

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розробка технологічного процесу виготовлення деталі "Шестерня"»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-111

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОРОТКИЙ Р.Є.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИЩИН П.Р.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет машинобудівний  
Кафедра «Технологія машинобудування»  
Ступінь вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КРОТКОМУ Руслану Євгенійовичу

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка технологічного процесу виготовлення деталі "Шестерня"

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ТРИШИН П.Р.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «25» квітня 2025 року №199

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=7500шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3. Розробка планування ділянки; 4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки; 5. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення деталі, заготовки, графічне зображення етапів підготовки управляючої програми та розрахунків на міцність, креслення робочого пристосування.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 5	ТРИШИН П.Р., доцент		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доцент		
нормоконтр.	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	20.05.2025	
2	Конструкторська частина	27.05.2025	
3	Розробка планування ділянки	29.05.2025	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки, охорона праці	03.06.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	05.06.2025	
6	Нормоконтроль і рецензія	07.06.2025	
7	Захист дипломного проекту	14.06.2025	

Студент

( підпис )

Руслан КОРОТКИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

Павло ТРИШИН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 81 с., 15 рис., 24 табл., 2 додатки, 10 джерел.

ШЕСТЕРНЯ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ  
ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ  
РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – шестерня.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення шестерні.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення «Шестерні», розраховано економічний ефект від впровадження верстатів з ЧПК, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму на операцію з ЧПК, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на дільниці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі..	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	13
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	13
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	14
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	16
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	18
1.6 Розрахунок режимів різання.....	22
1.6.1 Операція круглошліфувальна №75.....	22
1.6.2 Операція зубофрезерна №45.....	25
1.6.3 Операція свердлильна №35.....	27
1.7 Технічне нормування операцій.....	31
1.7.1 Технічне нормування круглошліфувальної операції №75.....	31
1.7.2 Технічне нормування зубофрезерної операції №45.....	33
1.7.3 Технічне нормування свердлильної операції №35.....	35
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	36
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	39
2.1 Проектування та розрахунок робочого пристрою	39
2.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою.....	39
2.1.2 Обґрунтування пристосування.....	40
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	42
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	42

2.3 Розрахунок на міцність деталі «Шестерня».....	43
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ.....	47
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	66
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	68
Додаток Б. Технологічні карти.....	70

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технічне середовище

КГШП – кривошипний гаряче штампувальний прес

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

## ВСТУП

Сучасне машинобудування неможливе без високоточної та надійної передачі руху в механізмах. Одним із ключових елементів більшості механічних систем є шестерня – деталь, яка забезпечує передачу крутного моменту між валами, зміну швидкості обертання та напрямку руху. Висока якість виготовлення шестерень безпосередньо впливає на ефективність, довговічність та безпечність роботи машин і механізмів.

У зв'язку зі зростаючими вимогами до точності, міцності та ресурсу роботи зубчастих передач, особливо важливим стає раціональний вибір матеріалу, методів обробки та технологічного маршруту виготовлення шестерень. Саме тому розробка ефективного технологічного процесу виготовлення цієї деталі є актуальним завданням для сучасного виробництва.

Метою даного дипломного проєкту є створення оптимального технологічного процесу виготовлення шестерні з урахуванням вимог до точності, якості поверхні, економічності виробництва та умов експлуатації. У роботі буде розглянуто вибір заготовки, планування маршруту обробки, підбір обладнання, інструменту та режимів різання, а також питання контролю якості готової деталі.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Шестерня» (рис. 1.1) є складовою частиною редукторного механізму. Вона виконує функцію передачі крутного моменту від вала з вищою частотою обертання до повільнообертового вала. Ключовим елементом для побудови геометрії деталі є її центральна вісь. На зовнішній поверхні деталі розміщено зубчастий вінець із модулем  $m = 3$  та кількістю зубців  $z = 114$ , що забезпечує передачу обертання відповідно до кінематичної схеми механізму.

Точність виготовлення зубчастої поверхні відповідає класу 7-В згідно з вимогами стандарту ГОСТ 1643-81. Щоб досягти необхідної точності, зазначеної на кресленні, зубці проходять термічну обробку з подальшим шліфуванням.

У виробництві деталі застосовується сталь марки 45, яка має відповідний хімічний склад (див. таблицю 1.1). Цей матеріал широко використовується у машинобудуванні для виготовлення відповідальних елементів підвищеної міцності, таких як вали, осі, зубчасті колеса, шпинделі, піввісі, втулки, болти, а також інші деталі, що працюють під навантаженням.

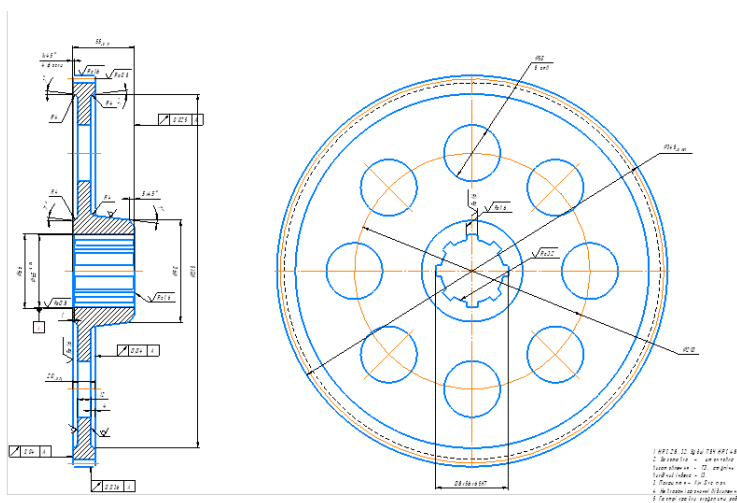


Рисунок 1.1 – Креслення шестерні

Таблиця 1.1 – Хімічний склад, у %, сталі 45 [1]

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
основа	0,42...0,5	0,17...0,37	0,5...0,8	До 0,3	До 0,04	<0,035	До 0,25	До 0,3

Технічні вимоги до деталей:

- твердість – 28...32 HRC, зубці 48...54 HB;
- термічна обробка – гартування ТВЧ, відпал;
- невказані граничні відхилення: H12, h12, IT12/2;
- гострі краї зкруглити радіусом або фаскою 0,5 мм.

## 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Маса шестерні становить 9,2 кг. Враховуючи річну виробничу програму обсягом 7500 одиниць, відповідно до методичних рекомендацій [2], тип виробництва визначено як серійний. Організацію трудового процесу заплановано здійснювати за змінно-потоковою схемою.

Кількість деталей у виробничій партії (що є числовим показником серійного типу виробництва), яка періодично подається до обробки, визначається за формулою:

$$n = \frac{a \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де  $N$  – річна програма випуску,  $N=7500$  шт;

$a$  – періодичність запуску деталей в виробництво,  $a=3$  дні;

$A$  – кількість робочих днів на рік,  $A=250$  днів.

$$n = \frac{3 \cdot 7500}{250} = 90 \text{ шт}$$

### 1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

На основі проведеного аналізу конструктивних особливостей деталі, її маси та обсягу річного випуску, як доцільні методи отримання заготовки обрано:

- гаряче штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП);
- кування на ковальському молоті.

Для варіанта штампованої заготовки встановлено наступні технічні параметри відповідно до джерела [3]:

- точність – клас Т3;
- категорія сталі – М2;
- складність конфігурації – рівень С2;
- кут ухилу для зовнішніх поверхонь –  $7^\circ$ ;
- мінімальний радіус заокруглення – 2,5 мм;
- розміри припусків приймаються згідно з нормами, наведеними у [4].

Розрахунок маси заготовки виконувався за допомогою програмного комплексу Siemens NX, із застосуванням функцій аналізу масово-інерційних характеристик. Вигляд тривимірної моделі заготовки представлено на рисунку 1.2.

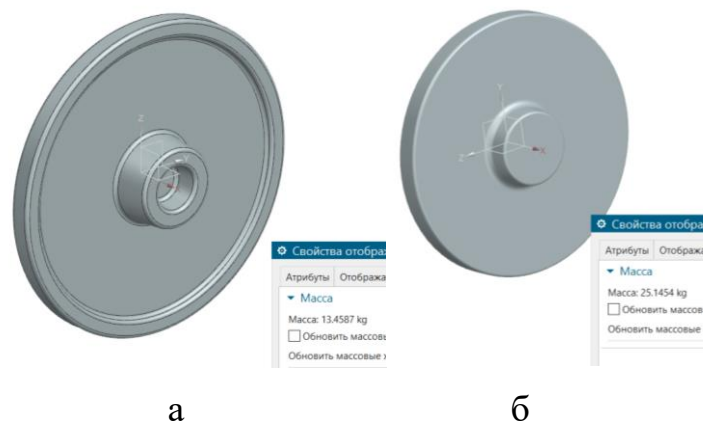


Рисунок 1.2 – Розрахунок мас заготовок: а – КГШП, б – молот

Собівартість виготовлення однієї заготовки  $B$ , грн, розраховується за формулою [4]:

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

$$B_{\Pi} = \frac{B_B}{1000} \cdot Q - (Q - q) \frac{B_{\text{Відх}}}{1000}, \quad (1.3)$$

де  $Q$  – вага заготовки, кг;

$q$  – вага деталі, кг;

$B_B$  – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн [4];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [4];

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [4];

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [4];

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4];

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [4];

$B_{\text{Відх}}$  – вартість 1 т стружки [4].

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3150}{1000} \cdot 13,5 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1 - (13,5 - 9,2) \cdot \frac{140}{1000} = 26,19 \text{ грн}$$

$$B_M = \frac{3500}{1000} \cdot 25,1 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1 - (25,1 - 9,2) \cdot \frac{140}{1000} = 53,11 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою [4]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.4)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{9,2}{13,5} = 0,68$$

$$\eta_M = \frac{9,2}{25,1} = 0,36$$

Порівняльні показники обраних методів виготовлення заготовок

вносяться в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Молот
Вага заготовки	Q	кг	9,2	13,5
Базова вартість 1 т заготовки	$V_B$	грн	3150	3500
Коефіцієнти	$K_T$		1	1
	$K_M$		1,51	1,51
	$K_C$		0,77	0,77
	$K_3$		1,27	1,27
	$K_{II}$		1	1
Вартість 1 т стружки	$V_{в\dot{d}x}$	грн	140	140
Собівартість заготовки	$V_3$	грн	26,19	53,11
КВМ	$\eta$		0,68	0,36

Економія матеріалу при отриманні заготовки пресуванням КГШП:

$$M_{II} = \frac{q(\eta_{КГШП} - \eta_M)}{\eta_{КГШП} \cdot \eta_M} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_{II} = \frac{9,2 \cdot (0,68 - 0,36)}{0,68 \cdot 0,36} \cdot 7500 = 90196 \text{ кг}$$

Річне заощадження знаходимо за формулою:

$$E_p = (V_M - V_{КГШП})N \quad (1.6)$$

$$E_p = (53,11 - 26,19) \cdot 7500 = 201900 \text{ грн}$$

#### 1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

##### 1.4.1 Вибір технологічних баз

В якості чорнових баз, на першій токарній операції, обираємо шийки

Ø90 та торець. На наступних токарних операціях в якості баз обираємо: зовнішню циліндричну поверхню Ø315, торець та отвір Ø56. При свердлінні та зубофрезеруванні в якості баз обираємо: крайній торець та отвір Ø56. При шліфуванні та зубошліфуванні в якості баз обираємо: крайній торець та отвір Ø56.

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Розробимо послідовність переходів обробки поверхонь, для цього складемо маршрут обробки поверхні (МОП).

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.7)$$

де  $Td_3$  – допуск на розмір заготовки, мкм;

$Td_d$  – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.8)$$

де  $Ra_3$  – параметр шорсткості заготовки, мкм;

$Ra_d$  – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.9)$$

де  $\Delta_3$  – похибка форми заготовки, мкм;

$\Delta_d$  – похибка форми деталі, мкм.

Поверхня – Ø348<sub>0,089</sub>

Загальне уточнення за показниками якості:

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{3,0}{0,089} = 33,7,$$

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{0,6}{0,036} = 16,6,$$

$$\varepsilon_{Ra_0} = \frac{50}{1,6} = 31,2,$$

Кількість переходів розраховується за превалюючим показником  $\varepsilon_{d_0}$  за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.10)$$

$$k = 2 \cdot \lg 33,7 = 3,04$$

Приймаємо  $k=3$  переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між  $k=4$  переходами за законом прогресивного зменшення:  $IT=IT17-h8=9=5+2+2$ .

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) для допуску –  $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow TO \rightarrow h8$ ;

2) для шорсткості –  $Ra50 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6$ .

Перший перехід – точіння чорнове:  $T_{D1}=570$  мкм;  $T_{Ra1}=6,3$  мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d1}=3000/570=5,2$$

$$E_{Rz}=50/6,3=7,9$$

Другий перехід – точіння чистове:  $T_{D2}=230$  мкм;  $T_{Ra2}=3,2$  мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d2}=570/230=2,5$$

$$E_{Rz}=6,3/3,2=2$$

$$E_{dj}=5,2 \cdot 2,5=13 < E_d=33,7$$

$$E_{Rzj}=7,9 \cdot 2=15,8 < E_{Rz}=31,2$$

Четвертий перехід – шліфування:  $T_{D4}=89$  мкм;  $T_{Ra4}=1,6$  мкм [5].

Уточнення:

$$E_{d4}=230/89=2,5$$

$$E_{Rz4}=3,2/1,6=2$$

$$E_{dj}=13 \cdot 2,5=32,5 < E_d=33,7$$

$$E_{Rzj}=15,8 \cdot 2=31,6 < E_{Rz}=31,2$$

Таким же методом робимо розрахунки і для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 1.3.

#### 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Складаємо загальну етапну схему виготовлення шестерні – етапний маршрут виготовлення деталі (МВД):

1 етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО) – нормалізація.

2 етап – механічна обробка:

- токарна обробка (чорнова, чистова);
- протяжна обробка;
- свердлильна обробка;
- зубофрезерна обробка;
- слюсарна;

3 етап – ТО (гартування, відпуск);

4 етап – механічна обробка:

- шліфування (чорнове, чистове);
- зубошліфування;
- слюсарна;

5 етап – мийка, контроль.

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характеристика поверхонь	МОП		Допуски			Уточнення		
	IT	Метод обробки	Геометричні розміри, мм	Шорсткість	Биття, мм	Геометричні розміри	Шорсткість	Биття
Ø348-0,089 Ra=1,6 ↑=0,036	17	Заготовка	3,0	50	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,57	6,3	0,1	5,2	7,9	6
	10	Точіння чистове	0,23	3,2	0,04	2,5	2	2,5
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліфування	0,089	1,6	0,036	2,5	2	1,1
Ø56-0.12 Ra=3.2 ↑=0,05	17	Заготовка	2,0	50	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,30	6,3	0,1	5	7,9	6
	10	Точіння чистове	0,12	3,2	0,05	2,5	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
55-0,12 Ra=1,6 ↑=0,025	17	Заготовка	2,2	50	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,30	6,3	0,1	7,3	7,9	6
	11	Точіння чистове	0,19	3,2	0,05	1,6	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	10	Шліфування	0,12	1,6	0,025	1,6	2	2
26-0,084 Ra=1,6 ↑=0,025	17	Заготовка	2,0	50	0,6	-	-	-
	12	Точіння чорнове	0,21	6,3	0,1	9,5	7,9	6
	11	Точіння чистове	0,13	3,2	0,05	1,6	2	2
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	10	Шліфування	0,084	1,6	0,025	1,6	2	2

## 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахуємо припуск для поверхні  $\varnothing 348_{-0,089}$  розрахунково-аналітичним методом. Значення шорсткості та глибини дефектного шару для заготовки:  $Rz_1=200$  мкм та  $h_1=250$  мкм [5]. Просторові відхилення знаходять за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.11)$$

де  $\rho_{зм}$  – відхилення від соосності,  $\rho_{зм} = 1,4$ мм [5];

$\rho_{кор}$  – похибка від короблення,  $\rho_{кор} = 0,5$ мм[5].

$$\rho_1 = \sqrt{1,4^2 + 0,5^2} = 1,48 \text{ мм}$$

Для чорнового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо:  $Rz_2=25$  мкм та  $h_2=40$  мкм [5]. Просторова похибка для механічних переходів розраховується за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.12)$$

де  $K_{ут}$  – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [5].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 1,48 = 90 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:  $\varepsilon_2 = 0,5$  мм [5].

Для чистового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо:  $Rz_3=12,5$  мкм та  $h_3=15$  мкм [5]. Просторова похибка:

$$\rho_3 = 0,06 \cdot 90 = 5,4 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_j = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_i, \text{ мм} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_3 = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм}$$

Просторова похибка для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.14)$$

де  $\Delta_{\text{кор}}$  – кривизна після ТО,  $\Delta_{\text{кор}}=0,1$  мм [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 348 = 34,8 \text{ мкм}$$

Для шліфування значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо:  $Rz_5=6,3$  мкм та  $h_5=10$  мкм [5].

Просторова похибка:

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (5,4 + 34,8) = 1,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 30 = 0,9 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2z_i^{\text{min}} = 2 \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.15)$$

$$2z_2^{\text{min}} = 2(200 + 250 + \sqrt{1480^2 + 500^2}) = 4024 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\text{min}} = 2(25 + 40 + \sqrt{90^2 + 30^2}) = 320 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\text{min}} = 2(12,5 + 15 + \sqrt{5,4^2 + 0,9^2}) = 66 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_5^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d6} \quad (1.16)$$

$$d_5^{\max} = 348 + 0 = 348 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.17)$$

$$d_3^{\max} = 348 + 0,066 + 0,23 = 348,296 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 348,296 + 0,32 + 0,57 = 349,186 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 349,186 + 4,024 + 3 = 356,2 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.18)$$

$$d_5^{\min} = 348 - 0,089 = 347,911 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 348,296 - 0,23 = 348,066 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 349,186 - 0,57 = 348,616 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 356,2 - 3 = 353,2 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.19)$$

$$2z_2^{\max} = 356,2 - 348,616 = 7,594 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 349,186 - 348,066 = 1,12 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 348,296 - 347,911 = 0,385 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{зар}} + TD_{\text{дет}} \quad (1.20)$$

Таблиця 1.4 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам.

Характеристики поверхонь	МОП		Складові припуску				До- пуск Тd, мм	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки	R <sub>zi</sub>	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	ε <sub>i</sub>		d <sub>i</sub> <sup>max</sup> , мм	d <sub>i</sub> <sup>min</sup> , мм	2z <sub>i</sub> <sup>max</sup> мкм	2z <sub>i</sub> <sup>min</sup> мкм	
Поверхня 3, 7 Ø348 <sub>-0,089</sub> Ra=1,6 ↑=0,036	17	Заготовка	200	250	1480	-	3,0	356,21	353,21	-	-	Ø354,4 <sup>+1,8</sup> <sub>-1,2</sub>
	12	Точіння чорнове	25	40	90	500	0,57	349,186	348,616	7594	4024	Ø 349,2 <sub>-0,57</sub>
	10	Точіння чистове	12,5	15	5,4	30	0,23	348,296	348,066	1120	320	Ø 348,3 <sub>-0,23</sub>
	-	ТО	-	-	34,8	-	-	-	-	-	-	-
	8	Шліфування	6,3	10	1,2	0,9	0,089	348	347,911	385	66	Ø 348 <sub>-0,089</sub>
							8,299-5,21=3+0,089					
							3,089=3,089		8,299	5,21		

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (1.21)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\max} = 356,2 - 347,911 = 8,299 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 353,21 - 348 = 5,21 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 3,089 + 3 = 3,089 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 8,299 - 5,21 = 3,089 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки –  $\varnothing 354,4_{-1,2}^{+1,8}$  мм.

Результати розрахунку припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 1.4.

## 1.6 Розрахунок режимів різання

### 1.6.1 Операція круглошліфувальна №75

Шліфування (рис. 1.3) поверхні  $\varnothing 348_{-0,089}$  виконуємо на круглошліфувальному верстаті 3А164. Шліфувальний круг 1 750x80x305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [6] використовується в якості інструмента.

Технічні характеристики верстата:

- 1) Найбільша довжина деталі – 2000 мм;
- 2) Діаметр шліфувального круга – 750 мм;
- 3) Поздовжня подача – 0,1...4 мм/хв;
- 4) Поперечна подача – 0,0025...0,03 мм/хв;
- 5) Частота обертання деталі – 20...180 об/хв;
- 6) Частота обертання шліфувального шпинделя – 890 об/хв;
- 7) Діаметр зовнішньої обробки – до 400 мм;
- 8) Мінімальний кут повороту столу – 2°;

- 9) Максимальна діаметр шліфування в люнеті – 120/360 мм;
- 10) Висота центрів – 210 мм;
- 11) Найбільша довжина переміщень – 1800 мм;
- 12) Максимальна ширина шліфувального круга – 80 мм;
- 13) Потужність головного приводу – 17 кВт;
- 14) Потужність шпинделя обертання деталі – 1,5 кВт;

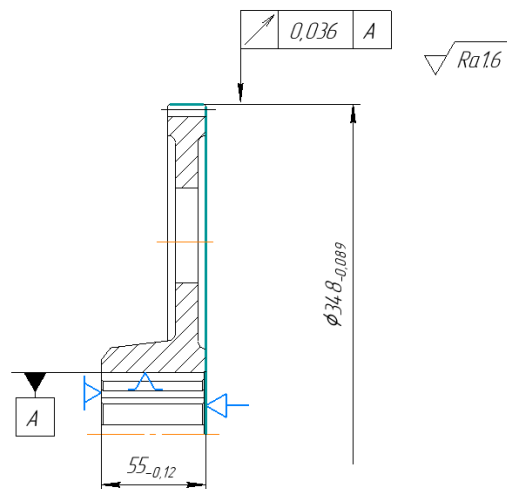


Рисунок 1.3 – Операційний ескіз

Припуск на обробку зовнішньої поверхні  $Z_1=0,385/2=0,192$  мм згідно таблиці 1.4, припуск по торцю –  $Z_2=0,2$  мм.

Так як ширина круга більше ширини шліфування, тому повздовжня подача не використовується. Подача радіальна розраховуємо по формулі:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.23)$$

де  $S_{0T}$  – табличне значення подачі,  $S_{0T} = 0,018$  мм/об [7];

$K_S$  – коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (1.24)$$

де  $K_D$  – коефіцієнт, враховуючий діаметр круга,  $K_D=0,42$  [7];

$K_R$  – коефіцієнт, враховуючий радіус галтелі,  $K_R=0,85$  [7];

$K_T$  – коефіцієнт, враховуючий стійкість круга,  $K_T=1,0$  [7];

$K_h$  – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку,  $K_h = 1,0$  [7];

$K_{IT}$  – коефіцієнт, враховуючий квалітет виконання розміру,  $K_{IT} = 0,5$  [7];

$K_M$  – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі,  $K_M = 1,0$  [7].

$$K_S = 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,178$$

$$S_{\text{поп}} = 0,018 \cdot 0,178 = 0,0032 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату:  $S = 0,0025$  мм/об.

Табличне значення швидкості обертання деталі –  $V_{\text{ш.дет.}} = 50$  м/хв [7]:

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.25)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 348} = 45,75 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату  $n_{\text{ш.кр.}} = 890$  об/хв,  $n_{\text{дет.}} = 45$  об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулами:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.26)$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (1.27)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 348 \cdot 45}{1000} = 49 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 750 \cdot 890}{1000 \cdot 60} = 35 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$t_0 = \frac{z_1 \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}} + \frac{z_2 \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.28)$$

де  $k$  – коефіцієнт уточнення,  $k = 1,7$ .

$$t_o = \frac{0,192 \cdot 1,7}{45 \cdot 0,0025} + \frac{0,2 \cdot 1,7}{45 \cdot 0,0025} = 5,9 \text{ хв}$$

### 1.6.2 Операція зубофрезерна №45

Для фрезерування зубчастого вінця обираємо зубофрезерний верстат моделі 5К324А. Операційний ескіз зображено на рис. 1.4. В якості інструменту вибираємо черв'ячну фрезу  $D=100$  мм,  $L=100$  мм,  $z=14$ ,  $m=2$  мм по ГОСТ 9324-80 [6].

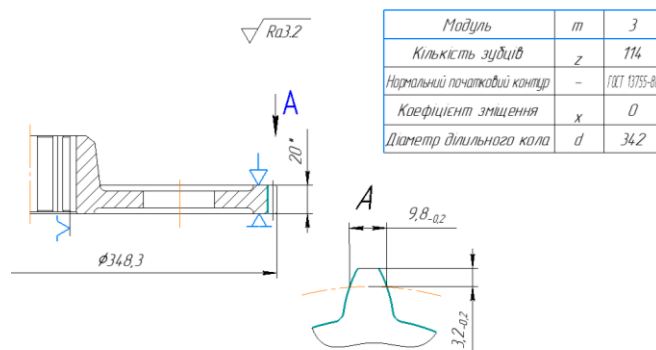


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз

Технічні характеристики верстата:

- 1) максимальний діаметр деталі – 400 мм;
- 2) максимальний модуль зубчастих коліс – 12;
- 3) система керування – Mitsubishi;
- 4) подача повздовжня – 0,8...5 мм/об;
- 5) подача тангенційна – 0,17...3,7 мм/хв;
- 6) подача радіальна – 0,27...1,67 мм/об;
- 7) мінімальн – 7,5 кВт.

Розраховуємо подачу за формулами (1.23), (1.24):

де  $S_T=0,6$  мм/об – табличне значення подачі [7];

$K_{HB}=0,8$  – коефіцієнт, що залежить від твердості оброблюваного матеріалу [7];

$K_{ЗОТС}=1$  – коефіцієнт, що залежить від використання змащувально-охолоджувального технічного середовища (ЗОТС) [7];

$K_s=1$  – коефіцієнт, що враховує напрям руху подачі [7];

$K_{HP}=0,9$  – коефіцієнт, що враховує клас точності фрези [7];

$K_{PH}=1$  – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези [7].

$$S_p = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,86 \text{ мм/об}$$

Подачу приймаємо 0,8 мм/об за паспортом верстата.

Швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_p = V^{табл} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VT} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{V\Pi} \cdot K_{VO} \quad (1.29)$$

де  $V_m=33,5$  м/хв – табличне значення швидкості [7];

$K_{PI} = 1$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [7];

$K_{CT}=0,9$  – коефіцієнт, що враховує стійкість фрези [7];

$K_{II}=1$  – коефіцієнт, що залежить від виду обробки [7];

$K_C = 0,75$  – коефіцієнт, що залежить від використання ЗОТС [7];

$K_L=1$  – коефіцієнт, що залежить від глибини різання [7].

$$V_p = 33,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 22 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.25):

$$n = \frac{1000 \cdot 22}{3,14 \cdot 100} = 75 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата:  $n_d=80$  об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.26):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 80}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{(b + L_{\text{вр}} + L_{\text{пер}}) \cdot Z}{S \cdot n \cdot K}, \text{ хв} \quad (1.30)$$

де  $b$  – ширина вінця, мм;

$L_{\text{пер}}$  – величина перебігу, мм;

$L_{\text{вр}}$  – величина врізання, мм.

$K$  – кількість заходів фрези;

$Z$  – кількість зубів колеса.

$$L_{\text{вр}} = \sqrt{t \cdot (D_{\phi} - t)}, \text{ мм} \quad (1.31)$$

де  $t$  – глибина западини;

$$L_{\text{вр}} = \sqrt{66 \cdot (100 - 6,6)} = 25 \text{ мм}$$

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot m + tg(\beta - \omega) + 4, \text{ мм} \quad (1.32)$$

де  $\omega$  – кут підйому витка фрези,

$m$  – модуль, мм,

$\beta$  – кут нахилу зубців.

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot 3 + tg(0 - 2) + 4 = 13 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(20 + 25 + 13) \cdot 114}{0,8 \cdot 80 \cdot 1} = 103,3 \text{ хв}$$

### 1.6.3 Операція свердлильна №35

Для свердління восьми отворів (рис. 1.5) обираємо фрезерний верстат з ЧПК моделі MAST MM 855 S24. Технічні характеристики верстата:

- 1) Розмір столу – 1000x550 мм;

- 2) Переміщення по осям X/Y/Z – 850x550x550 мм;
- 3) Потужність двигуна шпинделя – 7,5 кВт;
- 4) Габарити – 2800x2300x2700 мм;
- 5) Тип приєднання інструменту – BT40;
- 6) Точність позиціонування –  $\pm 0,003$  мм;
- 7) Точність повторюваності позиціонування –  $\pm 0,005$  мм;
- 8) Оберти шпинделя – 1...10 000 об/хв;
- 9) Відстань шпинделя від поверхні столу – 120...670 мм.

В якості інструменту використовуємо:

- 1) свердло центральне 2317-0164 ГОСТ 14952-75 [6];
- 2) свердло спіральне діаметром 25 мм 2301-3652 ГОСТ 10903-77 [6];
- 3) свердло спіральне діаметром 50 мм 2301-3734 ГОСТ 10903-77 [6].

Глибина різання  $t$ , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{D_{CB}}{2} \quad (1.33)$$

$$t_1 = \frac{3,15}{2} = 1,6 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{50 - 25}{2} = 12,5 \text{ мм}$$

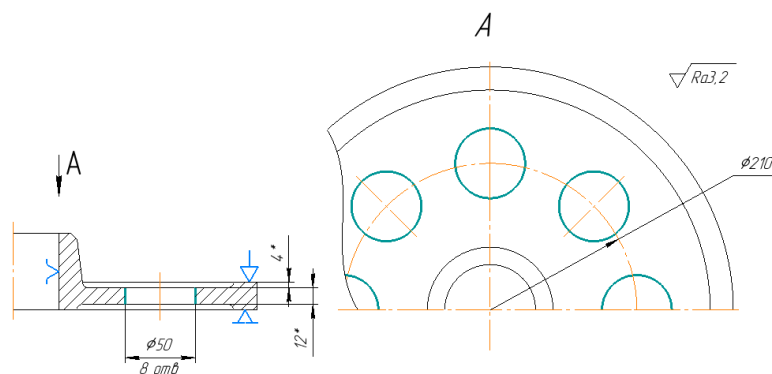


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Подача розраховується за формулою (1.23), (1.24):

де  $S_{0T}$  – табличне значення подачі,  $S_{0T} = 0,35$  мм/об [7];

$K_{SI}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези,  $K_{SI} = 0,9$  [7];

$K_{SZ}$  – коефіцієнт, що враховує заточку свердла,  $K_{SZ} = 0,9$  [7];

$K_{Sl}$  – коефіцієнт, що враховує довжину свердла,  $K_{Sl} = 0,9$  [7];

$K_{SM}$  – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу,  $K_{SM} = 0,9$  [7].

$$K_S = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,59$$

$$S_0 = 0,35 \cdot 0,59 = 0,2 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо швидкість різання (1.29):

де  $V_T$  – табличне значення швидкості різання,  $V_T = 35$  м/хв [7];

$K_{Vc}$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал,  $K_{Vc} = 1$  [7];

$K_{Vi}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези,  $K_{Vi} = 1$  [7];

$K_{VT}$  – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента,  $K_{VT} = 1$  [7];

$K_{Vj}$  – коефіцієнт, що враховує довжину свердла,  $K_{Vj} = 1,0$  [7];

$K_{Vo}$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні,  $K_{Vo} = 1,0$  [7];

$K_{Vж}$  – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням,  $K_{Vж} = 0,8$  [7].

$$K_V = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,8$$

$$V = 35 \cdot 0,8 = 28 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.25):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 3,15} = 2830 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 25} = 356 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 50} = 178 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата:  $n_{д1}=2500$  об/хв,  $n_{д2}=350$  об/хв,  $n_{д3}=170$  об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.26):

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 3,15 \cdot 2500}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 350}{1000} = 27 \text{ м/хв}$$

$$V_{д3} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 170}{1000} = 26 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_2+l_1}{nS} \cdot n, \text{ хв} \quad (1.34)$$

де  $l$  – довжина фрезерування, мм;

$l_1$  – величина перебігу, мм;

$l_2$  – величина врізання, мм;

$n$  – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{св}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (1.35)$$

$$l_{11} = \frac{3,15}{2tg60} = 0,9 \text{ мм};$$

$$l_{12} = \frac{25}{2tg60} = 7,3 \text{ мм};$$

$$l_{13} = \frac{50}{2tg60} = 14,7 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{3+0,9}{0,2 \cdot 2500} \cdot 8 + \frac{12+7,3+2}{0,2 \cdot 350} \cdot 8 + \frac{12+14,7+2}{0,2 \cdot 170} \cdot 8 = 9,2 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку режимів різання

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання $t$ , мм	кількість проходів $i$	подача $S$ , мм/об	швидкість різання $V$ , м/хв	частота обертів шпинделя $n$ , об/хв
015 Токарна	01	1,5	2	0,2	125	115
	02	1,5	2	0,2	125	800
020 Токарна	01	1,5	2	0,2	125	115
	02	1,5	2	0,2	125	800
025Токарна	01	0,5	2	0,1	125	115
	02	0,5	2	0,1	125	800
030 Токарна	01	0,5	2	0,1	125	115
	02	0,5	2	0,1	125	800
035 Свердлильна з ЧПК	01	1,6	8	0,2	25	2500
	02	12,5	8	0,2	27	350
	03	12,5	8	0,2	26	170
040 Протяжна	01	4,5	1	0,025мм/зуб	5	-
045 Зубофрезерна	01	6,6	114	0,8	25	80
070 Плоскошліфувальна	01	0,2	10	0,0025	40/45	1400
075 Круглошліфувальна	01	0,192	10	0,01мм/пд.хід.	35	1700
	02	0,2	10	0,0025	49	45
080 Зубошліфувальна	01	0,1	114	0,002	40/37	1200/50

## 1.7 Технічне нормування операцій

### 1.7.1 Технічне нормування круглошліфувальної операції №75

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}} , \quad (1.36)$$

де  $t_{\text{вст}} = 0,3$  хв – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{\text{мд}} = 0,5$  хв – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{\text{контр}}$  – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (1.37)$$

де  $t_{\text{вим}} = 0,2$  хв – час на вимірювання [8];

$K_n = 0,4$  – періодичність вимірювань [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,5 + 0,08 = 0,88 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.38)$$

$$t_{\text{оп}} = 5,9 + 0,88 = 6,78 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.39)$$

де  $\alpha$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 6,78 \cdot 0,1 = 0,68 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.40)$$

$$t_{\text{шт}} = 6,78 + 0,68 = 7,46 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (1.41)$$

де  $t_{пз1} = 12$  хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{пз2} = 13$  хв – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс вище [8];

$$t_{пз} = 12 + 13 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.42)$$

$$t_{шт-к} = 7,46 + \frac{25}{90} = 7,74 \text{ хв}$$

### 1.7.2 Технічне нормування зубофрезерної операції №45

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36), (1.37):

де  $t_{вст} = 0,4$  хв – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{мд} = 0,65$  хв – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{вим} = 0,1$  хв – час на вимірювання [8];

$K_n = 1$  – періодичність вимірювань [8].

$$t_{контр} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{доп} = 0,4 + 0,65 + 0,1 = 1,15 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{оп} = 103,3 + 1,15 = 104,4 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.39):

де  $\alpha = 10\%$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місяця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 104,4 \cdot 0,1 = 10,4 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.40):

$$t_{\text{шт}} = 104,4 + 10,4 = 114,8 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.41):

де  $t_{\text{пз1}} = 12$  хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{\text{пз2}} = 13$  хв – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [8];

$t_{\text{пз3}} = 5$  хв – час на пробну обробку деталі [8].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{\text{шт-к}} = 114,8 + \frac{30}{90} = 115,1 \text{ хв}$$

### 1.7.3 Технічне нормування свердлильної операції №35

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36), (1.37):

де  $t_{\text{вст}} = 0,4$  хв – час на встановлення та зняття деталі [8];

$t_{\text{мд}} = 0,4$  хв – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь [8];

$t_{\text{вим}} = 0,2$  хв – час на вимірювання [8];

$K_n = 0,5$  – періодичність вимірювань [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,4 + 0,1 = 0,9 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.38):

$$t_{\text{оп}} = 9,2 + 0,9 = 10,1 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.39):

де  $\alpha = 10\%$  – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби [8].

$$t_{\text{дод}} = 10,1 \cdot 0,1 = 1 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.40):

$$t_{\text{шт}} = 10,1 + 1 = 11,1 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.41):

де  $t_{\text{пз1}} = 12$  хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни [8];

$t_{\text{пз2}} = 13$  хв – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс [8];

$t_{\text{пз3}} = 2$  хв – час на пробну обробку деталі [8].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 2 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{\text{шт-к}} = 11,1 + \frac{27}{90} = 11,4 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	$t_o$ , хв	$t_{доп}$ , хв	$t_{дод}$ , хв	$t_{шт}$ , хв	$t_{пз}$ , хв	$t_{шт-к}$ , хв
015 Токарна	10	1,2	1,12	12,32	20	12,54
020 Токарна	15	1,2	1,62	17,82	20	18,04
025 Токарна	25	1,2	2,62	28,82	20	29,10
030 Токарна	20	1,2	2,12	23,32	20	23,54
035 Свердлильна	9,2	0,9	1,00	11,10	27	11,40
040 Протяжна	5	0,8	0,58	6,38	20	6,60
045 Зубофрезерна	103,3	1,15	10,40	114,80	30	115,10
070 Плоскошліфувальна	2,5	1,2	0,37	4,07	18	4,27
075 Круглошліфувальна	5,9	0,88	0,68	7,46	25	7,44
095 Зубошліфувальна	54	1,3	5,53	60,83	22	61,07

### 1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Для свердлильної операції №035 з ЧПК, яка включає свердління шести отворів, розроблюємо керуючу програму (КП) в програмному забезпеченні NX CAM. Спочатку було створено 3D-моделі деталі для даної операції (рис. 1.6).

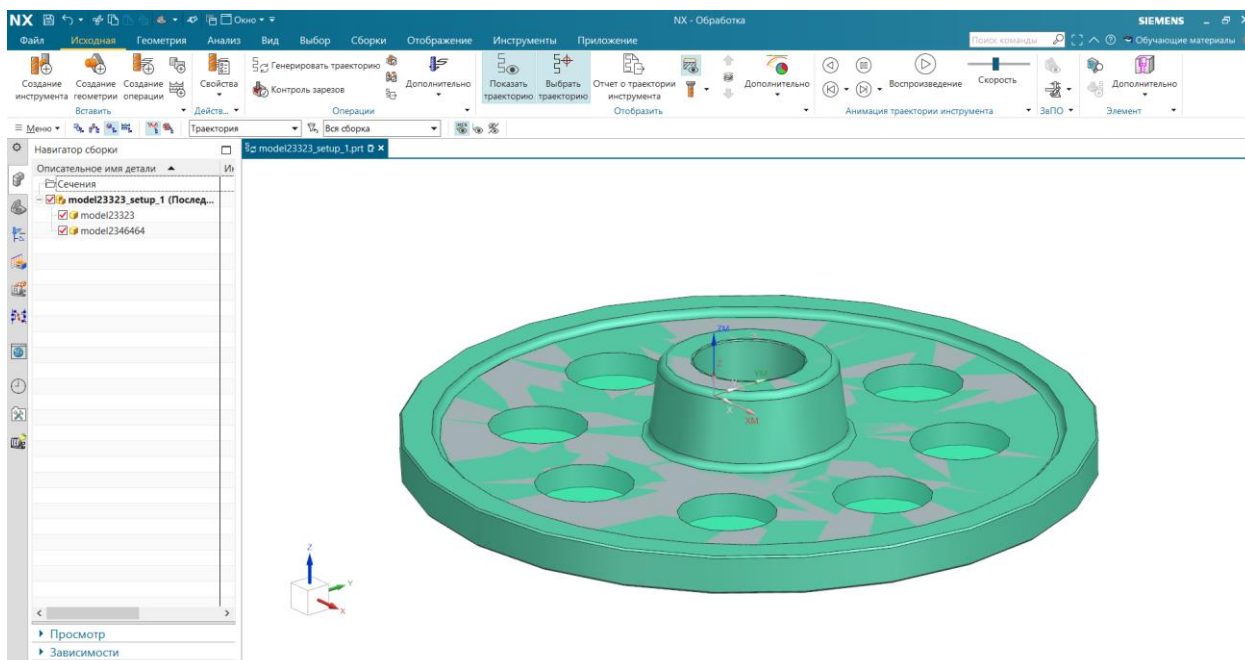


Рисунок 1.6 – Поєднання 3D-моделей деталей та заготовки

Далі було створено необхідний інструмент для всіх переходів даної операції (центровочне свердло, свердло 25мм, свердло 50мм) (рис. 1.7).

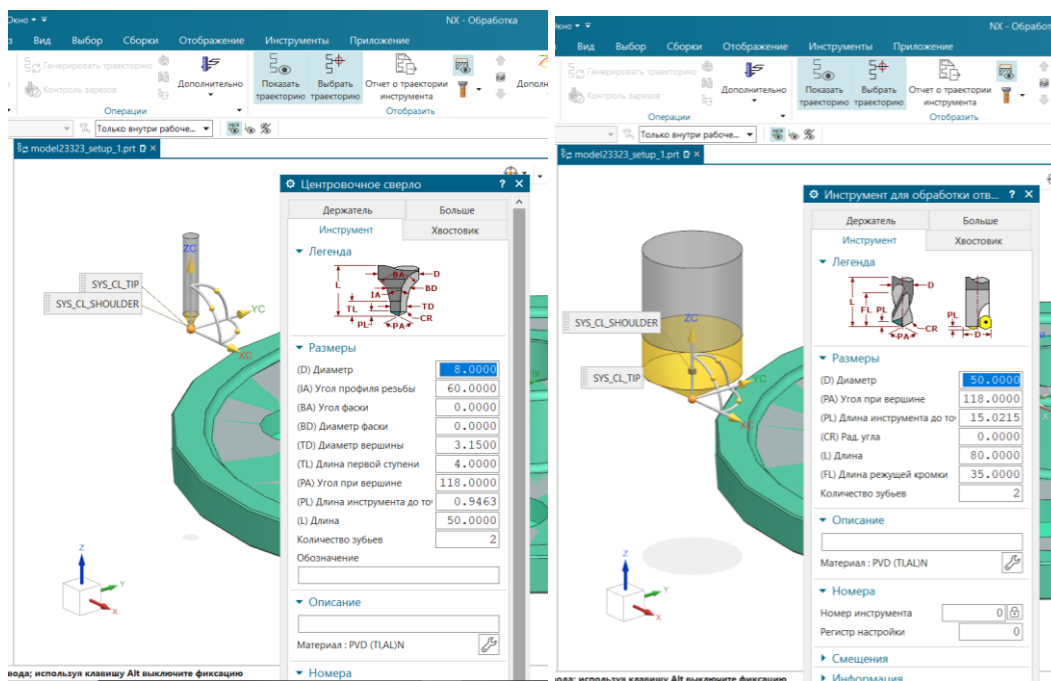


Рисунок 1.7 – Створення інструментів

Після цього було створено три переходи обробки: центрування отворів, свердління отворів, розсвердлення отворів. Визначено положення системи

координат. Створені в програмі режими різання та згенеровано траєкторії (рис. 1.8).

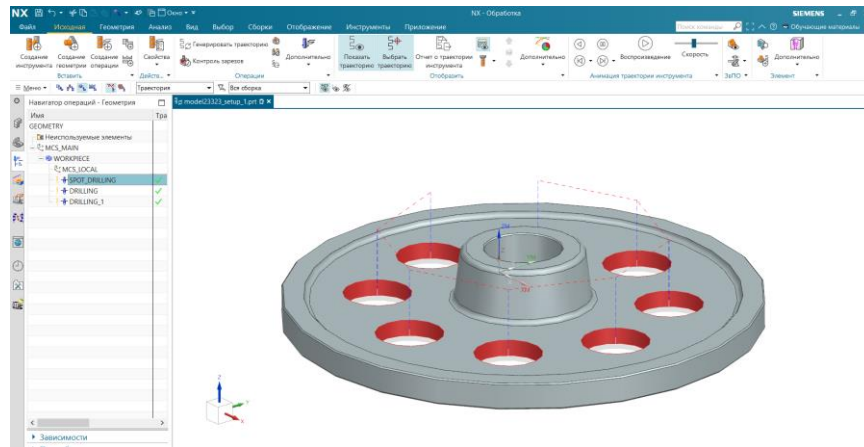


Рисунок 1.8 – Траєкторії обробки

Після перевірки траєкторій була проведена візуалізація процесу обробки (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Візуалізація обробки

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Проектування та розрахунок робочого пристрою

#### 2.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Робочий пристрій, представлений на рис. 2.1, призначений для фіксації деталі «Шестерня» під час операції свердління шести отворів. Встановлення шестерні здійснюється через центральний отвір на опорну частину (основа 2), яка закріплена в корпусі пристосування (корпус 1). Центрування виконується по внутрішньому діаметру  $\text{Ø}56\text{H}12$ , а також передбачено упор у торцеву поверхню.

З метою фіксації зверху на деталь встановлюється розрізна шайба (позиція 11). У середині корпусу змонтовано пневматичний циліндр. При подачі стисненого повітря поршень 5 разом із штоком 4 переміщуються вниз, зтягуючи за собою розрізну шайбу, що забезпечує надійне притискання деталі до базової поверхні.

Після завершення обробки, при припиненні подачі повітря, шток 4 та поршень 5 повертаються у вихідне положення, що дозволяє зняти оброблену шестерню з пристосування.

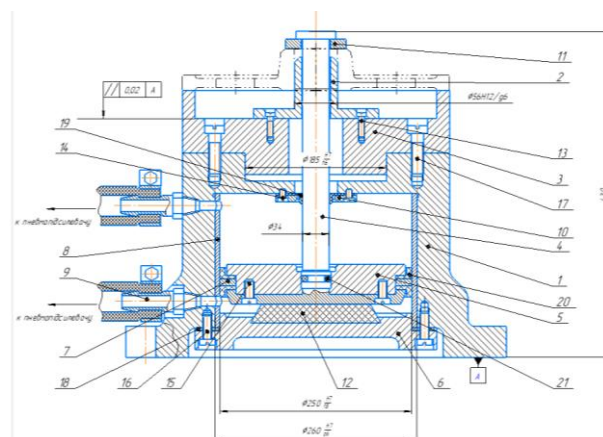


Рисунок 2.1 – Робочий пристрій

## 2.1.2 Розрахунок пристосування

Похибка встановлення розраховується за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (2.1)$$

де  $\varepsilon_{\text{баз}}$  – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$  – похибка закріплення

Деталь встановлюється по отвору  $\text{Ø}56^{+0,3}$  (рис. 2.2).

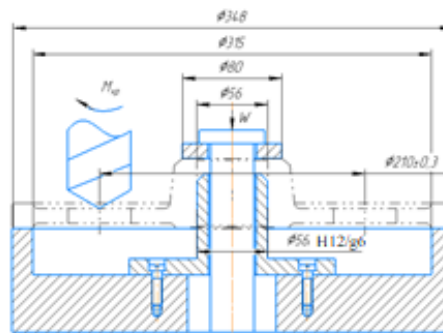


Рисунок 2.2 – Схема базування деталі

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}}/2 \quad (2.2)$$

де  $S_{\text{max}}$  – максимальний зазор у з'єднанні.

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (2.3)$$

де  $D_{\text{max}}$ ,  $d_{\text{min}}$  – конструктивні розміри.

$$S_{\text{max}} = 56,3 - 55,98 = 0,32 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,32/2 = 0,16 \text{ мм}$$

Так як напрямок свердління отворів та напрямок сили закріплення взаємоперпендикулярні, тому похибка закріплення дорівнює нулю.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,16^2 + 0} = 0,16 \text{ мм}$$

Отримана похибка встановлення не перевищує точність виготовлення отворів  $\varnothing 210 \pm 0,3$ .

Дійсна сила затиску деталі в пристосуванні [12]:

$$W_{\partial} = \frac{3 \cdot M_{\text{кр}} \cdot k}{f \left[ \left( \frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right) + \left( \frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3^2 - D_4^2} \right) \right]} \quad (2.4)$$

де  $D_3=348$  мм,  $D_4=315$  мм, где  $D_1=80$  мм,  $D_2=56$  мм – конструктивні розміри.

$f = 0,15$  – коефіцієнт тертя [9];

$k$  – коефіцієнта запасу, що визначається залежно від умов обробки;

$M_{\text{кр}}$  – крутний момент для свердління, Н·м;

$$M_{\text{кр}} = 10 C_m D^q S^y K_p \quad (2.5)$$

де  $C_m=0,041$ ,  $q=2$ ,  $y=0,8$ ,  $K_p=1$  – коефіцієнти [6].

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,041 \cdot 50^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,03 = 291 \text{ Н·м}$$

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.6)$$

де  $k_0$  – гарантований коефіцієнт запасу,  $k_0=1,5$  [9];

$k_1$  – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці,  $k_1=1$  [9];

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту,  $k_2=1,15$  [9].

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання,  $k_3=1$  [9];

$k_4$  – коефіцієнт, що враховує непостійність сил затиску, що розвиваються приводами,  $k_4=1$  [9];

$k_5$  – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток,  $k_5=1$  [9];

$k_6$  – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту,  $k_6=1,5$  [9].

$$k = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,58.$$

$$W_{\partial} = \frac{3 \cdot 2,58 \cdot 291}{0,15 \left[ \left( \frac{0,348^3 - 0,315^3}{0,348^2 - 0,315^2} \right) + \left( \frac{0,080^3 - 0,056^3}{0,080^2 - 0,056^2} \right) \right]} = 25026H$$

Мінімальний діаметр штока [9]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт затягування,  $\alpha=2,25$  [9];

$[\sigma]$  – допустиме напруження на розтяг штоку,  $[\sigma]=100$  МПа [1].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 25026}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0,026m \quad (2.8)$$

Приймаємо 34 мм.

Діаметр циліндра [9]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.9)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя,  $\eta = 0,85 \dots 0,9$  [9].

$p$  – тиск в пневмосистемі,  $p=0,4 \dots 0,6$  МПа [12];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 25026}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,9} + 0,034^2} = 0,247m$$

Приймаємо 250мм

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

### 2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування, зображене на рис. 2.3, призначене для

вимірювання радіального биття зубців шестерні. Під час проведення контролю деталь фіксується на оправці через центральний отвір, який використовується як базовий.

Конструкція пристосування включає корпус, до якого кріпляться два центри та рухомий кронштейн. Кронштейн здатен переміщуватися у напрямку, перпендикулярному до осі обертання шестерні, що дає змогу точно встановити щуп на необхідний ділильний діаметр.

Центри можуть переміщатися вздовж напрямних, вбудованих у корпус пристосування, що забезпечує їх точне позиціонування відповідно до габаритів деталі. На кронштейні встановлюється індикатор годинникового типу, оснащений модульним щупом. Під час контролю щуп вводиться у западину між зубцями. Обертаючи деталь, через кожні п'ять зубців фіксують значення радіального биття за показниками індикатора.

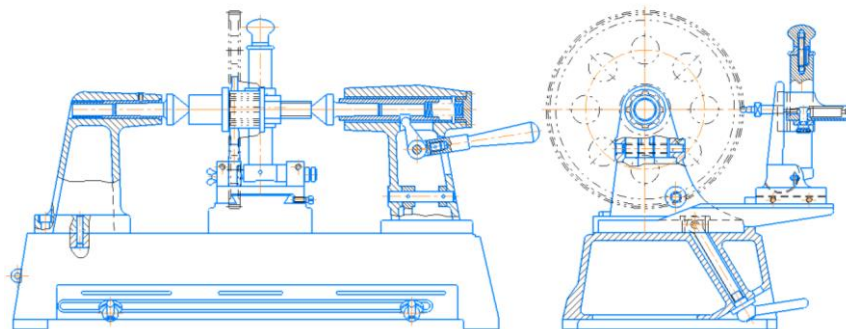


Рисунок 2.3 – Контрольне пристосування

### 2.3 Розрахунок на міцність деталі «Шестерня»

Аналіз міцності деталі «Шестерня» (див. рис. 2.4) буде виконано із використанням модуля розрахунків міцності програмного комплексу NX CAE. Для визначення надійності деталі в умовах експлуатації здійснюється розрахунок коефіцієнта запасу міцності, який дозволяє оцінити ступінь

безпеки конструкції при заданих навантаженнях.

Розрахунок даного коефіцієнта проводиться згідно з формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.10)$$

де  $[\sigma]$  – допустиме значення границі міцності сталі 45,  $[\sigma]=355$  МПа [1];

$\sigma_{\max}$  – максимальне напруження згідно розрахунку.

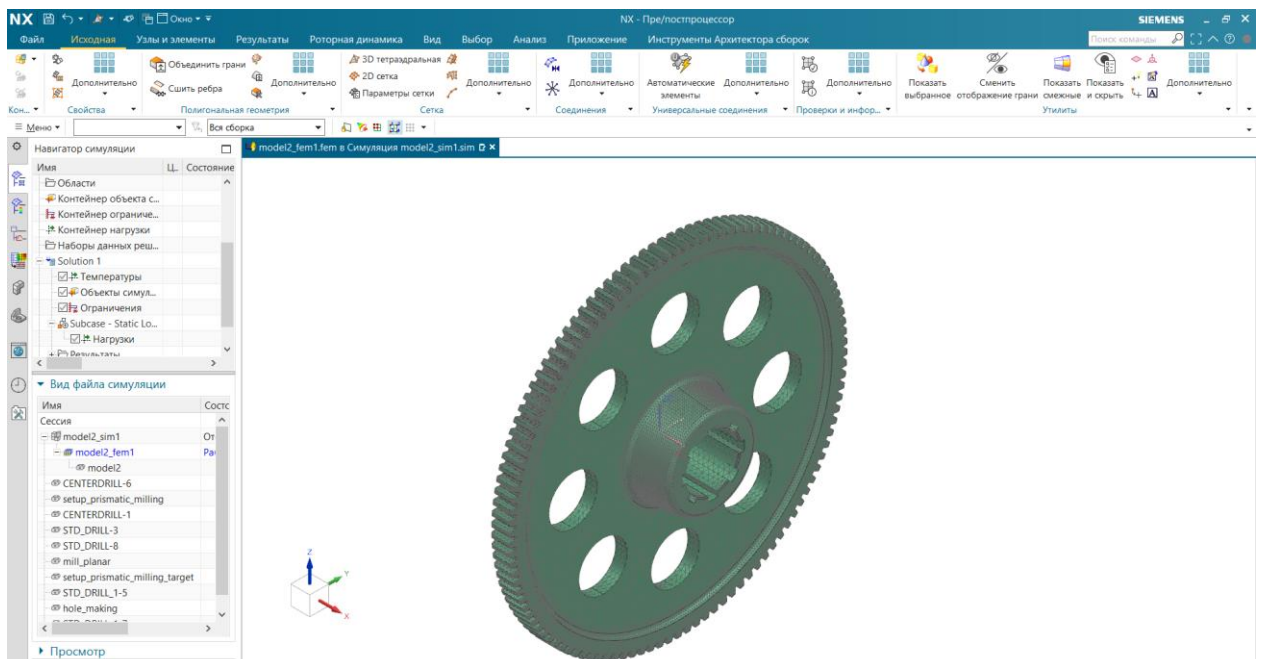


Рисунок 2.4 – Модель деталі розбита на сітку

У процесі роботи в складі механізму деталь «Шестерня» сприймає крутний момент через зубчасте зачеплення, передаючи його далі на вал-шестерню за допомогою шпонкового з'єднання. У зв'язку з цим, під час моделювання у програмному середовищі NX CAE обмеження були застосовані в зоні шліців, що імітує умови закріплення деталі. На один із зубців прикладено навантаження у вигляді радіальної сили 500 Н та тангенціальної сили 2500 Н відповідно до схеми, наведеної на рисунку 2.5.

Після виконання розрахунків у програмі було отримано візуалізацію розподілу напружень (рис. 2.6), а також числові результати. Максимальні напруження спостерігаються в зоні основи зубця, що є характерним місцем

концентрації навантаження. Найвище значення напруження становить 92,61 МПа, що є критичним параметром для подальшого аналізу на міцність. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності згідно формули (2.10):

$$k = \frac{355}{92,61} = 3,8$$

Згідно результатів розрахунку деталь має достатній запас міцності, тому конструкцію та розміри її можна вважати прийнятими.

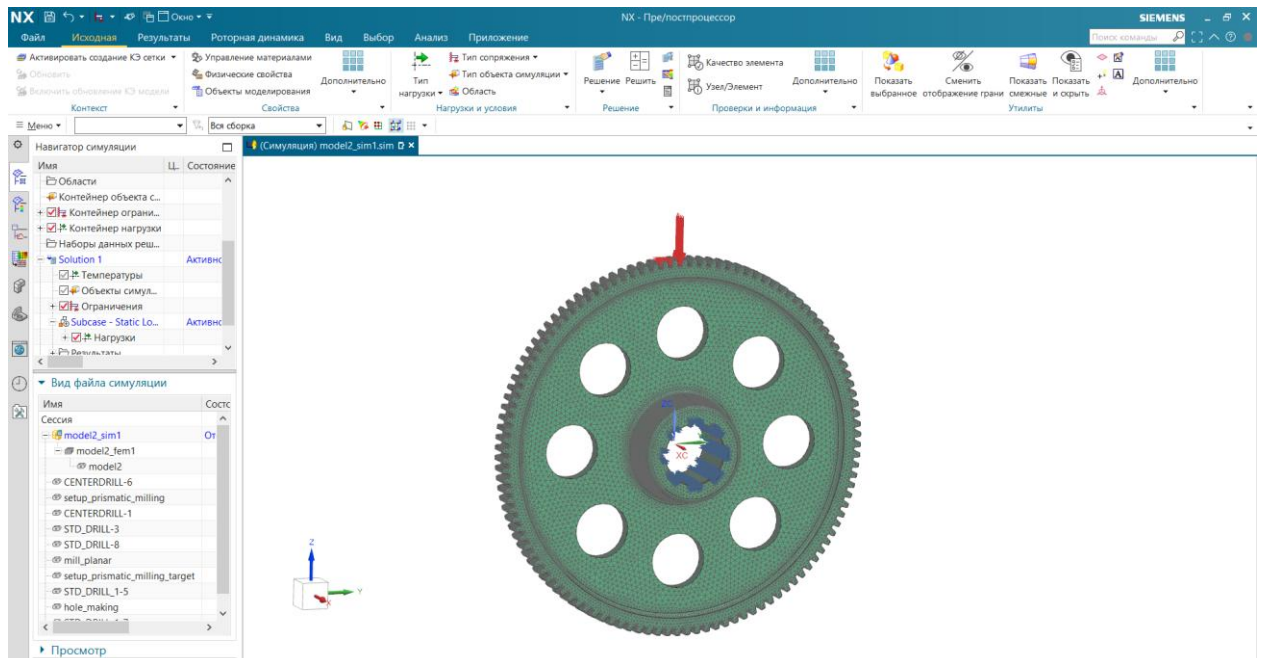


Рисунок 2.5 – Деталі з накладеними обмеженнями

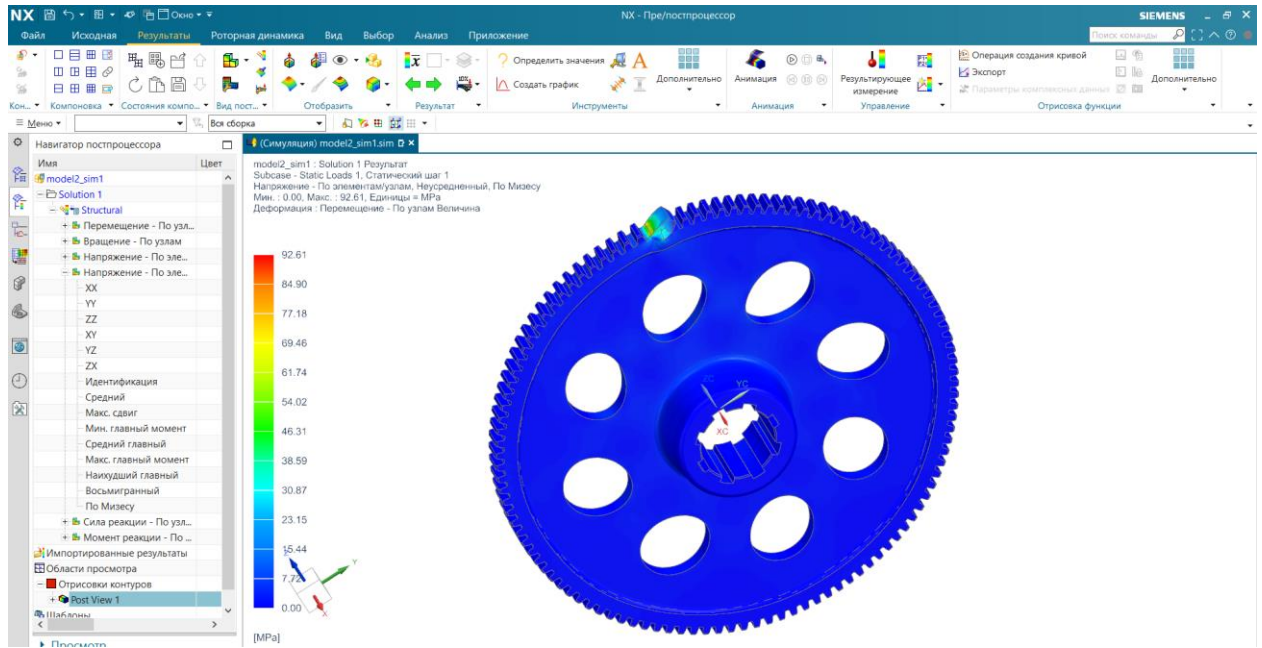


Рисунок 2.6 – Розподіл напружень

### 3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{j=1} t_{ш-кj} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.1)$$

де  $F_g \cdot m = 4000$  год – фонд часу роботи верстата за рік.

Результати розрахунку за формулою (3.2) приведено в таблиці 3.1.

Річна верстатоемність розраховуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-кj} \cdot N \quad (3.2)$$

Результати розрахунку за формулою (3.1) приведено в таблиці 3.1.

Значення розрахункової кількості верстатів ( $S_p$ ) округлюємо до цілого значення і приймаємо його ( $S_n$ ) для подальших розрахунків.

Коефіцієнт завантаження верстата визначаємо за формулою:

$$K_{3j} = \frac{S_p}{S_n} \quad (3.3)$$

Результати розрахунку за формулою (3.3) приведено в таблиці 3.1.

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

$$\overline{K_3} = \frac{\sum S_p}{\sum S_n} \quad (3.4)$$

$$\overline{K_3} = \frac{9,04}{14} = 0,65$$

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

Номер операції	Модель верстата	$t_{ш-к}$ , хв	T, хв	$S_p$ , шт	$S_n$ , шт	$K_3$
015	LEADWELL LTC-25iMY	12,54	94050	0,39	1	0,39
020	LEADWELL LTC-25iMY	18,04	135300	0,56	1	0,56
025	LEADWELL LTC-25iMY	29,1	218250	0,91	1	0,91
030	LEADWELL LTC-25iMY	23,54	176550	0,74	1	0,74
035	MAST MM 855 S24	11,4	85500	0,36	1	0,36
040	СПГ-12	6,6	49500	0,21	1	0,21
045	5K324A	115,1	863250	3,6	4	0,9
070	JET JPSG-1224AH	4,27	32025	0,13	1	0,13
075	3A164	7,74	58050	0,24	1	0,24
080	RG 2400	61,07	458025	1,91	2	0,95

Розрахована кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей дорівнює  $O=14$  деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів (операції 015...030). Токарній операції 030 відповідає максимальний основний час токарної групи – 25 хв.

Розрахуємо кількість верстатів, яке може обслужити один оператор, за формулою:

$$m_s = \frac{t_{o\max} + t_{\text{доп}}}{t_{\text{доп}} + t_{\text{пер}}} \quad (3.5)$$

де  $t_{o\max}$  – максимальний основний час на верстатах об'єднаних в багатOVERстатну зону обслуговування, хв;

$t_{\text{пер}}=0,15$  хв – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{25 + 1,2}{2,6 + 0,15} = 9,5$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_j = \frac{\sum S_n}{m_{sj}} \quad (3.6)$$

$$R_1 = \frac{4}{9,5} = 0,4$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох токарних верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування 14 верстатів необхідно  $M=11$  робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

$$K_{30} = \frac{0}{M} \quad (3.7)$$

$$K_{30} = \frac{14}{11} = 1,27$$

Так як  $1 < K_{30} < 10$ , то остаточно тип виробництва приймаємо серійним.

## 4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня» було порівняно обробку на різних токарних верстатах з ЧПК згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Перша технологія						Друга технологія			
	16К20Ф3	16К20Ф3	16К20Ф3	16К20Ф3	16К20Ф3	16К20Ф3	LEADWELL LTC-25IMY	LEADWELL LTC-25IMY	LEADWELL LTC-25IMY	LEADWELL LTC-25IMY
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$ , хв	25	20	22	18	15	12	12,32	17,82	28,82	23,32
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін $m$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата $F$ , грн	319188						2167713			
Число верстатів, $C_p$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань $N_a$ , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів $N$ , кВт	11	11	11	11	11	11	15	15	15	15

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [10]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_b \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (4.1)$$

де  $m_{оп}$  – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{умі}$  – норма штучного часу виконання і-ої операції, год;

$C_{тар}$  – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_b$  – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні,  $K_b=0,39$ ;

$k_{доп}$  – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату,  $k_{доп} = 1,2$ ;

$k_{соц}$  – коефіцієнт, що враховує страхові внески,  $k_{соц} = 1,4$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.2, 4.3.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	$C_{тар}$ , грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_o$ , грн
010	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
015	Токарна	20	76,6	1,2	1,4	42,90
020	Токарна	22	76,6	1,2	1,4	47,19
025	Токарна	18	76,6	1,2	1,4	38,61
030	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
035	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
					$\Sigma$	240,22

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	$C_{тар}$ , грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$Z_o$ , грн
020	Токарна	12,32	57,5	1,2	1,4	19,84
025	Токарна	17,82	57,5	1,2	1,4	28,69
030	Токарна	28,82	57,5	1,2	1,4	46,40
035	Токарна	23,32	57,5	1,2	1,4	37,55
					$\Sigma$	132,47

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [10]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар.н}} \cdot \chi_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (4.2)$$

де  $C_{\text{тар.н}}$  – годинна тарифна ставка, грн;

$\chi_n$  – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

$\Phi_p$  – річний фонд часу одного,  $\Phi_p = 2028$  год;

$m_{\text{оп}}$  – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	$\Phi_p$ , год	$C_{\text{тар}}$ , грн	$\chi_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$Z_o$ , грн
015	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
020	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
025	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
030	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	6,77
						$\Sigma$	27,09

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [10]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (4.3)$$

де  $K_i$  – первісна вартість обладнання на  $i$ -ої операції, грн;

$H_{ai}$  – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на  $i$ -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [10]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_M}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (4.4)$$

де  $C_{inij}$  – ціна інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, грн/шт;

$t_{umij}$  – штучний час роботи  $j$ -го інструменту на  $i$ -ої операції, хв;

$\eta_m$  – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення  $t_{маш}/t_{шт}$ ;

$T_{ij}$  – період стійкості інструменту  $j$ -го виду на  $i$ -ої операції, хв;

$n_{in}$  – номенклатура інструментів на  $i$ -ої операції;

$n_j$  – число переточок інструменту  $j$ -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.7, 4.8.

Таблиця 4.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	К, грн	На, %	$F_d$	$A_{від}$ , грн
010	Токарна	25	319188	14,2	4015	4,70
015	Токарна	20	319188	14,2	4015	3,76
020	Токарна	22	319188	14,2	4015	4,14
025	Токарна	18	319188	14,2	4015	3,39
030	Токарна	15	319188	14,2	4015	2,82
035	Токарна	12	319188	14,2	4015	2,26
					$\Sigma$	21,07

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	К, грн	На, %	$F_d$	$A_{від}$ , грн
015	Токарна	12,32	2167713	12,2	4015	13,52
020	Токарна	17,82	2167713	12,2	4015	19,56
025	Токарна	28,82	2167713	12,2	4015	31,64
030	Токарна	23,32	2167713	12,2	4015	25,60
					$\Sigma$	90,33

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за першою технологією

№ опер	Найменування операції	t <sub>шт</sub> , хв	Найменування інструменту	Ц <sub>i</sub> грн	n <sub>ін</sub>	T, хв	n <sub>j</sub>	η <sub>мі</sub>	S <sub>ін</sub> грн
010	Токарна	25	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	1,64
			Різець розточ.	150	2	80	15	0,4	0,47
015	Токарна	20	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	1,09
			Різець розточ.	150	2	80	15	0,4	0,47
020	Токарна	22	Різець розточ.	350	2	80	15	0,4	1,31
			Різець розточ.	250	2	80	15	0,4	0,78
025	Токарна	18	Різець прохід.	300	2	60	15	0,4	2,25
			Різець розточ.	180	2	60	20	0,4	0,86
030	Токарна	15	Різець розточ.	150	1	45	15	0,4	1,00
030	Токарна	12	Різець розточ.	350	2	80	15	0,4	1,64
								Σ	9,87

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за другою технологією

№ опер	Найменування операції	t <sub>шт</sub> , хв	Найменування інструменту	Ц <sub>i</sub> грн	n <sub>ін</sub>	T, хв	n <sub>j</sub>	η <sub>мі</sub>	S <sub>ін</sub> грн
020	Токарна	12,32	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	0,66
			Різець розточ.	150	2	80	15	0,4	0,30
025	Токарна	17,82	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	0,77
			Різець розточ.	150	2	80	15	0,4	0,51
030	Токарна	28,82	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	1,97
			Різець розточ.	250	2	80	15	0,4	0,85
035	Токарна	23,32	Різець прохід.	300	2	60	15	0,4	1,63
			Різець розточ.	180	2	60	20	0,4	0,59
								Σ	7,25

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [10]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (4.5)$$

де  $N_B$  – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

$k_N$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

$k_q$  – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$  – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

$k_w$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії,  $k_w = 1,08$ ;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії обладнання;

$k_B$  – коефіцієнт виконання норм часу;

$C_e$  – вартість електроенергії,  $C_e = 3,45$  грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Витрати на електроенергію за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$ , хв	$C_e$ грн	$N_e$ кВт	$k_N$	$k_q$	$k_{од}$	$k_w$	$\eta_e$	$k_B$	$S_e$ , грн
010	Токарна	25	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,97
015	Токарна	20	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,97
020	Токарна	22	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,37
025	Токарна	18	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,58
030	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
035	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
										$\Sigma$	22,26

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [10]:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (4.6)$$

де  $C_{то}$  – залишкова вартість обладнання, грн

$K_p$  – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду,  $K_p = 0,02$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.11, 4.12.

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт, хв}$	Ц <sub>е</sub> , грн	$N_e$ , кВт	$k_N$	$k_ч$	$k_{од}$	$k_w$	$\eta_e$	$k_B$	$S_e$ , грн
020	Токарна	12,32	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	8,22
025	Токарна	17,82	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	11,88
030	Токарна	28,82	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	19,22
035	Токарна	23,32	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	15,55
										$\Sigma$	54,87

Таблиця 4.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$C_{то}$ , грн	$K_p$	$C_p$	$S_p$ , грн
010	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
015	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
020	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
025	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
030	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
035	Токарна	319188	0,02	0,64	0,54
				$\Sigma$	3,27

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$C_{то}$ , грн	$K_p$	$C_p$	$S_p$ , грн
020	Токарна	2167713	0,02	0,78	4,51
025	Токарна	2167713	0,02	0,78	4,51
030	Токарна	2167713	0,02	0,78	4,51
035	Токарна	2167713	0,02	0,78	4,51
				$\Sigma$	18,04

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [10]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{\text{ГН}} \cdot t_{\text{ін}} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (4.7)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту,  $\varphi = 1,3$ ;

$C_{\text{ГН}}$  – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{\text{ін}}$  – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ( $t_{\text{ін}} = 4$  хв – для токарних верстатів з ЧПК;  $t_{\text{ін}} = 5$  хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

$t_o$  – основний час роботи інструменту на операції, хв;

$K_m$  – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

$T_M$  – середня стійкість інструменту, хв.;

$m$  – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	$t_o$ , хв	$C_{\text{ГН}}$ , грн/год	$n_i$	$t_{\text{ін}}$ , хв	$K_T$	$T_M$	$m$	$S_H$ грн
020	Токарна	Різець прохід	12,32	50,9	6	4	0,9	120	2	0,10
		Різець розточ.		50,9	6	1	0,9	60	1	0,10
025	Токарна	Різець прохід	17,82	50,9	6	4	0,9	120	2	0,12
		Різець розточ.		50,9	6	1	0,9	60	1	0,18
030	Токарна	Різець прохід.	28,82	50,9	6	4	0,9	120	2	0,30
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,18
035	Токарна	Різець прохід.	23,32	50,9	6	4	0,9	120	2	0,22
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,17
									$\Sigma$	1,36

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [10]:

$$I_H = Z_o \cdot k_{zag} \quad (4.8)$$

де  $k_{zag}$  – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників,  $k_{zag} = 0,20 \dots 0,25$ .

$$I_{H1} = 240,22 \cdot 0,2 = 48,04 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 132,47 \cdot 0,2 = 26,49 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [10]:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (4.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Заробітна плата верстатника	$Z_o$	240,22	132,47
Заробітна плата наладчика	$Z_H$		27,09
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	21,07	90,33
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	9,87	7,25
Витрати на електроенергію	$S_e$	22,26	54,87
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	$S_p$	3,27	18,04
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	$S_H$		1,36
Витрати інші	$I_H$	48,04	26,49
Технологічна собівартість	$C_T$	344,73	357,9

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [10]:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (4.10)$$

$$E_{yp} = (344,73 - 357,9) \cdot 7500 = -98775 \text{ грн}$$

Таким чином, при впровадженні нової технології з партією 7500 шт/рік річна економія за статтею собівартість становить -98775 грн., що свідчить про неефективність запропонованої технологічної інновації.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання. Зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням:

$$K_0 = \frac{C_{об} \cdot t_{шт.к.}}{60 \cdot F_d} \quad (4.11)$$

У таблиці 4.15-4.16 розраховані капітальні витрати за формулою (4.11).

Таблиця 4.15 - Капітальні витрати на обладнання за першим ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт.}$ , хв	Ц, грн	$F_d$	$K_0$ , грн
010	Токарна	25	319188	4015	33,12
015	Токарна	20	319188	4015	26,50
020	Токарна	22	319188	4015	29,15
025	Токарна	18	319188	4015	23,85
030	Токарна	15	319188	4015	19,87
035	Токарна	12	319188	4015	15,90
		$\Sigma$	1595940	$\Sigma$	148,4

Таблиця 4.16 - Капітальні витрати на обладнання за другим ТП

№опер	Найменування операції	$T_{шт.}$ , хв	Ц, грн	$F_d$	$K_0$ , грн
015	Токарна	12,32	2167713	4015	110,86
020	Токарна	17,82	2167713	4015	160,35
025	Токарна	28,82	2167713	4015	259,33
030	Токарна	23,32	2167713	4015	209,84
		$\Sigma$	8670852	$\Sigma$	740,39

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою:

$$B_{\text{нав}} = C + E_n K, \quad (4.12)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням  $B_{\text{нав}}$ .

У таблиці 4.17 наведено результати порівняння.

Таблиця 4.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Технологічна собівартість деталі	$C_T$	344,73	357,9
Капітальні витрати на деталь	$K_o$	148,4	740,39
Наведені витрати на деталь	$W_o$	493,13	1098,29
Собівартість річної програми	$C_p$	1595940	8670852
Капітальні витрати на програму	$K_{\text{оріч}}$	1113000	5552925
Наведені витрати на програму	$W_{\text{річ}}$	3698475	8237175
Річна економія (збиток), грн	$\Delta W$	-4538700	

Аналіз таблиці 4.17 показує, що придбання та використання високотехнологічного дорогого обладнання з найменшими поточними витратами на виробництво продукції в умовах багатосерійного типу виробництва часто є перешкодою для впровадження нових інноваційних технологій.

Розрахуємо критичний обсяг виробництва, при якому наведені витрати за варіантами рівні за формулою:

$$N_{\text{кр}} = \frac{(C_{2\text{пост}} - C_{1\text{пост}}) + 0,15 \cdot (K_2 - K_1)}{C_{13\text{м}} - C_{23\text{м}}} \quad (4.13)$$

де  $N_{\text{кр}}$  – критичний обсяг діяльності;

$C_{1\text{пост}}$  - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

$C_{2\text{пост}}$  - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності;

$K_1$  – капітальні витрати за першим варіантом;

$K_2$  – капітальні витрати за другим варіантом;

$C_{1\text{зм}}$  - умовно-змінні витрати на 1 деталь за першим варіантом;

$C_{2\text{зм}}$  - умовно-змінні витрати на 1 деталь за другим варіантом.

$$N_{\text{кр}} = \frac{(8670852 - 1595940) + 0,15(740,39 - 148,4)}{357,9 - 344,73} = 537205 \text{шт}$$

Таким чином, якщо програма випуску менше  $N_{\text{кр}}$ , то більш вигідний перший варіант ТП. Якщо більше – 537205 шт, то більш вигідний другий варіант ТП.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час виконання механічної обробки деталі «Шестерня» персонал повинен дотримуватися вимог техніки безпеки та інструкцій з охорони праці: До роботи допускаються лише працівники, які пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці та навчання безпечним методам роботи. Необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, протишумні навушники (за потреби). Робоче місце повинно бути чистим, добре освітленим і вільним від зайвих предметів, що можуть спричинити травмування. Заборонено працювати на обладнанні зі знятими або несправними захисними кожухами, блокуваннями, заземленням.

З метою запобігання виникненню пожеж під час механічної обробки слід дотримуватись таких правил:

1) Заборонено зберігати легкозаймисті матеріали поблизу обладнання.

2) Іскроутворення під час шліфування або різання металу повинно здійснюватися в зоні, обладнаній іскрозахисними щитами.

3) У виробничому приміщенні мають бути вогнегасники відповідного типу (вуглекислотні або порошкові), з візуальним доступом і наявною інструкцією.

4) Усі працівники повинні знати місце розташування засобів пожежогасіння та шляхи евакуації.

Робота з металорізальними верстатами передбачає використання електрообладнання, тому обов'язкове дотримання наступних заходів безпеки:

1) Усе обладнання повинно бути заземлене відповідно до нормативів.

2) Ремонт і обслуговування електричної частини допускається лише електротехнічним персоналом з відповідною групою допуску.

3) Заборонено працювати при вологих руках або в умовах підвищеної вологості.

4) Перед запуском верстата необхідно переконатися в справності пускової апаратури та відсутності пошкоджень ізоляції.

У процесі механічної обробки (свердління, фрезерування, токарної або шліфувальної обробки) джерелами шуму є обертові частини верстатів, ріжучий інструмент, контакти між інструментом і заготівкою, а також системи охолодження й приводи. Надмірний рівень шуму може призвести до:

- зниження слуху;
- підвищеної втоми;
- зниження концентрації уваги та продуктивності праці.

Допустимий рівень шуму на робочому місці згідно з Державними санітарними нормами не повинен перевищувати 85 дБ. Для зниження шуму використовують:

- шумопоглинальні кожухи;
- віброізоляцію верстатів;
- використання ЗІЗ – протишумних навушників або вкладишів;
- технічне обслуговування та балансування обертових частин обладнання.

Вібрація виникає при роботі верстатів, особливо під час обробки твердих матеріалів, при незбалансованості обертових елементів, зношенні підшипників або порушенні технологічного режиму. Вплив вібрації на організм людини може проявлятися:

- розвитком вібраційної хвороби;
- порушенням кровообігу в кінцівках;
- зниженням точності та якості виконання операцій.

З метою зниження шкідливого впливу вібрації застосовують:

- антивібраційні прокладки;
- встановлення верстатів на амортизуючі основи;
- регламентне обслуговування обладнання;

- використання антивібраційних рукавиць.

## ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було створено технологічний процес виготовлення деталі типу «Шестерня». На основі техніко-економічного аналізу оптимальним методом отримання заготовки визначено гаряче штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП). Проведено розрахунок маси заготовки, яка становить 9,2 кг, а також визначено коефіцієнт використання матеріалу – 0,68. Очікуваний економічний ефект від впровадження цього способу виготовлення заготовки складає 201 900 грн.

Було розроблено маршрут обробки шестерні, в якому замість традиційної токарної обробки на універсальних верстатах передбачено використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Завдяки цьому вдалося скоротити загальний час механічної обробки та знизити собівартість виготовлення деталі.

Для операції свердління на ЧПК-верстаті була створена керуюча програма за допомогою програмного комплексу NX CAM.

Також у рамках роботи було спроектовано спеціальне пристосування для виконання свердління шести отворів. Для цього пристрою виконано розрахунок точності установки, визначено зусилля затиску та підібрано відповідний пневмоциліндр. Окрім того, розроблено контрольне пристосування для вимірювання радіального биття зубців шестерні.

На завершення проєкту здійснено планування виробничої дільниці для виготовлення деталі. Визначено потребу у технологічному обладнанні – 14 одиниць, а також встановлено чисельність основного виробничого персоналу – 11 працівників.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь 45 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal/45/?srsltid=AfmBOoq37ayRr8\\_BLmLHF\\_65ShKeDIzp6\\_fBfCT9Xh0nMWIAzF7pURN](https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal/45/?srsltid=AfmBOoq37ayRr8_BLmLHF_65ShKeDIzp6_fBfCT9Xh0nMWIAzF7pURN) (дата звернення: 16.05.2025). – Назва з екрана.
2. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
7. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
8. Справочник нормировщика машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

9. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

10. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.





ДОДАТОК Б  
Технологічні карти















Дудл.			
Взам.			
Підп.			

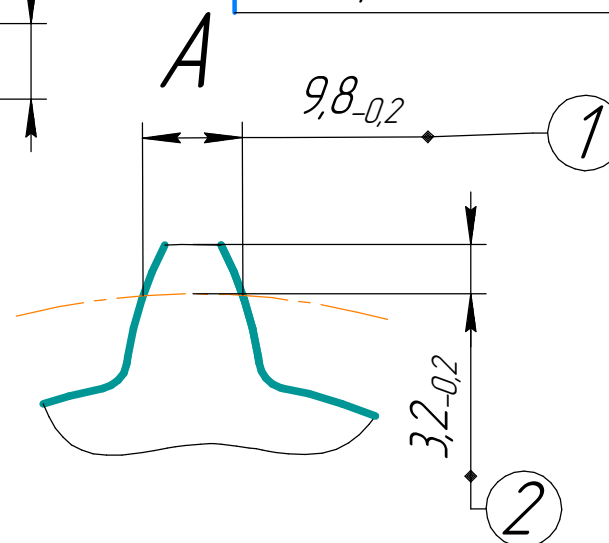
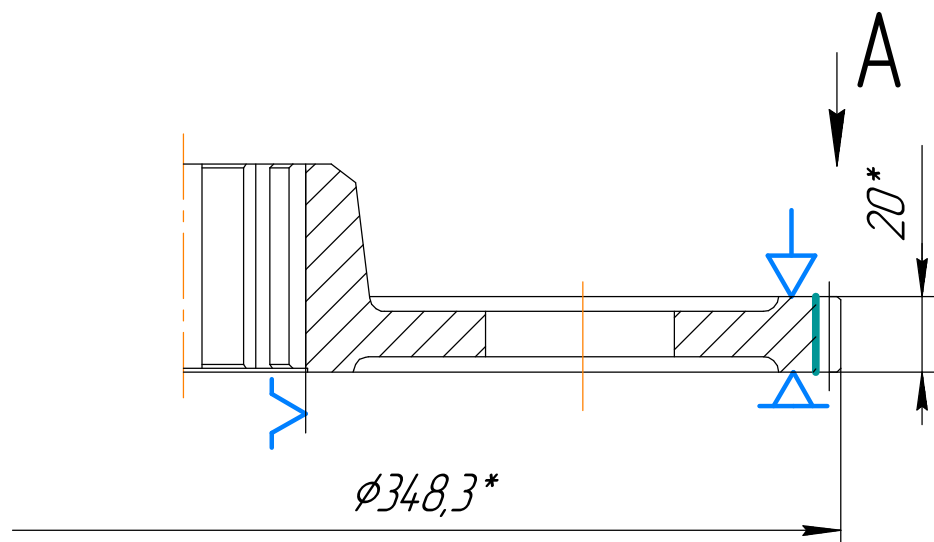
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.25001 1 1

Розроб.	Короткий			НУЗП	НУЗП 721323.001			М-111.2014.1.00045
Перевір.	Тришин							
Н. контр.	Дядя				Шестерня			045

√ Ra3.2

Модуль	<i>m</i>	3
Кількість зубців	<i>z</i>	114
Нормальний початковий контур	-	ГОСТ 13755-80
Коефіцієнт зміщення	<i>x</i>	0
Діаметр ділильного кола	<i>d</i>	342



\* Розмір для довідок



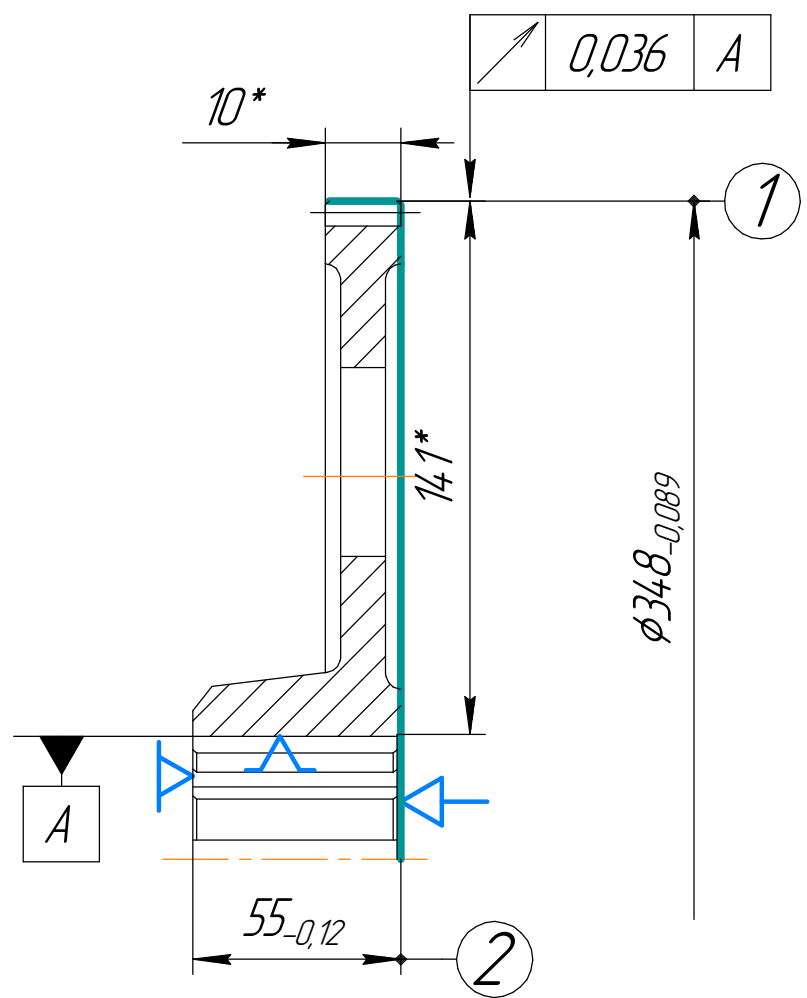
Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.25001 1 1

Розроб.	Короткий			НУЗП	НУЗП 721323.001			М-111.2014.1.00075
Перевір.	Тришин							
Н. контр.	Дядя				Шестерня			075

$\sqrt{Ra1.6}$



\* Розмір для довідок

