеціальних комплектів (ДК 4).

При частковій дегазації і дезінфекції з використанням дегазаційних комплектів насамперед обробляються ті частини і поверхні техніки та транспорту, з якими необхідний контакт при виконанні роботи (поставленої задачі).

Повна дегазація складається з повного знезаражування або видалення зі всієї поверхні техніки і транспорту отруйних речовин шляхом протирання заражених поверхонь розчинами для дегазації; при їх відсутності можуть бути використані розчинники і розчини для дезактивації.

Для протирання використовуються щітки дегазаційних машин, комплектів і приладів.

Повна дезінфекція виконується тими самими способами, що і дегазація, але тільки з використанням активних розчинів для дегазації і дезінфекції.

Якщо можливо, то доцільно провадити відразу повну, а не часткову дезактивацію, дегазацію і дезінфекцію техніки та транспорту.

Засоби знезаражування техніки і транспорту:

- авто-розливальна станція АРС- 12У (АРС-14), комплекти ДК-4, ІДК-1, ДК-3;

- комунальна, сільськогосподарська, дорожня і будівельна техніка, що придатна для використання при виконанні робіт зі знезаражування.

Дезактивація одягу, взуття та індивідуальних засобів захисту проводиться вибиванням і витрушуванням, миттям або протиранням (прогумованих і шкіряних виробів) водяними розчинами миючих засобів або водою, а також пранням за спеціальними режимами з використанням речовин для дезактивації.

Дезактивація бавовняного, сукняного і шерстяного одягу та взуття проводиться витрушуванням і вибиванням, а також чисткою щітками.

Якщо названими способами ступінь зараження одягу не можливо понизити до допустимих величин, то він підлягає дезактивації шляхом прання за відповідною технологією.

Дегазація одягу, взуття та індивідуальних засобів захисту здійснюється кип'ятінням, пароаміачною сумішшю, пранням і провітрюванням.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану досліджено вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску для механічної обробки. До уваги прийняті такі елементи режиму наплавлення, які змінювались в межах: напруга – 22...38 В, швидкість наплавлення – 3...7 м/хв та крок наплавлення – 2,8 ... 6,3 мм/об.

2. Встановлено, що на величину припуску впливають напруга, швидкість та крок наплавлення. Із їх збільшенням припуск на механічну обробку зменшується. Це потрібно враховувати при проектуванні технологічних процесів.

3. При наплавленні вуглецевої сталі покритими електродами змінюючі режими наплавлення можна отримати в'язку серцевину з наплавленими шарами високої якості та експлуатаційними властивостями. Гранична лінія наплавленого та основного металів є тонкою та рівною, що свідчить про протікання дифузійних процесів, сповільнених спаданням градієнта температур при кристалізації наплавленого покриття.

4. Технологією відновлення валу черв'ячного колеса обрано плазмове напилювання посадкових шийок під підшипники і черв'ячне колесо.

5. Удосконалено електродуговий плазмотрон для напилювання покриттів, який дозволяє підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.

6. Застосувавши кінцево-елементний аналіз для дослідження конструкції розпилювального пристрою на міцність встановили, що конструкція має суттєві резерви по зменшенню маси та розмірів, що буде виконано під час модернізації.

7. Проведено необхідні розрахунки, які забезпечують високу продуктивність відновлення, що в свою чергу зменшує трудомісткість та витрату часу. Запропонований технологічний процес відновлення є раціональним та економічно вигідним.

8. Для реалізації процесу відновлення розроблено конструкторську документацію на складальне креслення установки автоматизованого відновлення з використанням виконавчих механізмів з числовим програмним керуванням. Спроековано пристрій нанесення покриття: плазмотрон та



установку з числовим програмним керуванням для якої розраховані режими відновлення валу.

9. В процесі роботи застосовувались такі програми. Програма Компас – для 3D моделювання, розрахунку масоцентровочних характеристик, та розробки креслення. Програма Positioning drives – для розрахунку і вибору виконавчих механізмів та комплектуючих деталей.

10. В результаті проведеного прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки отримали зростання чистого прибутку підприємства для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

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.

## СПИСОК ВИКОРОСТОНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безбородов И.А. Управление технологическим формированием свойств базовых деталей и их соединений при ремонте автотракторных двигателей. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т. 2006, 187 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов / [Борисов Ю. С., Харламов Ю. А., Сидорченко С. Л., Ардатовская Е.Н.] – Киев : Наукова думка, 1987. – 544 с.
3. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроение [Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов]. Изд. 4-е перероб. и доп./ А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкрет – М.: Выш. Школа, 1983г.
4. Гурвич И.С., Половская М.И. Методика технического нормирования в ремонтном производстве. Ростов-Дон, 1981-294с.
5. Гругурко І.О. Технологія машинобудування (дипломне проектування). Навчальний посібник./І.О. Гругурко, М.Ф. Брендюля, С.М. Доценко – 2007р. –768 с.
6. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.
7. Козловський В. О. Техніко-екопомічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах і роботах. Навчальний посібник. / В. О. Козловський - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.
8. Кухарев В.Н. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении / В.Н.Кухарев, В.И.Салли, А.М.Эрперт. – К. : Вища школа, 1991. – 304 с
9. Косілова А.Т. Довідник технолога – машинобудівника. / А.Т. Косілова, Р.К. Мещеряков– М. Машинобудування, 1985 р. 1,2 том.
10. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Наплавлення і напилювання» студентами напряму підготовки 6.050504 – Зварювання /Уклад. О.П. Шиліна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 34 с.
11. Мірошник В.О. Ремонт меліоративних, будівельних машин. Практикум.: навч. посібник/ За ред. В.О.Мірошника – К.: Вища школа, 1995р.
12. Нанесення покриття : [навчальний посібник] / [ В. М. Корж, В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, К. А. Ющенко] ; за редакцією академіка НАН України К. А. Ющенко – К. : Аристей, 2005. – 204 с.
13. Наплавлення: навч. посібник // Власов А.Ф., Кузнецов В.Д., Макаренко Н.О., Богущький О.А. – Краматорськ, ДДМА, 2010. – 336с.

14. Нефедов Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». 4-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1984. – 400 с.
15. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е.Патона. – М.: Машиностроение, 1974, - 768 с./
16. Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь : лабораторний практикум / Савуляк В. І., Шенфельд В. Й., Дусанюк Ж. П. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 51 с.
17. Полянский А.С., Дубинин Е.А., Плетнев В.Н. Анализ и классификация показателей ремонтпригодности средств транспорта // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Тракторна енергетика в рослинництві: Зб. наук. праць, Вип. 60. – Харків, 2007. – С. 165-169.
18. Полянский А.С., Дубинин Е.А. Методика оптимизации количества запасных частей быстроизнашиваемых деталей двигателей // Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин: Зб. наук. праць, Вип. 15. – Харків, 2003. – С. 50- 54
19. Протасов К.В. Статистический анализ экспериментальных данных / К.В. Протасов. – М. : Мир, 2005. – 142 с.
20. Попов В.С. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. / В.С. Попов, – Запорожье: Изд-во ОАО “Мотор-Сич”, 2000. –394 с.
21. Савуляк В.І. Визначення складових припуску на механічну обробку отворів у заготовках з наплавленням функціональних покриттів / В.І. Савуляк, С.А. Заболотний, О.В. Шаповалова, В.Й Шенфельд // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2011. - №1(22),- с.148-150.
22. Савуляк В.І. Відновлення деталей машин. Частина перша. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 93с.
23. Савуляк В.І., Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. - Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.
24. Савуляк В.І. Технічне нормування в ремонтному виробництві. Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей/ В.І. Савуляк, С.П. Білошицький – Вінниця:ВНТУ, 2002 – 242

25. Савуляк В.В. Управління якості продукції: навчальний посібник / В.В. Савуляк – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 91 с.
26. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.
27. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов -Новосибирск, Наука, 1986.– 216 с.
28. Токаренко В.М. Технологія автотролейбусного машинобудування і ремонту машин.: курсове проектування. Навч. посібник. К.: Вища школа, 1982р.
29. Шиліна О.П. Газотермічна обробка матеріалів. Навчальний посібник. / О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВДТУ, 2004. 72 с.
30. Шиліна О.П. Газотермічні методи напилювання покриттів. Навчальний посібник./ О.П. Шиліна, А.Ю. Осадчук/ ВНТУ, 2006.- 103 с.
31. Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е.Я.Юдина, С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1983. - 432 с. 4.
32. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под ред. Е.Я.Юдина. - М.: Машиностроение, 1985. - 400 с.
33. [http://www.yondi.ru/inner\\_c\\_article\\_id\\_1305.phtm](http://www.yondi.ru/inner_c_article_id_1305.phtm)
34. [http://www.s-metall.com.ua/stal\\_45.html](http://www.s-metall.com.ua/stal_45.html)
35. FESTO.COM.UA

ВНТУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Додатки

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., проф. Поліщук Л.К.

« 25 » 09 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ  
ВАЛУ ЧЕР'ЯЧНОГО КОЛЕСА

08-27.МКР.05.00.000 ТЗ

Керівник: к.т.н., доцент каф. ГМ  
О.П. Шиліна  
Виконав: ст.гр. 13В-19м  
В.Ю. Морозюк

Вінниця 2020

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

Розробка технічного завдання на магістерську кваліфікаційну роботу складається з основних етапів, які відповідають стандарту та ГОСТ 2.103-2013.

Підстава для розробки наказ ректора ВНТУ № 214 від «25» вересня 2020 року.

## 1 Назва та об'єкт проектування

**Назва:** Підвищення довговічності відновлення робочих поверхонь валу черв'ячного колеса

**Умовне позначення:** 08-27.МКР.02.00.000 ТЗ

За формою, конструкцією та технологічними ознакам валу черв'ячного колеса відноситься до класу „вали”.

Деталь «Вал черв'ячного колеса редуктора» є важливою складовою черв'ячного редуктора і служить для передачі крутного моменту та кутової швидкості від ведучого валу до веденого і є в даному випадку проміжною ланкою редуктора. Вал в редукторі закріплюється на підшипниках кочення  $\varnothing 80g6$  та  $\varnothing 90h7$  зі шпонковим пазом де кріпиться колесо. На валу черв'ячного колеса закріплена маточина, яка нерухомо заблокована шпонкою встановленою у шпонковий паз.

Жорсткі технічні вимоги точності обробки поверхонь ( $\varnothing 80g6^{+0,010}_{-0,029}$ ;  $\varnothing 90h8^{+0,022}$ ) та висока чистота обробки – зумовлені високими вимогами функціонального призначення деталі і точністю розташування деталей, що приєднуються, для забезпечення високої надійності і довговічності роботи вузла.

В якості чистових технологічних баз використовується центрові гнізда. У введенні штучних баз необхідності немає.

Задані на кресленні розміри можуть використовуватись для безпосереднього вимірювання на деталі.

На кресленні деталі немає специфічних вимог і тому немає необхідності змінювати вимоги.

Квалітети точності та шорсткість оброблюваних поверхонь можуть бути забезпечені при застосуванні відповідних методів обробки та кількості переходів. Відносно розташування поверхонь може бути забезпечене за рахунок застосування відповідних схем базування при механічній обробці та правильної організації змісту операцій .

## **2 Мета, завдання, призначення та джерела розробки**

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора ВНТУ №214 від 25.09.20 р., складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки спеціалістів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для кращих експлуатаційних властивостей валу, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектуванням нової конструкції окремого технологічного обладнання.

**Метою роботи** є розробка ефективної технології відновлення робочих поверхонь валу редуктора на основі досліджень впливу параметрів режимів відновлення на величину припуску механічної обробки.

### **Задачі дослідження:**

1. Дослідити на базі математичної моделі вплив матеріалу валу, швидкості обертання валу та стану поверхонь на зносостійкість покриттів .
2. Дослідити вплив режимів процесу наплавлення на величину припуску методом планування експерименту із застосуванням дробового факторного плану.
3. Експериментально дослідити мікроструктуру наплавленого металу в перехідній зоні.
4. Провести удосконалення електродугового плазмотрону для напилювання покриттів, що дозволить підвищити довговічність, продуктивність пристрою та можливість регулювання режимів нанесення покриттів.



5. Дослідити конструкцію модернізованого розпилювального пристрою на міцність кінцево-елементним аналізом з метою зменшення маси та розмірів.

Джерелами розробки є:

- методика техніко-економічного обґрунтування роботи;
- методика проектування технологічного процесу відновлення деталей типу вал;
- методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
- вимоги до комплексу документів “Єдина система конструкторської та технічної документації”;
- загальні правила розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення ГОСТ 14.301-83;
- ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
- технічна література, довідникові видання.

1. Савуляк В.І., Ремонт та відновлення деталей машин та апаратів. Методичні вказівки до виконання курсових проектів / В.І. Савуляк. - Вінниця: ВНТУ [Електронний ресурс], 2009.

2. Гайдамак О. Л. Вузли та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. – Навчальний посібник / О.Л. Гайдамак, В.І. Савуляк – Вінниця: УНІВЕРСУМ. 2005. – 92 с.

3. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – Минск : Выш. школа, 1983. – 243 с.

4. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах і роботах. Навчальний посібник. / В. О. Козловський - Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

5. Козловський В. О. Інноваційний менеджмент. Практикум. / В. О. Козловський, О. Й. Лесько. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 166 с.

6. Оснач О. Ф. Промисловий маркетинг: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ф. Оснач, В. П. Пилипчук, Л. П. Коваленко – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 364 с.

7. Савуляк В.І. Відновлення деталей автомобілів. Навчальний посібник / В.І. Савуляк, В.Т. Івацько. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 104 с.

8. Савуляк В. І. Магістерська кваліфікаційна робота. Загальні вимоги та рекомендації до її виконання : навчальний посібник. / В. І. Савуляк, О. П. Шиліна – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 64 с.

9. Шиліна О.П. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Направлення і напилювання» студентами напряму підготовки 6.050504 – Зварювання /Уклад. О.П. Шиліна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 34 с.

### **3 Технічні вимоги та економічні показники**

#### **3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування**

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу та положенням кафедри по модульно-рейтинговій оцінці рівня та термінів виконання роботи.

Стадії розробки та етапи робіт встановлені по ГОСТ 2.103-2013.

Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

#### **3.2 Вихідні дані для технологічного проектування**

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

- річний обсяг ремонту валу коробки відбору потужності 1000 шт,
- знос поверхонь, що відновлюються менше 0,3 мм, від робочого креслення.

#### **3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації**

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

### **3.4 Вимоги до техніки безпеки та охорони навколишнього середовища**

Конструктивні рішення повинні відповідати вимогам безпеки згідно встановлених параметрів відповідних стандартів по охороні праці та безпеці виробництва.

Викиди в навколишнє середовище не повинні перевищувати параметри, встановлені екологічним паспортом підприємства.

### **4 Стадії та етапи розробки**

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

- техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу відновлення валу коробки відбору потужності;
- розробка основної проектної задачі;
- технологічне проектування технологічного процесу;
- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;
- охорона праці, навколишнього середовища та ЦО;
- економічна ефективність розробок.

### **5 Порядок контролю та приймання**

Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів по ГОСТ 2.705-2013, на листах формату А4 по ГОСТ 9327-90.


08-27.МКР.005.000		8-27.	
МКР.005.00.000		МКР.005.00.000	
М	К	Р	

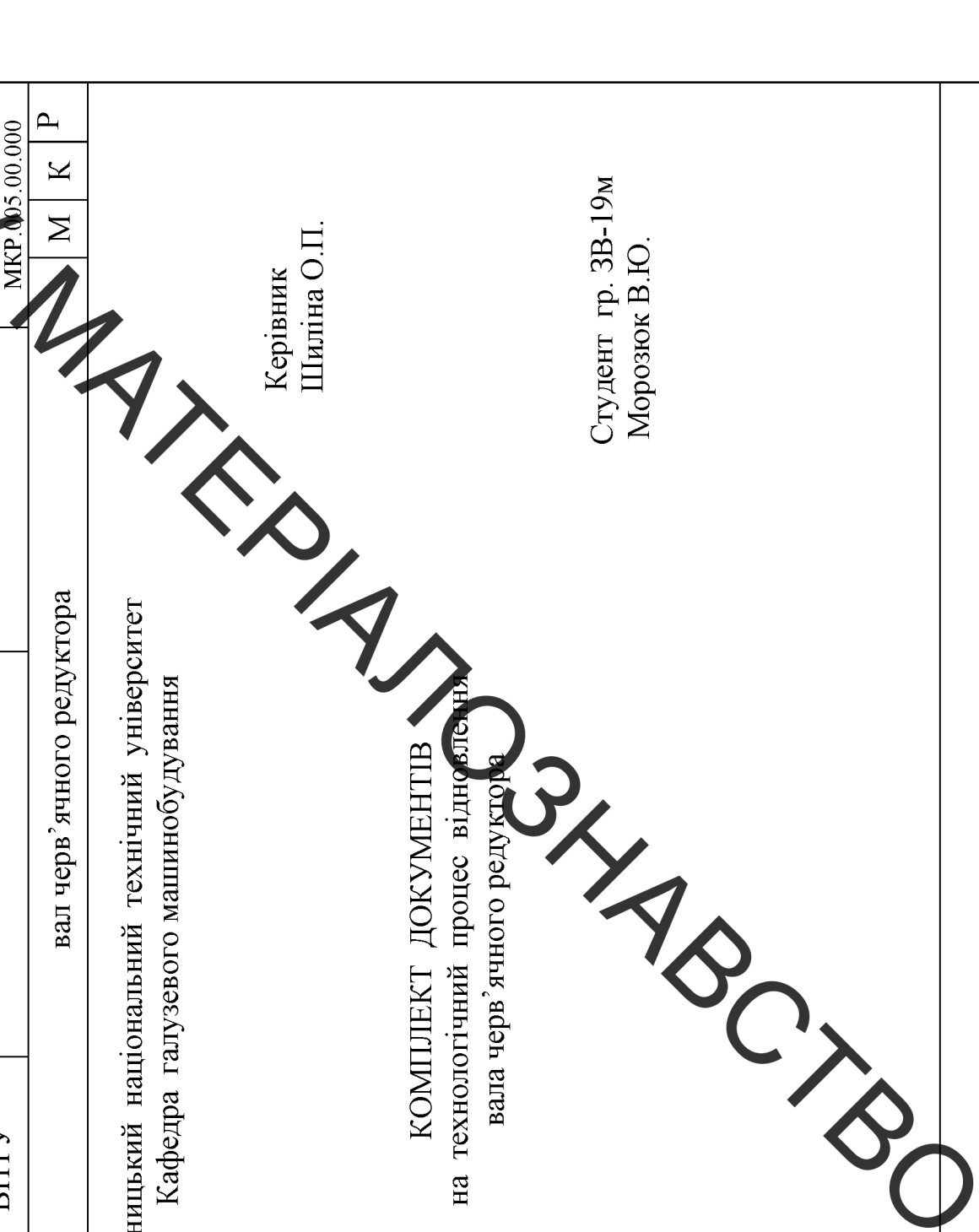
вал черв'ячного редуктора

Вінницький національний технічний університет  
Кафедра галузевого машинобудування

Керівник  
Шиліна О.П.

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ  
на технологічний процес відновлення  
вала черв'ячного редуктора

Студент гр. ЗВ-19м  
Морозюк В.Ю.



Дубл.	
Взам.	
Подп.	

Дубл. Взам. Подп.											08-27.МКР.005.00.000	08-27.БДР.003.00.000					
Розроб.	ВНТУ																
Перев.																	
М.контр.																	
Н.контр.																	
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції	СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОН	К_шт	Т_цз	Т_шт	Листов
Б	Код, найменування обладнання																
Р	Назва документа																
К/М																	
02	Маршрутна карта ремонту										08-27. МКР.005.102-5.01	МК	1				
03	Операційна карта наплавки										08-27. МКР.005.102-4.2	ОК	1				
04	Операційна карта точення										08-27. МКР.005.102.04	ОК	1				
05	Операційна карта напилювання										08-27. МКР.005.102.04	ОК	1				
06	Операційна карта фрезерування										08-27. МКР.005.102.04	ОК	1				
07	Операційна карта шліфування										08-27. МКР.005.102.05	ОК	1				
08	Операційна карта технічного контролю										08-27. МКР.005.103.01	ОК	1				
09	Відомість оснастки										08-27. МКР.005.102-5.01	ВО	1				
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
МК	Відомість технологічної документації																

Дубл.	Взам.	Подп.											08-27. МКР.005.00.000								
Розроб.	Морозюк В.Ю.											ВНТУ									
Перев.	Шиліна О.П.											08-27. МКР.005.102-5.01									
М.контр.												Вал черв'ячного редуктора									
Н.контр.	Шиліна О.П.																				
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції					СМ	Проф	Р	УТ	КР	ЕН	ОП	К <sub>нтр</sub>	Т <sub>нз</sub>	Т <sub>нр</sub>		
Б	Код, найменування обладнання										Обозначение документа										
А 04	<b>015 Напдавлення</b>																				
Б 05	Установка з ЧПК											Звар.	4		1						
А 07	<b>025 Токарна</b>																				
Б 08	Токарно-гвинторізний верстат 16К20Ф3											Токар.	4		1						
Т 09	Центр 1-5-Н, прохідний різець Т5К10, штангенциркуль																				
А10	<b>030 Напилювальна</b>											Звар.	4								
Б05	Установка з ЧПК, плазмотрон																				
А11	<b>040 Фрезерна</b>											Фрез.	3								
Б10	Вертикально-фрезерний верстат: 6Т104																				
А11	<b>045 Шліфування</b>																				
Б11	Круглошліфувальний верстат 3М151											Шліф.	3		1						
Т 11	, мікрометр																				
А 12	<b>035 Контроль</b>																				
Б 13	Стіл контрольний											Контр	5		1						
Т 14	Мікрометр, кутомір																				
МК	Маршрутна карта ремонту																				











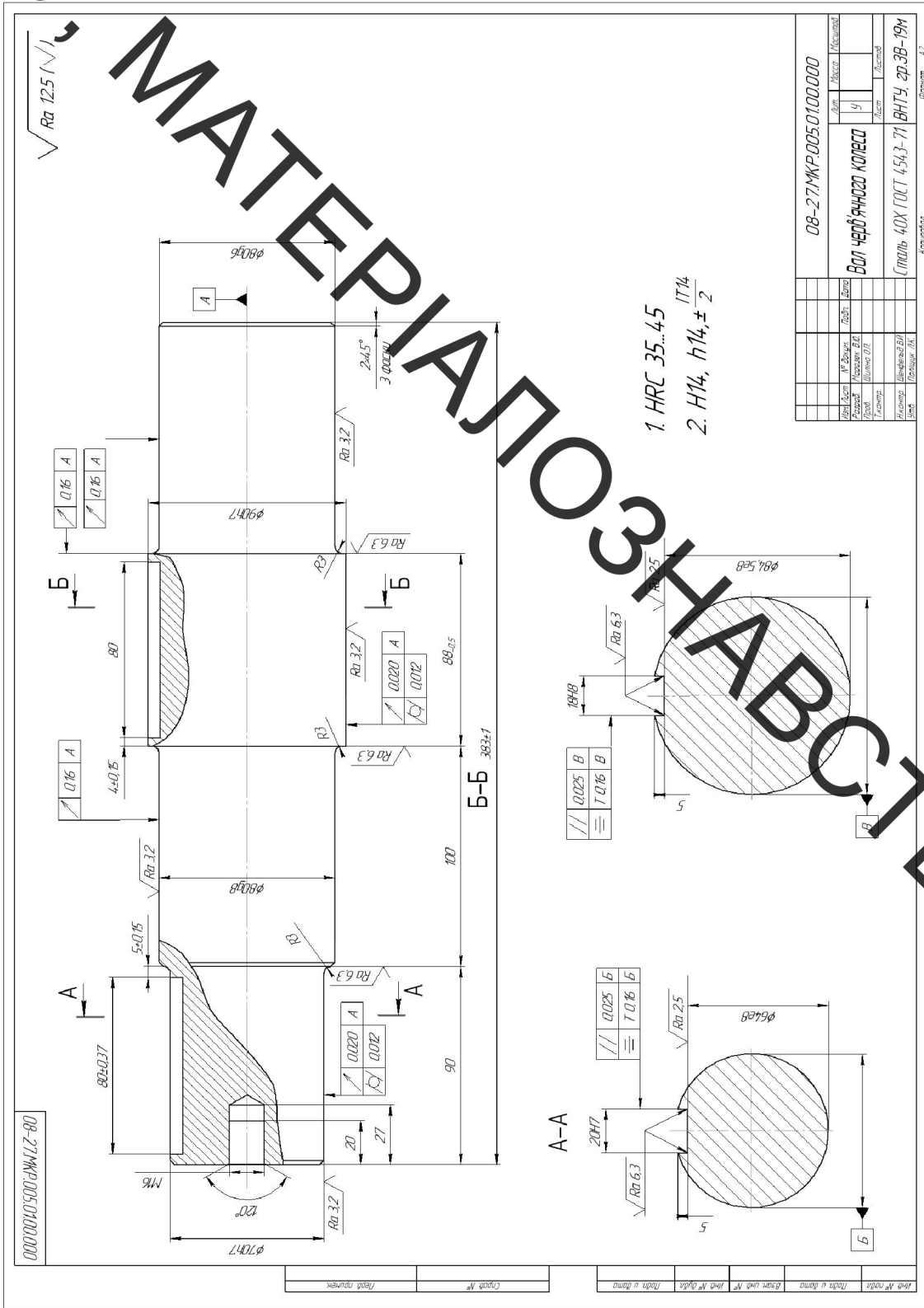




				08-27. БДР. МКР.005.00 ТП			
Розроб.	Морозюк В. Ю.			ВНТУ		08-27. МКР.005.001.06 ТП	
Перев.	Шиліна О.П.						
Н.контр.	Шиліна О.П.			Вал 02.001.005			
		Код, найменованіє операції		Обозначеніє документа			
01			<b>030 Напилуваннн</b>	НОТ №1875-82			
		Код, найменованіє оборудуваннн		Установка з ЧПК			
02						Тв	То
К/М	Найменованіє деталі, сб. єдіннціи или матеріала		Код, обозначеніє	ОП П	ЕВ	КИ	Нрасх.
Р				І, А	Ц, В	Улінійн	ω
Б 03							
О04	1. Установити деталь, закріпити, зняти						
Т05	Хомутік поводковий ГОСТ 2578-70, центр упорний ГОСТ 2573-74, центр обергальний ГОСТ 8242-71.						
О 06	2. Напилити поверхні 1,2,3 в розмір Ø90, Ø80.						
Т 07							
М 08							
Р 09			145	26,8	22	1,0	0,2
10							
11							
12							
13							
14							
15							
ОК	Операційна карта наплавки						

ВНТУ

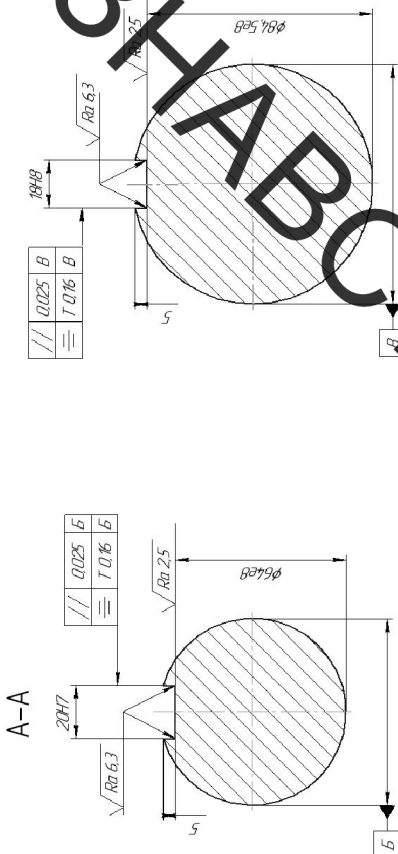
МАТЕРИАЛ



08-271MKP.005.0100.000

08-271MKP.005.0100.000		Лист	Итого	Масштаб
Воп	Число	Листов	Итого	Масштаб
Воп Чертежная компания				
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71 ВНТУ зр.38-194				

1. HRC 35...45  
2. H14, h14, ± 1/2 IT14



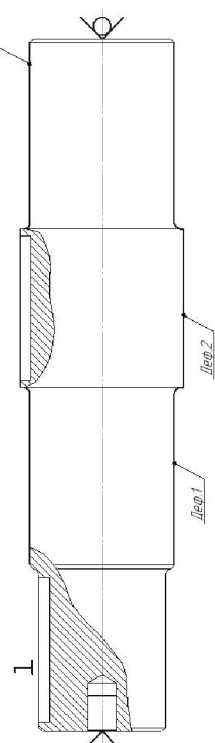
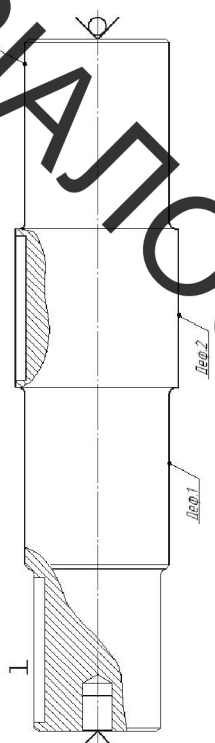
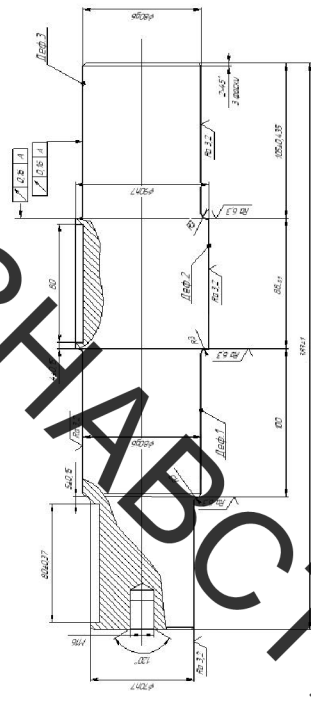
Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия
Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия
Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия
Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия	Имя и Фамилия



№	Найменування операції та технічних переходів	Схема установки	Обладнання
010	<p><u>Ми́на</u></p> <p>1. Встановити та зняти деталь; 2. Ми́ти деталь розчином "Лобанід-10Г"</p> <p><u>Дефектувальна</u></p> <p>1. Установити і зняти деталь; 2. Дефектування поверхні Девф.1 згідно ескізу; 3. Дефектування поверхні Девф.2 згідно ескізу; 4. Дефектування поверхні Девф.3 згідно ескізу</p>		<p>Ми́на машина АКТ5-116</p> <p>1. ШЦ-4-125-0.1 ГОСТ 166-73 2. Зразки шорсткості поверхні ГОСТ 2789-73 3. Пристрій контрольний</p>
015	<p><u>Токарня</u></p> <p>1. Встановити та зняти деталь; 2. Точити пов. 2 згідно ескізу до <math>\phi 89^{+0.08}</math> мм; 3. Точити пов. 3 згідно ескізу до <math>\phi 79.0^{+0.08}</math> мм; 4. Точити пов. 1 згідно ескізу до <math>\phi 79.0^{+0.08}</math> мм;</p>		<p>1. Токарно-гвинтаризний верстат 16К20Ф3 2. Центр 1-5-Н 3. Подвійний патрон 4. Подвісок звичайний</p>
020	<p><u>Напильовальна</u></p> <p>1. Встановити та зняти деталь; 2. Запилити шпандовий паз на пов.2.</p>		<p>1. Установка з ЧПУ 2. Центр 1-5-Н 3. Напильовна головка</p>
025	<p><u>Термічна</u></p> <p>1. Встановити і зняти деталь; 2. Провести відпуск</p>		<p>1. Індукційна ВЧГ-3-160/0,066</p>
030	<p><u>Правильна</u></p> <p>1. Встановити і зняти деталь; 2. Провести правку</p>		<p>1. Прес правильний</p>
035	<p><u>Токарня</u></p> <p>1. Встановити та зняти деталь; 2. Точити начерно пов. 1, 3 згідно ескізу до <math>\phi 80.3^{+0.02}</math> мм; 3. Точити начерно пов. 2 згідно ескізу до <math>\phi 90.3^{+0.02}</math> мм; 4. Точити начисто пов. 1, 3 згідно ескізу до <math>\phi 80.05^{+0.002}</math> мм; 5. Точити начисто пов. 2 до <math>\phi 90.05^{+0.002}</math> мм</p>		<p>1. Токарно-гвинтаризний верстат 16К20Ф3 2. Центр 1-5-Н 3. Подвійний патрон 4. Подвісок звичайний</p>
040	<p><u>Фрезерувальна</u></p> <p>1. Встановити та зняти деталь; 2. Фрезерувати шпандовий паз пов.2 згідно ескізу до розмірів 5x15x80</p>		<p>1. Вертикально-фрезерний універсальний верстат 6Т104</p>



ВІНТКУ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

№	Найменування операції та технічних вимог	Схема установки	Обладнання
045  Терміка 1 Установка і зняття деталей 2 Пробиєння гуртубовання		1. Індукційна ВЧ-3-0/10/100	
050  Шліфування 1 Встановити та зняти деталь 2 Шліфувати поаб. 1 згідно ескізу до $\phi 80^{+0,010}$ мм. $-0,025$ 3 Шліфувати поаб. 3 згідно ескізу до $\phi 80^{+0,010}$ мм. $-0,025$ 5 Шліфувати поаб. 2 до $\phi 90$ мм $-0,022$		1. Шліфувальний верстат ЗМ51 2. Центр Т-5-Н	
055  Діагностика 1 Установка і зняття деталей 2 Діагностика поверхні ДвФ.1 згідно ескізу 3 Діагностика поверхні ДвФ.2 згідно ескізу 4.3 Діагностика поверхні ДвФ.3 згідно ескізу		1. Стіл контрольний 2. ШЛ-Т-25-01 ГОСТ 166-73 3. Зроби широкості поверхні ГОСТ 2789-73 4. Пристрій контролю	

Перв. примен.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
			08-27.МКР.005.02.01.10СК	Складальне креслення		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	08-27.МКР.005.02.01.101	Патрон	1	
		2	08-27.МКР.005.02.01.10	Центр	1	
				<u>Детали</u>		
		4	08-27.МКР.005.02.01.103	Плантшайба	1	
		4	08-27.МКР.005.02.01.104	Кутник	1	
		5	08-27.МКР.005.02.01.10	Кришка	1	
		6	08-27.МКР.005.02.01.10	Вал шпинделя	1	
		7	08-27.МКР.005.02.01.107	Корпус	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		7		Серводвигун ЕММЕ-AS-80-M-LS-AM	1	
		9		Осьвий набір ЕАММ-А-S62-80P-G2	1	
		10		Гайка М10-6g 3558.016 ГОСТ 7898-70	4	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

08-27.МКР.005.02.01.100

Обертач

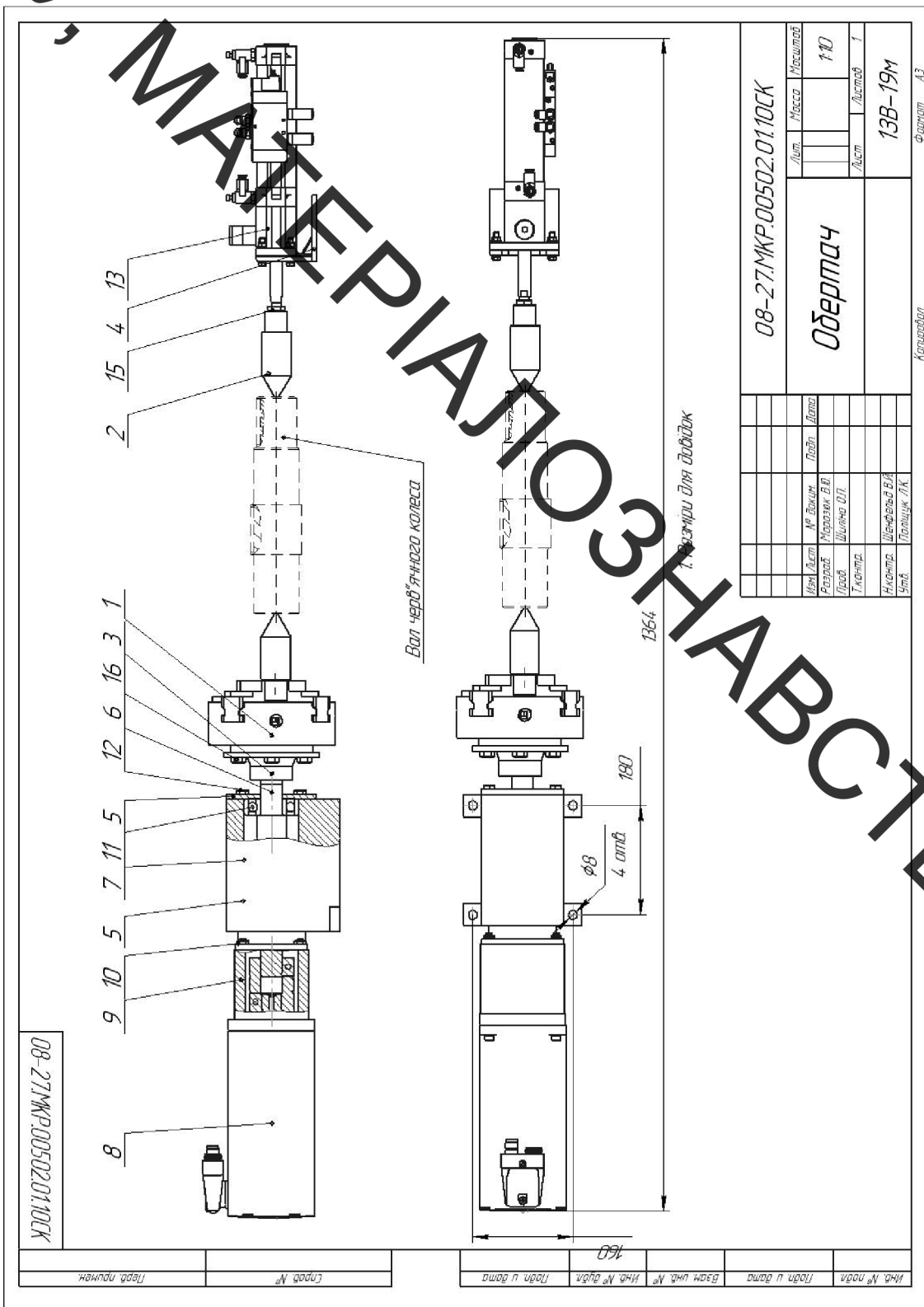
13В-19М

Лит.	Лист	Листов
	1	2

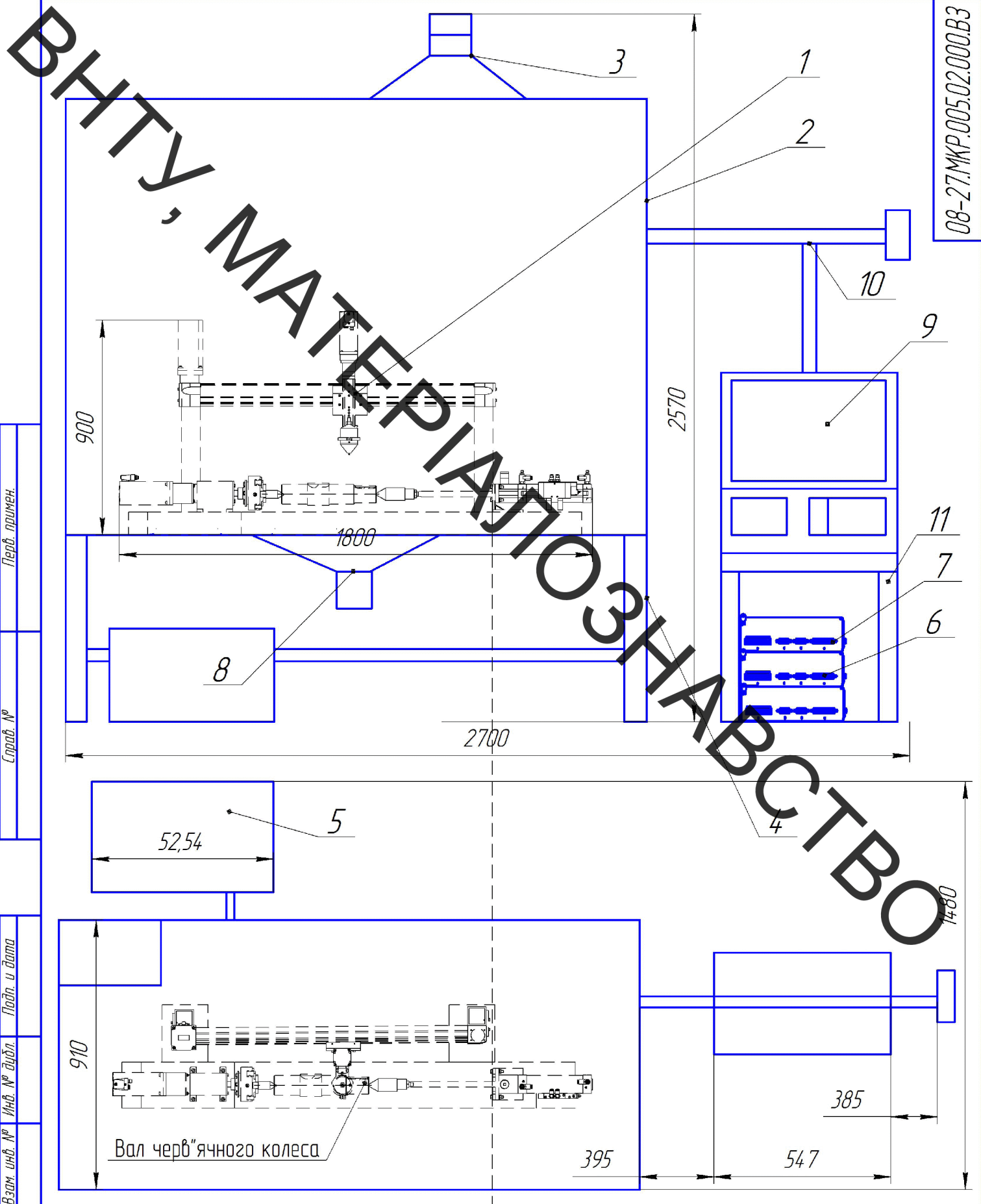


ВНТК

МАТЕРИАЛЫ  
 3  
 ЦАВСТВО







08-27.МКР.005.02.000.В3

Перв. примен.	Справ. №	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Инв. № подл.

08-27.МКР.005.02.000.В3

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.	Морозюк В.Ю.			
Проб.	Шиліна О.П.			
Т.контр.				
Н.контр.	Шенфельд В.И.			
Утв.	Поліщук Л.К.			

Робоче місце

Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

13В-19М

Перб. примен.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
08-27.МКР.005.02.01.000				<u>Документація</u>		
	A1		08-27.МКР.005.02.01.00СК	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
	A4	1	08-27.МКР.005.02.01.10	Обертач	1	
	A4	2	08-27.МКР.005.02.01.20	Плазматрон	1	
				<u>Деталі</u>		
	A4	3	08-27.МКР.005.02.01.30	Кронштейн	1	
	A4	4	08-27.МКР.005.02.01.40	Права частина рами	1	
	A4	5	08-27.МКР.005.02.01.50	Ліва частина рами	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
			6		Сервомотор ЕММЕ-АС-80-М-LS-AS	1
		7		Осьовий набір ЕАММ-А-D32-60Н	1	
		8		Лінійна вісь EGSL-BS-45-100-10P	1	
		9		Болт М6-6д x 35.58.016 ГОСТ 7898-70	6	
		10		Гвинт ВМ6-6дx25.14Н.016 ГОСТ1491-80	1	
		11		Вушко ДНАА-Г-Е7-70-В17-14	2	
<b>08-27.МКР.005.02.01.000</b>						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.		Морозюк В.Ю.			
	Проб.		Шилина О.П.			
	Н.контр.		Шенфельд В.И.			
Утв.		Поліщук Л.К.				
<b>Установка з ЧПК</b>				Лит.	Лист	Листов
				4	1	1
				<b>13В-19М</b>		

