

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему:

«РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА 1ЦУ-100»

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ПМ-216
спеціальності 131 – Прикладна
механіка

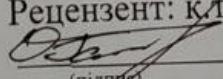
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Костянтин ВОЛОВИЙ
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: старший викладач каф. ТАМ
 Наталія СЕМІЧАСНОВА
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

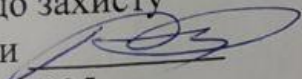
« 06 » 06 2025р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. АТМ

 Олександр ГАЛУЩАК
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 13 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри 

« 9 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, факультету)
 Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри)
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань – 13 Механічна інженерія
(шифр і назва)
 Спеціальність – 131 – «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
 Освітньо - професійна програма – Комп'ютеризовані технології та механотронні системи в машинобудуванні
(назва освітньо - професійної програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., професор Козлов Л.Г.

« 20 » 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Воловому Костянтину Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла редуктора ІЦУ-100

Керівник роботи Семічаснова Наталія Степанівна, старший викладач

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 20 ” 03 2025 року №97

2. Термін подання студентом роботи 16.06.25р.

3. Вихідні дані до роботи Складальне креслення редуктора. Креслення деталі: Вал. Матеріал: Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, Програма випуску: 1600шт.

4. Зміст текстової частини

1. Призначення посадок для типових з'єднань вузла редуктора

2. Використання програмних застосунків для розрахунку точності елементів та з'єднань вузла редуктора

3. Автоматизація розмірного розрахунку конструкції складальної одиниці вузла

4. Технологічна частина

5. Охорона праці

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) складальне креслення редуктора;

робоче креслення деталі;

маршрут механічної обробки ;

розмірний аналіз;

алгоритм визначення полів допусків посадкових поверхонь валів;

автоматизація розмірного розрахунку конструкції складальної одиниці вузла

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Наталія СЕМІЧАСНОВА ст.викладач кафедри ТАМ	20.03.25р	06.06.25р
Охорона праці	Олег БЕРЕЗЮК професор кафедри БЖД ПБ	26.05.25р	06.06.25р

7. Дата видачі завдання « 20 » 03 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.03.25р	20.03.25р	виконано
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	22.04.25р	25.04.25р	виконано
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	26.05.25р	28.05.25р	виконано
4	Виконання розділу «Охорона праці»	26.05.25р	06.06.25р	виконано
5	Перевірка на антиплагіат	05.06.25р	09.06.25р	виконано
7	Нормоконтроль БКР	09.06.25р	10.06.25р	виконано
8	Попередній захист БКР	10.06.25р	11.06.25р	виконано
9	Рецензування БКР	12.06.25р	13.06.25р	виконано
10	Захист БКР	17.06.25р.	19.06.25р.	виконано

Студент Костянтин ВОЛОВИЙ
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)Керівник роботи Наталія СЕМІЧАСНОВА
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 74 сторінок формату А4, на яких 18 рисунків, 32 таблиці, список використаних джерел містить 25 найменувань.

Метою роботи є розробка програмних застосунків для розрахунку точності елементів та з'єднань вузла редуктора, що дозволить покращити експлуатаційні характеристики механізму.

В загальній частині проведено аналіз роботи редуктора та призначення посадок для типових з'єднань вузла.

В розрахунково-конструкторській частині використані програмні застосунки для розрахунку точності елементів та з'єднань вузла редуктора, а саме підшипників кочення та шліцьового з'єднання, автоматизації розмірного розрахунку конструкції складальної одиниці вузла.

У технологічній частині розроблений маршрут механічної обробки деталі – вал, яка є складовою редуктора, виконані розрахунки припусків та режимів різання.

Під час написання розділу охорони праці опрацьовано такі аспекти, як аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці; рекомендації стосовно покращення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: програмні застосунки, автоматизація, характеристики посадок, посадки підшипників кочення та шліцьового з'єднання, розмірний ланцюг, маршрут механічної обробки, режими різання, розмірний аналіз, карта умов праці, пожежна безпека.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of 74 pages of A4 format, which include 18 figures, 32 tables, and a list of sources used contains 25 items.

The purpose of the work is to develop software applications for calculating the accuracy of elements and connections of the gearbox assembly, which will allow improving the operational characteristics of the mechanism.

In the general part, an analysis of the gearbox operation and the assignment of fits for typical node connections were carried out.

In the design and calculation part, software applications were used to calculate the accuracy of the elements and connections of the gearbox assembly, namely rolling bearings and spline connections, and to automate the dimensional calculation of the assembly unit design.

In the technological part, a route for machining the part - the shaft, which is a component of the gearbox - was developed, and calculations of allowances and cutting modes were performed.

When writing the occupational safety section, such aspects as an analysis of harmful and dangerous production factors in the production premises; a map of working conditions; recommendations for improving working conditions, and fire safety standards were also considered.

Keywords: software applications, automation, fit characteristics, rolling bearing and spline joint fits, dimensional chain, machining route, cutting modes, dimensional analysis, working conditions map, fire safety.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ ТИПОВИХ З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА	9
1.1 Аналіз роботи редуктора	9
1.2 Призначення посадок для типових гладких з'єднань редуктора	10
2 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА	12
2.1 Математичний алгоритм розрахунків з'єднань з підшипниками кочення	12
2.2 Автоматизація розрахунків посадок підшипників кочення	12
2.2.1 Аналітичний розрахунок посадок підшипників кочення.....	12
2.2.2 Алгоритм визначення полів допусків посадкових поверхонь валів....	17
2.3 Автоматизація розрахунків посадок шліцевих з'єднань	20
2.3.1 Аналітичний розрахунок посадок шліцевих з'єднань	20
2.3.2 Алгоритм визначення параметрів шліцевих з'єднань у програмі Excel	23
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗМІРНОГО РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЇ СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ ВУЗЛА	25
3.1 Математичний алгоритм розрахунку складальної одиниці вузла	25
3.2 Автоматизація розрахунків складальної одиниці вузла	26
3.2.1 Аналітичний розрахунок складальної одиниці вузла	26
3.2.2 Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга у програмі Excel.....	30
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
4.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	33
4.2 Розрахунок виготовлення заготовки.....	35
4.3 Розробка маршруту механічної обробки.....	43
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	63

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників у виробничому приміщенні	63
5.2 Карта умов праці	68
5.3 Пожежна безпека.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ.....	75
ДОДАТОК А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	
ДОДАТОК Б (обов'язковий) ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	
ДОДАТОК В (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	

ВСТУП

Підвищення якості машин і механізмів можливе на основі принципів взаємозамінності, стандартизації при впровадженні прогресивних методів і засобів контролю в машинобудуванні.

Актуальність теми роботи обумовлена необхідністю впровадження новітніх технологій, оптимізації виробничих процесів та застосуванню сучасних матеріалів, що дозволить забезпечити високу якість продукції та зниження витрат.

Метою роботи є аналіз складових елементів вузла редуктора, що дозволить вдосконалити конструкцію вузла, аналіз сучасних технологій машинобудування, оцінка їх впливу на ефективність виробничих процесів та розробка рекомендацій щодо їх впровадження.

В результаті проведеного дослідження передбачається отримати комплексну оцінку сучасного стану технологій машинобудування та їх впливу на виробничу ефективність, що дозволить розробити практичні рекомендації для підвищення продуктивності та якості продукції машинобудівних підприємств.

В результаті проведеного дослідження передбачається:

- призначити посадки для типових з'єднань вузла редуктора;
- використати програмні застосунки для розрахунку точності елементів та з'єднань вузла редуктора:
 - виконати автоматизацію розмірного розрахунку конструкції складальної одиниці вузла;
 - розробку маршруту механічної обробки деталі;
 - розмірний аналіз технологічного процесу;
 - розрахунок припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь, технічних норм часу.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ ТИПОВИХ З'ЄДНАНЬ

ВУЗЛА РЕДУКТОРА

1.1. Аналіз роботи редуктора

Редуктор 1ЦУ-100 служить для зменшення частоти обертання вала і збільшення відповідного обертаючого моменту. В корпусі редуктора розміщені передачі зчеплення з постійним передаточним відношенням.

Редуктор – невід'ємна складова частина сучасного обладнання. На рис.1.1 зображено фрагмент редуктора, для якого будуть розраховані та призначені посадки для типових з'єднань.

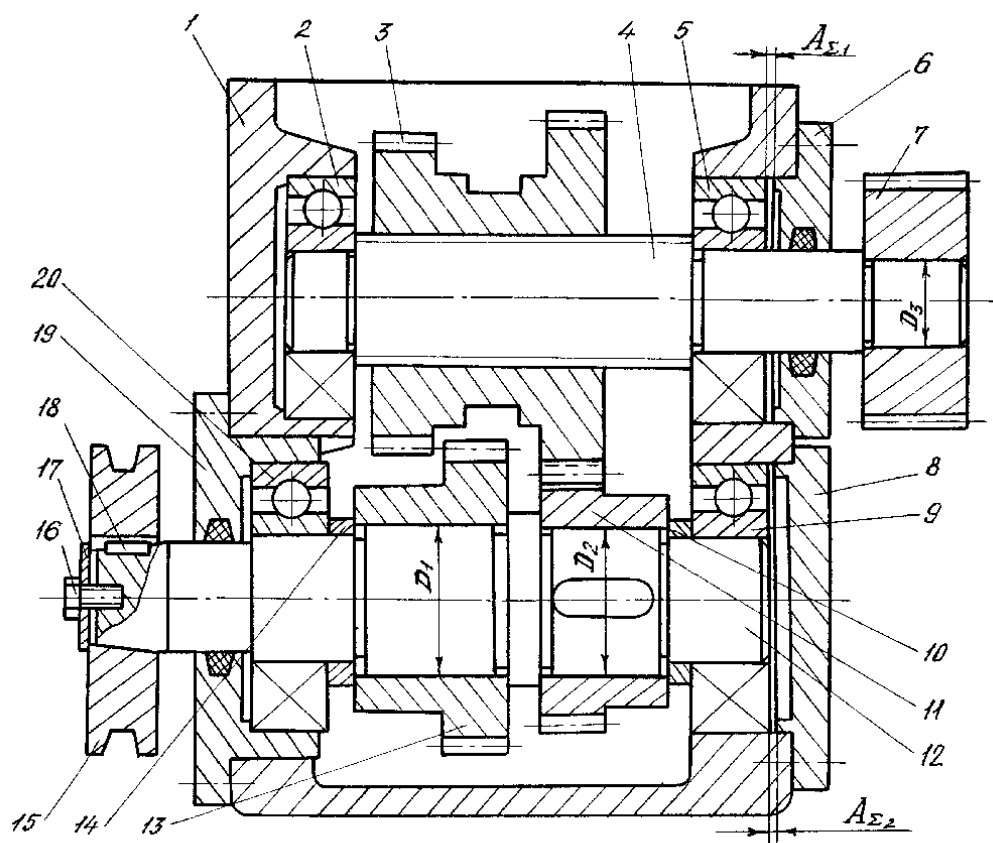


Рисунок 1.1 – Фрагмент редуктора

Обертальний рух від двигуна через клинопасову передачу (рис.1.1) передається на шків 15, що встановлено за допомогою шпонки 18 на кінці валу 12. Вал 12 змонтовано в корпусі на підшипниках кочення 9 та 20. На валу 12 встановлено шестерні 11 та 13. Шестерня 13 встановлена на валу. 12 з зазором, а шестерня 11 - за допомогою шпонки. Обертальний рух на шліцьовий вал 4 і далі на зубчасте колесо 7 передається при зачепленні зубчатого блоку 3 та шестерні 11. Шестерня 7 встановлена з натягом на валу 4. Вал 4 змонтовано в корпусі на підшипниках кочення 2 і 5. Обертання валу 4 через блок 3 і шестерню 13 передається на другі елементи механізму, які не показані на рисунку. Для нормальної роботи механізму передбачено зазори $A_{\Sigma 1}$ і $A_{\Sigma 2}$.

1.2 Призначення посадок для типових гладких з'єднань редуктора

В таблиці 1.1 представлено призначення рекомендованих посадок для фрагменту редуктора

Таблиця 1.1 – Призначення посадок для типових з'єднань редуктора

З'єднання 1	З'єднання 2	Тип посадки	Позначення
1	2	3	4
Шестерня поз.7	Вал поз.4	Натяг	H7/s6
Внутрішнє кільце підшипника кочення поз.5,2	Вал поз.4	Перехідна	L6/k6
Зовнішнє кільце підшипника кочення поз.5, 2	Корпус поз.1	Зазор	H7/l6
Кришка поз.8	Корпус поз.1	Зазор	H11/d11
Внутрішнє кільце підшипника кочення поз.9	Вал поз.12	Перехідна	L6/k6
Зовнішнє кільце підшипника кочення поз.9	Корпус поз.1	Зазор	H7/l6
Втулка поз.10, 14	Вал поз.12	Зазор	H7/e8

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Зубчасте колесо поз.11	Вал поз.12	Перехідна	H7/k6
Зубчасте колесо поз.13	Вал поз.12	Зазором	H7/d8
Внутрішнє кільце підшипника кочення поз.20	Вал поз.12	Перехідна	L6/k6
Зовнішнє кільце підшипника кочення поз.20	Кришка поз.19	Зазор	H7/l6
Кришка поз.19	Корпус поз.1	Зазор	H11/d11
Шків 15	Вал поз.12	Перехідна	H7/n6

2 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА

2.1 Математичний алгоритм розрахунків з'єднань з підшипниками кочення

Вибір типу посадки кілець підшипників кочення залежить від конструкції підшипника та від того, як навантажуються його кільця. Залежно від способу прикладання навантаження, розрізняють такі типи навантаження кілець: локалізоване (місцеве), обертове (циркуляційне) та коливальне.

Якщо кільце працює під обертовим навантаженням, то для вибору його посадки (на вал або в корпус) враховують величину радіального навантаження P_R , що діє на відповідну посадкову поверхню. Це навантаження визначається за формулою.

$$P_R = \frac{R}{b} \cdot K_n \cdot F \cdot F_A [\text{кН/м}], \quad (2.1)$$

де R – розрахункова радіальна реакція опори, Н;

b – робоча ширина посадкового місця підшипника, мм, $b = B - 2r$;

B – робоча ширина підшипника, мм;

r – радіус заокруглення фаски, мм;

K_n – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження: $K_n = 1$ – при перенавантаженні до 150%, $K_n = 1,8$ – при перенавантаженні до 300%;

F – коефіцієнт, що враховує ступінь послаблення посадкового натягу;

F_A – коефіцієнт нерівномірності розподілу радіального навантаження.

2.2 Автоматизація розрахунків посадок підшипників кочення

2.2.1 Аналітичний розрахунок посадок підшипників кочення

Призначаємо посадку для циркуляційно навантаженого кільця підшипника №310 класу точності 6. Розрахункова радіальна реакція опори становить $R = 18000$ Н. Характер навантаження: поштовхи, перевантаження до 300% (поз.5,2 рис.1.1)

Визначаємо габаритні розміри підшипника №310 [1]

$$d = 50 \text{ мм}; D = 110 \text{ мм}; B = 27 \text{ мм}; r = 3,5 \text{ мм}$$

Розраховуємо інтенсивність навантаження на доріжку кочення по формулі (2.1)

$$P_R = 18000 / ((27 - 2 \cdot 3,5) \cdot 10^{-3}) \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 500 \cdot 10^3 \text{ (кН/м)}$$

Такій інтенсивності навантаження відповідає поле допуску для валу k6. Тоді для з'єднання внутрішнього кільця підшипника та валу призначаємо посадку

$$\varnothing 50 \frac{L6}{k6}$$

Для зовнішнього кільця підшипника, на яке діє локалізоване навантаження, рекомендованим полем допуску для корпусу є H7. Отже, у цьому випадку для з'єднання зовнішнього кільця підшипника та корпусу застосовується наступна посадка

$$\varnothing 110 \frac{H7}{l6}$$

На рисунку 2.1 наведено, як позначаються посадки підшипника кочення на складальному кресленні, а також показано схематичне розміщення полів допусків для відповідних посадок.

Граничні відхилення для діаметрів посадкової поверхні вала та отвору в корпусі під підшипники кочення (табл.2.1) [1].

Таблиця 2.1 – Значення граничних відхилень на посадковій поверхні

Позначення	Значення відхилень
Верхнє граничне відхилення отвору, H7	ES= +35 мкм
Нижнє граничне відхилення отвору, H7	EI= 0
Верхнє граничне відхилення валу, k6	es= +18,0 мкм
Нижнє граничне відхилення валу, k6	ei= +2,0 мкм.

Значення граничних відхилень середніх діаметрів кілець підшипника кочення (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Значення граничних відхилень для кілець підшипників кочення

Позначення	Значення відхилень
Верхнє граничне відхилення зовнішнього кільця , І6	$es=0$
Нижнє граничне відхилення зовнішнього кільця, І6	$ei=-13 \text{ мкм}$
Верхнє граничне відхилення внутрішнього кільця , L6	$ES=0$
Нижнє граничне відхилення внутрішнього кільця, L6	$EI=-10 \text{ мкм}$

Визначення граничні зазорів та натяги для кілець підшипника 6-310 (табл.2.3)

Таблиця 2.3 –Граничні зазори та натяги для кілець підшипника 6-310

Позначення	Розрахункові формули	Розрахунки (мм)
Зовнішнє кільце підшипника – отвір корпусу, H7/l6		
Максимальний граничний розмір отвору	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max}=110,0 + 0,035=110,035$
Мінімальний граничний розмір отвору	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min}=110,0+0=110,0$
Максимальний граничний натяг	$N_{\max} = es - EI$	$N_{\max}= 0 - (0) = 0$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = ES - ei$	$S_{\max}= 0,035-(-0,013)=0,048$
Внутрішнє кільце підшипника – вал, L6/k6		
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max}=50,0 + 0,018=50,018$
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min}=50,0+0,002=50,002$
Максимальний граничний натяг	$N_{\max} = es - EI$	$N_{\max}= 0,008 - (-0,010) =0,028$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = ES - ei$	$S_{\max}= 0 - (-0,002)= 0,002$

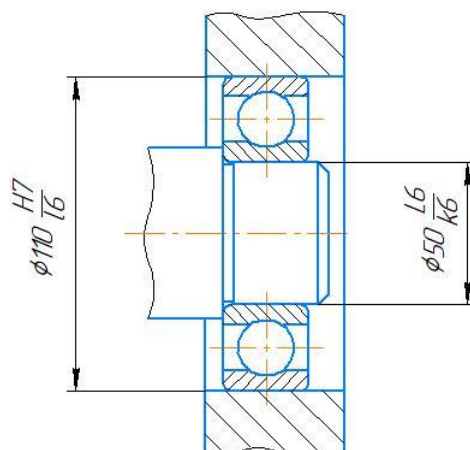


Рисунок 2.1 – Позначення посадок підшипника кочення на кресленні

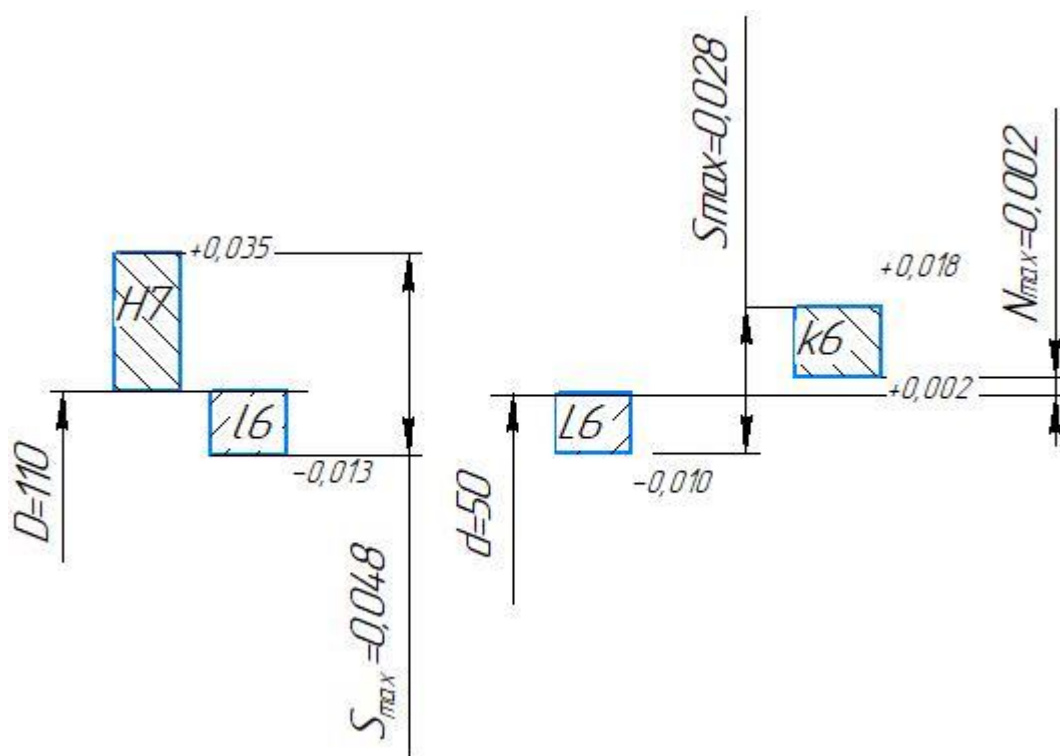


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення посадок підшипників кочення 6-310

Для підшипника № 208 класу точності 6 (поз.7,8 рис.1.1) проводимо аналогічні розрахунки.

Визначаємо габаритні розміри підшипника №208 []

$$d = 40 \text{ мм}; D = 80 \text{ мм}; B = 18 \text{ мм}; r = 2 \text{ мм}$$

Розраховуємо інтенсивність навантаження на доріжку кочення (ф.2.1)

$$P_R = 18000 / ((18 - 2 \cdot 2) \cdot 10^{-3}) \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 720 \cdot 10^3 \text{ (кН/м)}$$

Такий інтенсивності навантаження відповідає поле допуску для валу k6. Тоді для з'єднання внутрішнього кільця підшипника та валу призначаємо посадку

$$\varnothing 40 \frac{L6}{k6}$$

Для зовнішнього кільця підшипника, на яке діє локалізоване навантаження, рекомендованим полем допуску для корпусу є H7. Отже, у цьому випадку для з'єднання зовнішнього кільця підшипника та корпусу застосовується наступна посадка

$$\varnothing 80 \frac{H7}{l6}$$

Граничні відхилення для діаметрів посадкової поверхні вала та отвору в корпусі під підшипники кочення №208 (табл.2.4) [].

Таблиця 2.4 – Значення граничних відхилень на посадковій поверхні

Позначення	Значення відхилень
Верхнє граничне відхилення отвору, H7	ES= +30 мкм
Нижнє граничне відхилення отвору, H7	EI= 0
Верхнє граничне відхилення валу, k6	es= +18,0 мкм
Нижнє граничне відхилення валу, k6	ei= +2,0 мкм.

Значення граничних відхилень середніх діаметрів кілець підшипника кочення (табл.2.5).

Таблиця 2.5 – Значення граничних відхилень для кілець підшипників кочення

Позначення	Значення відхилень
Верхнє граничне відхилення зовнішнього кільця, l6	es=0
Нижнє граничне відхилення зовнішнього кільця, l6	ei=-11 мкм
Верхнє граничне відхилення внутрішнього кільця, L6	ES=0
Нижнє граничне відхилення внутрішнього кільця, L6	EI=-10 мкм

Визначення граничних зазорів та натяги для кілець підшипника 6-208 (табл.2.6)

Таблиця 2.6 –Граничні зазори та натяги для кілець підшипника 6-208

Позначення	Розрахункові формули	Розрахунки (мм)
Зовнішнє кільце підшипника – отвір корпусу, H7/l6		
Максимальний граничний розмір отвору	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max}=80,0 +0,030=80,030$
Мінімальний граничний розмір отвору	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min}=80,0+0=80,0$
Максимальний граничний натяг	$N_{\max} = es - EI$	$N_{\max}= 0 - (0) = 0$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = ES - ei$	$S_{\max}= 0,030-(-0,011)=0,041$
Внутрішнє кільце підшипника – вал, L6/k6		
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max}=40,0 +0,018=40,018$
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min}=40,0+0,002=40,002$
Максимальний граничний натяг	$N_{\max} = es - EI$	$N_{\max}= 0,008 - (-0,010) =0,028$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = ES - ei$	$S_{\max}= 0 - (-0,002)= 0,002$

2.2.2 Алгоритм визначення полів допусків посадкових поверхонь валів

Початкові дані:

- R (радіальна опора підшипника);
- d (внутрішній діаметр підшипника): Цей параметр буде використовуватися для вибору рядка з таблиці підшипників.

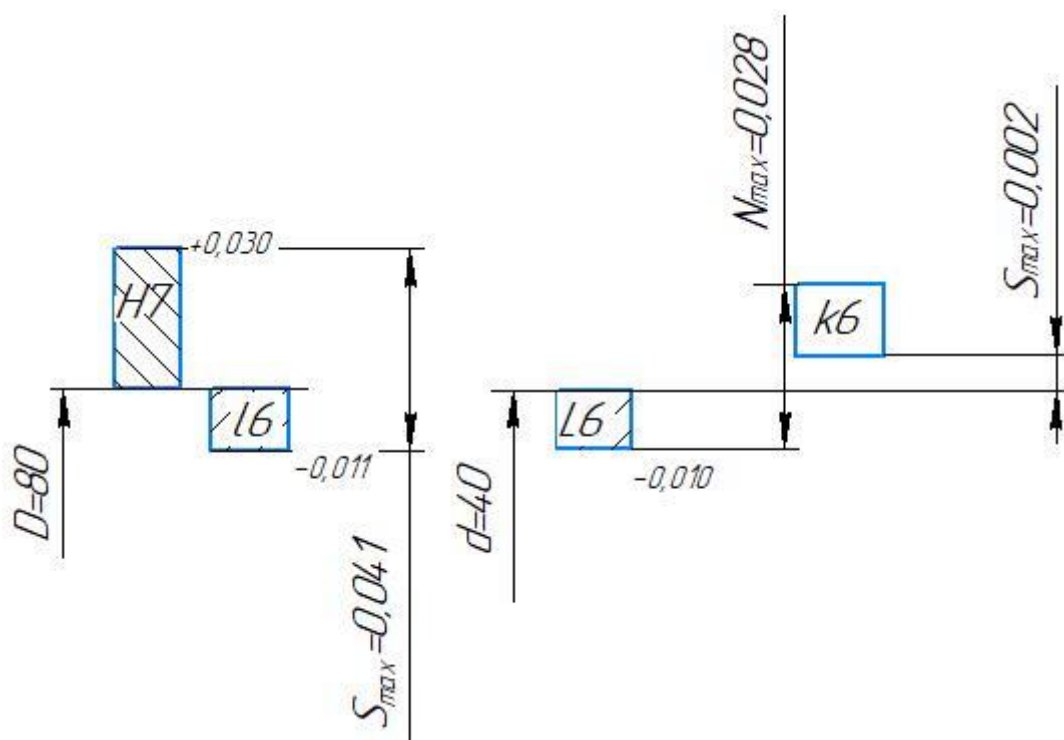


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення посадок підшипників кочення 6-310

В програмі Excel вводимо таблицю 2.7 та таблицю 2.8

Таблиця 2.7– Параметри підшипників

Умове позначення підшипника	Внутрішній діаметр	Зовнішній діаметр	Ширина підшипника	Радіус скруглення
	d	D	B	r
308,00	40,00	90,00	23,00	3,00
309,00	45,00	100,00	25,00	3,00
310,00	50,00	110,00	27,00	3,50
311,00	55,00	120,00	29,00	3,50
312,00	60,00	130,00	31,00	3,50
313,00	65,00	140,00	33,00	3,50
314,00	70,00	150,00	35,00	4,00
315,00	75,00	160,00	37,00	4,00
316,00	80,00	170,00	39,00	4,00

Таблиця 2.8 – Поля допусків для валів

Діаметр отвору внутрішнього кільця підшипника, d	Допустимі значення P_R , кНм			
	Поля допусків для валів			
	js6	k6	m6	n6
18-80	до 300	300...1400	1400...1600	1600...3000
80-180	до 600	600...2000	2000...2500	2500...4000

Задаємо формули для розрахунків:

1. Пошуку ширини підшипника B:

=VLOOKUP(B16,A3:E11,4,FALSE)

2. Пошуку радіуса скруглення r:

=VLOOKUP(B16,A3:E11,5,FALSE)

3. Розрахунок інтенсивності навантаження

$P = (B15 / (G2 - 2 * H2)) * (10^{-3}) * 1.8$

4. Призначення поля допуску для валу:

=IF(B18 > E14; "Поза діапазоном R"; INDEX(B13:E13;
MATCH(B18;B15:E15;1)))

Ехсел автоматично виконає всі розрахунки та відобразить інтенсивність навантаження P_R та визначить відповідне поле допуску для валу (рисунок 2.3)

Цей файл Ехсел буде динамічним, дозволить вам легко змінювати вхідні дані R та d та миттєво бачити оновлені результати розрахунків та призначення полів допусків.

Підшипник мій - Excel (не вдалося активувати продукт)

Файл Основне Вставлення Розмітка сторінки Формули Дані Рецензування Подання Acrobat Universal Document Converter

Вставити Вирівнювання Число

Б21 =IF(B18 > E14; "Поза діапазоном R"; INDEX(B13:E13; MATCH(B18;B15:E15;1)))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Позначення підшипника	Внутрішній діаметр	Зовнішній діаметр	Ширина підшипника	Радіус скруглення							
2	308,00	40,00	90,00	23,00	3,00							
3	309,00	45,00	100,00	25,00	3,00							
4	310,00	50,00	110,00	27,00	3,50							
5	311,00	55,00	120,00	29,00	3,50							
6	312,00	60,00	130,00	31,00	3,50							
7	313,00	65,00	140,00	33,00	3,50							
8	314,00	70,00	150,00	35,00	4,00							
9	315,00	75,00	160,00	37,00	4,00							
10	316,00	80,00	170,00	39,00	4,00							
11												
12	Поля допусків валів при інтенсивності навантаження, P											
13	Інтервали розмірів	js6	k6	m6	n6							
14	20-80	300,00	1400,00	1600,00	3000,00							
15	Нижня межа	0,00	300,00	1400,00	1600,00							
16												
17	Дано											
18	R	800,00										
19	d	40,00										
20	Визначення поля допуску											
21		k6										

Готово

Рисунок 2.3 – Визначення поля допуску посадкових поверхонь валів

2.3 Автоматизація розрахунків посадок шліцевих з'єднань

Вибір посадки для шліцевих з'єднань залежить від багатьох факторів, включаючи величину крутного моменту, наявність ударних навантажень, вимоги до співвісності, необхідність монтажу/демонтажу та умови експлуатації.

У шліцевих з'єднаннях посадки призначають в залежності від центрування. Центрування може здійснюватися по внутрішньому діаметру, зовнішньому діаметру або бічних поверхнях шліців, це впливає на точність центрування та розподіл навантаження.

2.3.1 Аналітичний розрахунок посадок шліцевих з'єднань

Задаємося параметрами шліцевого з'єднання зубчастого блоку 3 з валом поз.4 (рис.1.1) при центруванні за зовнішнім діаметром з умовним позначенням (табл.2.9)

$$D - 8 \times 48 \times 50 \frac{H7}{js6} \times 8 \frac{F8}{f8}$$

Таблиця 2.9 – Основні розміри шліцевого з'єднання

Позначення	Число зубців z	d, мм	D, мм	b, мм
8x48x50	8	48	50	8

Знаходимо значення відхилень для посадок [] гладких з'єднань, значення заносимо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Параметри шліцевого з'єднання

Пара-метр	Шліцева втулка				Шліцевий вал			
	поле	ES	EI	TD	поле	es	ei	Td
D = 50	H7	+0,035	0	0,035	js6	+0,008	-0,008	0,016
b = 8	F8	+0,035	+0,013	0,022	f8	-0,013	-0,038	0,022

Знаходимо граничні розміри та значення граничних зазорів для посадочних розмірів

Розраховані значення заносимо в таблицю 2.11

Таблиця 2.11 – Характеристики шліцевого з'єднання

Позначення	Розрахункові формули	Розрахунки (мм)
1	2	3
Зовнішній діаметр $50 \frac{H7}{js6}$		
Максимальний граничний розмір втулки	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max} = 50 + 0,035 = 50,035$
Мінімальний граничний розмір втулки	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min} = 50 + 0 = 50,0$
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max} = 50 + 0,008 = 50,008$

Продовження таблиці 2.11

1	2	3
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min} = 50 - 0,008 = 49,992$
Мінімальний граничний зазор	$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$	$S_{\min} = 50,008 - 50,0 = 0,008$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$	$S_{\max} = 50,035 - 49,992 = 0,043$
Ширина шліца $8 \frac{F8}{f8}$		
Максимальний граничний розмір втулки	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max} = 8 + 0,035 = 8,035$
Мінімальний граничний розмір втулки	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min} = 8 + 0,013 = 8,013$
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max} = 8 - 0,013 = 7,987$
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min} = 8 - 0,035 = 7,965$
Мінімальний граничний зазор	$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$	$S_{\min} = 8,013 - 7,987 = 0,023$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$	$S_{\max} = 8,035 - 7,965 = 0,07$

Ескізи шліцьової втулки, шліцьового вала та шліцьового з'єднання зображено на рис.2.4

2.3.2 Алгоритм визначення параметрів шліцьових з'єднань у програмі Excel

Визначаємо параметри шліцьового з'єднання в Excel, якщо відомий один з параметрів, припустимо внутрішній діаметр d .

Введемо дані таблиці в Excel, таблиця 2.12

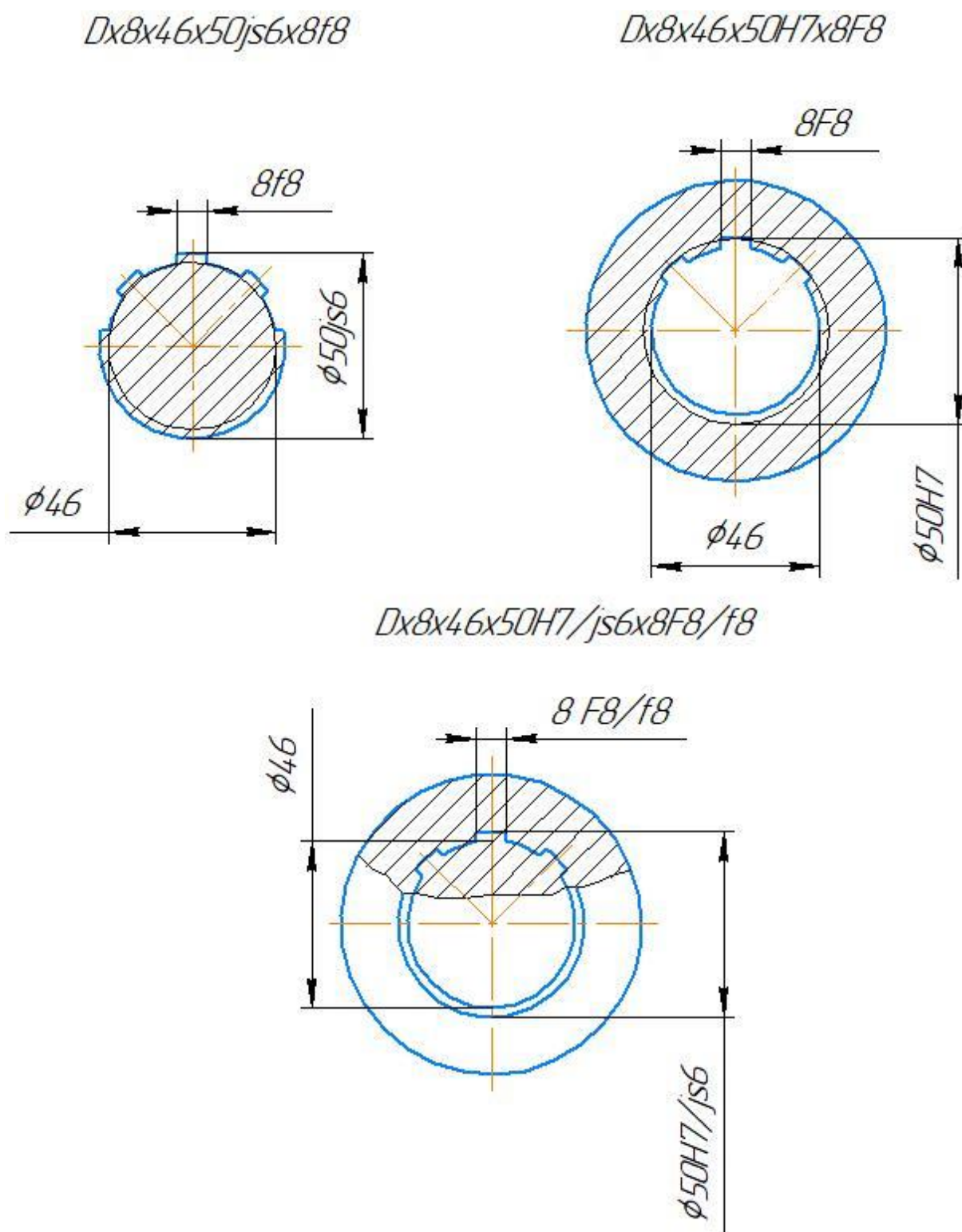


Рисунок 2.4 – Ескізи шліцевого з'єднання та його деталей

Таблиця 2.12 – Параметри шліцьового з'єднання

Параметри	z	d	D	b
8x32x38x6	8,00	32,00	38,00	6,00
8x36x42x7	8,00	36,00	42,00	7,00
8x42x48x8	8,00	42,00	48,00	8,00
8x46x54x9	8,00	46,00	54,00	9,00
8x52x60x10	8,00	52,00	60,00	10,00

Визначення параметрів шліцьових з'єднань									
z*d*D*b	z	d	D	b					
8*32*38*6	8,00	32,00	38,00	6,00					
8*36*42*7	8,00	36,00	42,00	7,00					
8*42*48*8	8,00	42,00	48,00	8,00					
8*46*54*9	8,00	46,00	54,00	9,00					
8*52*60*10	8,00	52,00	60,00	10,00					
d	32,00								
Параметри									
d	=IFERROR(VLOOKUP(B9,B3:E7,1,FALSE), "d not found")				32				
z	=IFERROR(VLOOKUP(B9,B3:E7,2,FALSE), "Not found")				8				
D	=IFERROR(VLOOKUP(B9,B3:E7,3,FALSE), "Not found")				38				
b	=IFERROR(VLOOKUP(B9,B3:E7,4,FALSE), "Not found")				6				

Рисунок 2.5 – Визначення параметрів шліцьового з'єднання

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗМІРНОГО РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЇ СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ ВУЗЛА

3.1 Математичний алгоритм розрахунку складальної одиниці вузла

У машинобудуванні та приладобудуванні точність складання механізмів має вирішальне значення.

Аналіз конструкторських розмірних ланцюгів дозволяє:

- забезпечити задану функцію виробу з'єднання деталей, переміщення, передавання зусиль;
- оцінити вплив допусків окремих елементів на загальну точність виробу;
- визначити необхідні допуски для виготовлення складових частин вузла; оптимізувати конструкцію за точністю, вартістю та технологічністю.

Розрахунок проводимо методом повної взаємозамінності в основу якого лежить виконання трьох основних рівняння розмірного ланцюга (3.1-3.3):

Розрахунок розмірного ланцюга базується на розв'язанні трьох основних рівняннях (3.1-3.3) [1]

Таблиця 3.1– Визначення номінальних розмірів

Позначення	Найменування
$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m A_{i36} - \sum_{i=1}^n A_{i3m}$	
A_{Σ}	номінальний розмір замикаючої ланки
A_{i36}	номінальний розмір збільшуючої ланки
A_{i3m}	номінальний розмір зменшуючої ланки
m	кількість збільшуючих ланок
n	кількість зменшуючих ланок

Таблиця 3.2 – Визначення допусків

Позначення	Найменування
$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m T_{i36} + \sum_{i=1}^n T_{i3m} = \sum_{i=1}^{m+n} T_i$	
T_{Σ}	допуск замикаючої ланки
T_{i36}	допуск збільшуючих ланок
T_{i3m}	допуск зменшуючих ланок
m	кількість збільшуючих ланок
n	кількість зменшуючих ланок

Таблиця 3.3 – Визначення граничних відхилень складових ланок.

Позначення	Найменування
$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m C_{i36} - \sum_{i=1}^n C_{i3m}$	
C_{Σ}	граничне відхилення замикальної ланки
C_{i36}	граничне відхилення збільшувальної ланки
C_{i3m}	граничне відхилення зменшувальної ланки

Прийнято, що розміри збільшувальних ланок входять із знаком «плюс», а розміри замикальної ланки й всіх зменшувальних – із знаком «мінус».

3.2 Автоматизація розрахунків складальної одиниці вузла

3.2.1 Аналітичний розрахунок складальної одиниці вузла

Будуємо схему розмірного ланцюга (рис.3.1). Складовими ланками розмірного ланцюга є А1–ширина підшипника, А2–ширина втулки, А3– ширина зубчастого колеса, А4–ширина виступу вала, А5– ширина зубчастого колеса, А6–ширина втулки, А7– ширина підшипника, А8–розточка в кришці під підшипник, А9–відстань між торцями кришки, А10–відстань між зовнішніми сторонами корпусу, А11– відстань між торцями кришки.

Задаємо напрямлення обходу по контуру і визначаємо зменшуючі та збільшуючі ланки :

$A_1, \dots, A_7, A_9, A_{11}$ – зменшуючі;

A_8, A_{10} – збільшуюча.

За заданими технічними умовами номінальне значення вихідної ланки $A_\Sigma = 0,65$, верхнє та нижнє граничні відхилення відповідно дорівнюють $ES=+0.18$, $EI=-0.25$. Допуск вихідної ланки $T_\Sigma = 0,43$ мм.

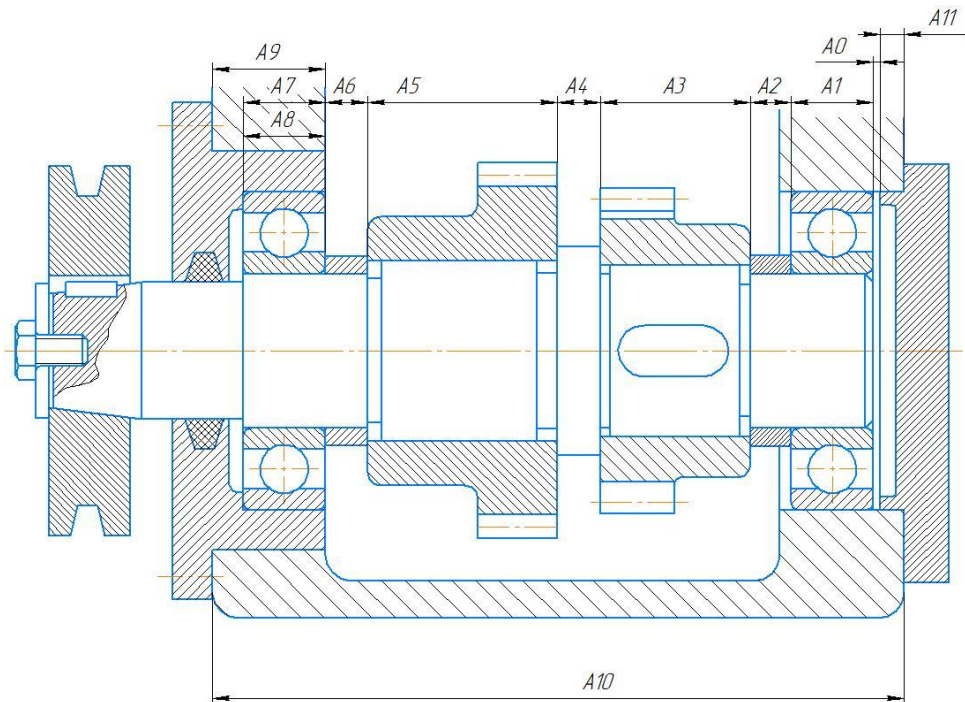


Рисунок 3.1 – Схема розмірного ланцюга

Складаємо основне рівняння розмірного ланцюга (ф.3.1):

$$A_\Sigma + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_9 + A_{11} - A_8 - A_{10} = 0$$

Із конструктивних міркувань приймаємо наступні значення складових ланок

$$\begin{aligned} A_1 &= 27 \text{ мм}; & A_6 &= 10 \text{ мм}; \\ A_2 &= 8 \text{ мм}; & A_7 &= 27 \text{ мм}; \\ A_3 &= 50 \text{ мм}; & A_8 &= 24,65 \text{ мм}; \\ A_4 &= 12 \text{ мм}; & A_9 &= 34 \text{ мм}; \\ A_5 &= 60 \text{ мм}; & A_{10} &= 210 \text{ мм}; \\ & & A_{11} &= 6 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Підставляємо прийняті значення розмірів в основне рівняння і дістанемо

$$0,65 + 27 + 8 + 50 + 12 + 60 + 10 + 27 + 34 + 6 - 24,65 - 210 = 0.$$

Отже вимога основного рівняння виконана.

Приймаємо що допуск вихідної ланки будемо розподіляти між складовими ланками, користуючись методом рівного ступеня точності.

Визначаємо значення одиниці допуску для складових ланок розмірного ланцюга. Значення приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Значення одиниць допуску для складових ланок

Розмір	27	8	50	12	60	10	27	24	34	210	6
i_i	1,31	0,9	1,56	1,31	1,86	0,9	1,31	1,31	1,56	3,22	0,73

Визначаємо число одиниць допуску призначення квалітету

$$a = \frac{T_{\Sigma}}{\sum_{m+n} i_i},$$

$$a = \frac{430}{1,31 + 0,9 + 1,56 + 1,31 + 1,86 + 0,9 + 1,31 + 1,31 + 1,56 + 3,22 + 0,73} = 26,9$$

Вибираємо найближче менше число одиниць допуску $a = 25$, що відповідає 8 квалітету.

Призначаємо допуски на всі складові розміри по 8 квалітету. Значення приведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Значення допусків на складові ланки розмірного ланцюга

Розмір	27	8	50	12	60	10	27	24	34	210	6
T_i	33	22	39	27	46	22	33	33	39	72	18

Перевіряємо правильність призначення допусків за формулою (ф.3.2)

$$(33+22+39+27+46+22+33+33+39+72+18) \leq 430$$

$$384 \leq 430$$

Отже умова виконується.

Призначаємо відхилення на всі складові ланки. На всі розміри, як на основний вал, тобто в “мінус”, тоді:

Таблиця 3.3 – Значення відхилень на складові ланки розмірного ланцюга

Розмір	27	8	50	12	60	10	27	24	34	210	6
Відхилення	-33	-22	±39	-27	±46	-22	-33	±33	±39	-72	-18

Розраховуємо середні відхилення полів допусків замикаючої та складових ланок за формулою:

$$E_c = \frac{ES + EI}{2} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.4 – Розрахунки основних рівнянь розмірного ланцюга

Номінальні розміри,	Допуски	Середні відхилення
1	2	3
A = 0,65 мм	T = 0,43 мм	$E_{c\Sigma} = \frac{0,18 - 0,25}{2} = -0,035 \text{ мм};$
A1 = 27 мм	T1 = 0,033 мм	$E_{c1} = \frac{0 - 0,033}{2} = -0,0165 \text{ мм};$
A2 = 8 мм	T2 = 0,022 мм	$E_{c2} = \frac{0 - 0,022}{2} = -0,011 \text{ мм};$
A3 = 50 мм	T3 = 0,039 мм	$E_{c3} = \frac{0,039 - 0,039}{2} = 0;$
A4 = 12 мм	T4 = 0,027 мм	$E_{c4} = \frac{0 - 0,027}{2} = -0,0135 \text{ мм};$
A5 = 60 мм	T5 = 0,046 мм	$E_{c5} = \frac{0,046 - 0,046}{2} = 0;$
A6 = 10 мм	T6 = 0,022 мм	$E_{c6} = \frac{0 - 0,022}{2} = -0,011 \text{ мм};$
A7 = 27 мм	T7 = 0,033 мм	$E_{c7} = \frac{0 - 0,033}{2} = -0,0165 \text{ мм};$

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
A8 = 24 мм	T8 = 0,033 мм	$E_{c8} = \frac{0,033 - 0,033}{2} = 0;$
A9 = 34 мм	T9 = 0,039 мм	$E_{c9} = \frac{0,039 - 0,039}{2} = 0;$
A10 = 210 мм	T10 = 0,072 мм	$E_{c10} = \frac{0 - 0,072}{2} = -0,036_{мм};$
A11 = 6 мм	T11 = 0,018 мм	$E_{c11} = \frac{0 - 0,018}{2} = -0,009_{мм};$

Перевіряємо правильність призначення відхилень за формулою 3.3

$$-0,035 = -0,036 - (-0,0165 - 0,011 - 0,0135 - 0,011 - 0,0165 - 0,009) \\ -0,035 \approx -0,034.$$

Отже умова виконується

3.2.2 Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга у програмі Excel

Структура робочого листа Excel:

Ми використаємо кілька окремих областей на аркуші:

- Таблиця для "Квалітету" (таблиця 3.5)
- Таблиця для "і,мкм" (розміри) (таблиця 3.6).
- Таблиця значень "Допусків" (таблиця 3.7)
- Вхідні дані - комірки для введення чисельника та списку розмірів.
- Проміжні розрахунки - визначення окремих і,мкм для кожного розміру.
- Кінцеві результати: визначення числа одиниць допуску, квалітету та допуску на всі складові ланки розмірного ланцюга.

Таблиця 3.5 – Значення квалітетів

Квалітет	5	6	7	8	9	10	11
a	7	10	16	25	40	64	100

Таблиця 3.6 – Значення одиниць допусків для інтервалів розмірів

Розмір	3	6	10	18	30	50	80	120	180
i	0,73	0,9	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89

Таблиця 3.7 – Значення допусків

Розміри/квалітети	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
6,00	5,00	8,00	12,00	18,00	30,00	48,00	75,00
10,00	6,00	9,00	15,00	22,00	36,00	58,00	90,00
18,00	8,00	11,00	18,00	27,00	43,00	70,00	110,00
30,00	9,00	13,00	21,00	33,00	52,00	84,00	130,00
50,00	11,00	16,00	25,00	39,00	62,00	100,00	160,00
80,00	13,00	19,00	30,00	46,00	74,00	120,00	190,00
120,00	15,00	22,00	35,00	54,00	87,00	140,00	220,00
180,00	18,00	25,00	40,00	63,00	100,00	160,00	250,00
250,00	20,00	29,00	46,00	72,00	115,00	185,00	290,00
315,00	23,00	32,00	52,00	81,00	130,00	210,00	320,00
400,00	25,00	36,00	57,00	89,00	140,00	230,00	360,00

Ex2 - Excel (не вдалося активувати продукт)

Файл Основне Вставлення Розмітка сторінки Формули Дані Рецензування Подання Acrobat Universal Doc

Вставити Буфер обміну Шрифт Вирівнювання Число Стилі

Calibri 11 Ж К П % 000 0,00 0,00

Загальний Умове форматування Формат таблиці Стилі

B23 X ✓ f_x =LOOKUP(D5;\$B\$21:\$H\$21;\$B\$20:\$H\$20)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	Розмір	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	
3	i	0,73	0,9	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3,22	
4		TΣ	Σi	a								
5		430	15,16	28,36412								
6			SUM(B8:B18)	B5/C5								
7	Розмір	i										
8	27	1,31		LOOKUP(A8; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
9	8	0,9		LOOKUP(A9; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
10	50	1,86		LOOKUP(A10; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
11	12	1,08		LOOKUP(A11; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
12	60	1,86		LOOKUP(A12; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
13	10	1,08		LOOKUP(A13; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
14	27	1,31		LOOKUP(A14; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
15	24	1,31		LOOKUP(A15; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
16	34	1,56		LOOKUP(A16; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
17	210	2,89		LOOKUP(A17; \$B\$2:\$K\$2; \$B\$3:\$K\$3)								
18	6	0,9										
19												
20	Квалітет	5	6	7	8	9	10	11				
21	a	7	10	16	25	40	64	100				
22												
23	Квалітет	8										

$$a = \frac{T_{\Sigma}}{\sum i_i}$$

Рисунок 3.2 – Визначення числа одиниць допуску та квалітету

Допуск - Excel (не вдалося акт

Файл Основне Вставлення Розмітка сторінки Формули Дані Рецензування Подання Ас

Вставити Буфер обміну Шрифт Вирівнювання Число Стилі

Calibri 11 Ж К П % 000 0,00 0,00

Числовий Умове форматування

B18 X ✓ f_x =INDEX(B3:H13;MATCH(B16;A3:A13;1);MATCH(B17;B2:H2;0))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Розміри/квалітети	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00		
3		6,00	5,00	8,00	12,00	18,00	30,00	48,00	75,00	
4		10,00	6,00	9,00	15,00	22,00	36,00	58,00	90,00	
5		18,00	8,00	11,00	18,00	27,00	43,00	70,00	110,00	
6		30,00	9,00	13,00	21,00	33,00	52,00	84,00	130,00	
7		50,00	11,00	16,00	25,00	39,00	62,00	100,00	160,00	
8		80,00	13,00	19,00	30,00	46,00	74,00	120,00	190,00	
9		120,00	15,00	22,00	35,00	54,00	87,00	140,00	220,00	
10		180,00	18,00	25,00	40,00	63,00	100,00	160,00	250,00	
11		250,00	20,00	29,00	46,00	72,00	115,00	185,00	290,00	
12		315,00	23,00	32,00	52,00	81,00	130,00	210,00	320,00	
13		400,00	25,00	36,00	57,00	89,00	140,00	230,00	360,00	
14										
15										
16	Розмір		20,00							
17	Квалітет		8,00							
18	Допуск		27							
19										

Рисунок 3. 3 – Визначення допусків

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

Деталь «Вал» є деталлю редуктора та слугує ланкою для передачі крутного моменту. Базується деталь в редукторі по поверхнях Ø50js6. Суміжні деталі базуються по поверхні Ø60js6 та Ø65d8.

Деталь виготовляється з конструкційної сталі 40Х ГОСТ 4543-71. За своєю формою, конструкції та технологічним ознакам деталь відноситься до класу «Валів».

Для визначення технологічності конструкції деталі проведемо кількісного аналіз за трьома показниками (коефіцієнт уніфікації, коефіцієнт шорсткості та коефіцієнт точності).

- коефіцієнт уніфікації

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (4.1)$$

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів в конструкції деталі (див. табл. 2,1),

Q_e – загальна кількість елементів.

$$K_y = (23+17)/(28+19) = 0,851.$$

Оскільки виконується умова $K_y \geq 0,6$ ($0,851 \geq 0,6$) деталь відноситься до технологічних.

- коефіцієнт шорсткості

$$K_w = \frac{1}{\overline{Ш}_{cp}} = \frac{1}{5,571} = 0,179.$$

Середній клас шорсткості складає:

$$\overline{Ш}_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{0,8 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2 + 6,3 \cdot 24}{28} = 5,571$$

Таблиця 4.1 – Загальна кількість конструктивних елементів

Лінійний розмір	279	172	112	95	72	53 _{-0,1}	44	40	40
Уніфікований розмір	-	-	-	+	-	+	-	+	+
Лінійний розмір	36 _{-0,1}	18D10	16	12D10	6	5 5 пов.	5 2 пов.	0,5 5 пов.	0,5 2 пов.
Уніфікований розмір	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Діаметральний розмір	Ø88	Ø65d8	Ø60js6	Ø50js6 2 пов.	Ø45k6	Ø38	R1,6 5 пов.	R0,5 5 пов.	R0,5 2 пов.
Уніфікований розмір	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Кількість лінійних розмірів 28					Кількість уніфікованих розмірів 23				
Кількість діаметральних розмірів 19					Кількість уніфікованих розмірів 17				

Таблиця 4.2 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
0,8	2	0,8·2=1,6
1,6	2	1,6·2=3,2
3,2	24	6,3·24=151,2
Всього:	28	156

Деталь технологічна по коефіцієнту шорсткості, тому що виконується перевірка $0,179 < 0,32$ ($K_{ш} < 0,32$).

- коефіцієнт точності

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,07} = 0,917.$$

де T_{cp} – середній квалітет точності

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 5 + 8 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 14 \cdot 20}{28} = 12,07.$$

Таблиця 4.3 – Квалітети точності поверхонь деталі

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
6	5	$6 \cdot 5 = 30$
8	1	$8 \cdot 1 = 8$
10	2	$10 \cdot 2 = 20$
14	20	$14 \cdot 20 = 280$
Всього	28	338

Деталь технологічна по коефіцієнту точності, тому що виконується умова $0,917 > 0,8$ ($K_T > 0,8$).

Оскільки виконуються всі умови, то деталь технологічна.

4.2. Розрахунок виготовлення заготовки

Дана деталь – Вал випускається в умовах дрібносерійного виробництва, оскільки маса деталі 5,338 кг, а програма випуску $N = 1600$ шт.

Матеріал деталі - сталь 40Х: легована конструкційна сталь. Сталь 40Х має досить гарну пластичність, тому виготовляємо заготовку методом пластичної деформації (штампуванням).

Проаналізувавши різні способи виготовлення заготовок можна зробити висновок, що для даного типу виробництва найбільш доцільним та економічним будуть такі способи виготовлення заготовки, як штампування на ГKM та прокат.

4.2.1 Призначення припусків на механічну обробку та розрахунок граничних розмірів. Вибір конструктивних елементів заготовки)

Проведемо розрахунок параметрів процесу штампування на ГKM та визначимо розміри вихідної заготовки.

Клас точності Т для штамповки на ГKM – Т4.

Група сталі М для сталі 40Х – М2.

Визначаємо ступінь складності поковки. Визначаємо масу найменшої простої геометричної фігури, яка описує деталь. Всі габаритні розміри деталі збільшуємо на коефіцієнт $K=1,1$, відповідно $D = 88 \cdot 1,1 = 96,8$ мм, $L = 279 \cdot 1,1 = 306,9$ мм.

$$G_{\phi} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \cdot \rho, [\text{кг}] \quad (4.2)$$

$$G_{\phi} = \frac{3,14}{4} \cdot (96,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 306,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7820 = 17,653 \text{ (кг)},$$

$$G_{\Pi} = G_{\phi} \cdot K_p = 5,338 \cdot 1,4 = 7,473 \text{ (кг)},$$

де K_p – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі [10].

$$C = \frac{G_n}{G_{\phi}} = \frac{7,473}{17,653} = 0,423.$$

Враховуючи те, що значення коефіцієнта $0,63 > C > 0,32$, тому призначаємо ступінь складності C2 [10].

Оскільки деталь є простої конфігурації, без вигинів, то приймаємо поверхню роз'єму плоскою П.

Визначаємо вихідний індекс для маси поковки ($10 \text{ кг} > G_{\Pi} = 7,473 \text{ кг}$), марки сталі (сталь 40Х), ступеня складності та класу точності поковки. Отже для штамповка на ГKM – 14.

Проведемо розрахунок розмірів заготовки

Для розміру $\varnothing 88$:

$$88 + 2,0 \cdot 2 + 0,3 + 0,6 = 92,9 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 65$:

$$65 + 2,0 \cdot 2 + 0,3 + 0,6 = 69,9 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 60$:

$$60 + 2,0 \cdot 2 + 0,3 + 0,6 = 64,9 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 50$:

$$50 + 2,2 \cdot 2 + 0,3 + 0,6 = 55,3 \text{ (мм)};$$

Для розміру 172:

$$172 + 2,7 - 2,5 - 0,3 - 0,6 = 171,3(\text{мм});$$

Для розміру 112:

$$112 + 2,7 - 2,3 - 0,3 - 0,6 = 111,5(\text{мм});$$

Для розміру 95:

$$95 + 2,7 - 2,0 - 0,3 - 0,6 = 94,8(\text{мм});$$

Для розміру 72:

$$72 + 2,7 - 2,0 - 0,3 - 0,6 = 71,8(\text{мм});$$

Для розміру 40:

$$40 + 2,7 - 2,0 - 0,3 - 0,6 = 39,8(\text{мм}).$$

Технічні вимоги для штампування на ГKM:

1. Клас точності – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С2.
2. Невказані штампувальні нахили 2^0 , радіуси 3 мм.
3. Допустимі зміщення по площині роз'єму 0,8.
4. Невказані допуски радіусів заокруглень 1,0 мм.

Прокат.

Дану заготовку можна виготовити із круглого сортового прокату, так як контур деталі наближається за своєю конфігурацією до профілю прокату.

Габаритні розміри деталі: зовнішній діаметр Ø88 мм та довжина 279 мм.

Для дрібносерійного типу виробництва приймається відрізання прокату сортовими ножицями моделі Н1834.

Припуски на обробку поверхонь заготовки із прокату [2]:

1. Точити однократно Ø 88 припуск 1 мм;
2. Підрізати торці по розміру 279 припуск 1,5 мм.

$$88 + 1 \cdot 2 = 90 (\text{мм}),$$

$$279 + 1,5 \cdot 2 = 282 (\text{мм}).$$

Підбираємо круглий прокат, який би мав такі параметри: зовнішній діаметр – від 90 мм і більше; довжина заготовки від 282 мм і більше.

4.2.3 Розрахунок маси і коефіцієнтів точності маси для двох варіантів заготовки

Проведемо розрахунок маси і коефіцієнта використання матеріалу заготовки.

Для штампування на ГKM:

Матеріал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
----------	------------------------

Густина $\rho = 0.007850 \text{ г/мм}^3$

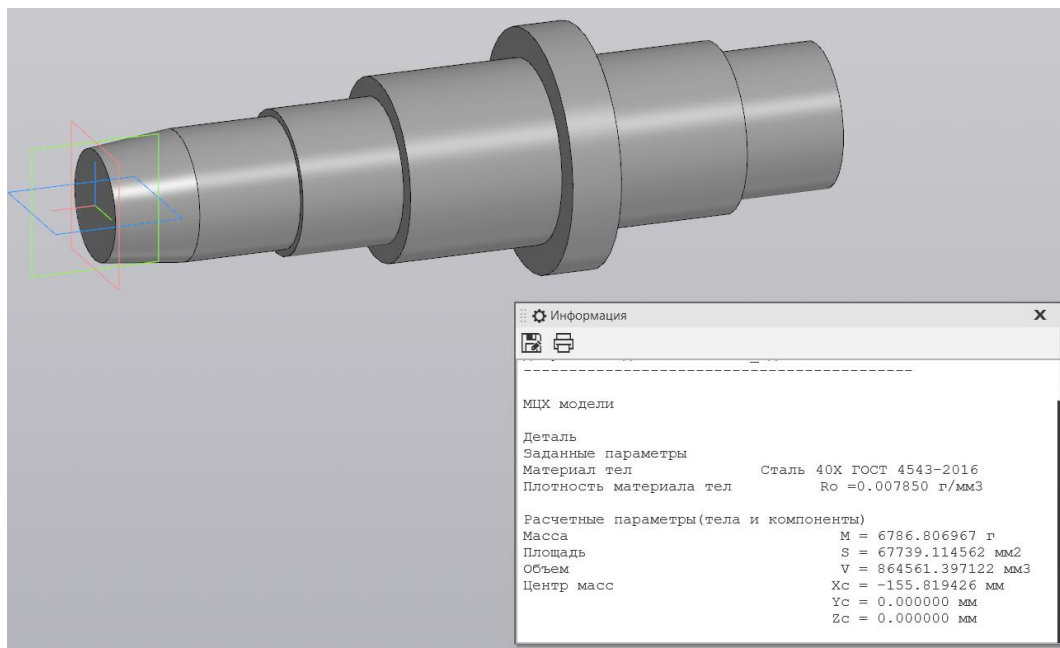
Maca $M = 6787 \text{ г}$ 

Рисунок 4.3 – 3D модель заготовки виготовленої на ГКМ

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки виготовленої на ГKM:

$$M = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} = 5,338 / 6,787 = 0,786.$$

Для заготовки виготовленої з прокату

Матеріал	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
----------	------------------------

Густина $\rho = 0.007850 \text{ г/мм}^3$

Maca $M = 14083 \text{ г}$

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т. стружки.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$, $K_M = 1$, $K_C = 1$, $K_B = 1,14$, $K_{\Pi} = 1,0$, для сталі $C_{\text{відх}} = 6200$ грн.

Для штампування на ГKM:

$$C_{\text{заг.шт}} = \left(\frac{6,787 \cdot 58000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1}{1000} \right) - \left(\frac{6,787 - 5,338}{1000} \right) \cdot 6200 = 439,77 \text{ (грн.)}$$

Для заготовки з прокату вартість заготовки визначається за формулою:

$$C_{\text{заг.пр}} = C_M + \sum C_{\text{оз}} \text{ [грн.]}, \quad (4.4)$$

де $C_M = 58000$ грн./т – вартість матеріалу заготовки;

$\Sigma C_{\text{з.о.}}$ - технологічна собівартість заготівельних операцій (відрізання).

$$C_{\text{зо}} = \frac{C_{\text{пз}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot 100} \text{ [грн.]}, \quad (4.5)$$

де $C_{\text{пз}} = 27,8$ грн/год - приведені витрати на заготівельні операції [7];

$T_{\text{шт-к}}$ - штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції.

Відрізання

$$T_0 = 0,37 \cdot D^2 \cdot 10^{-3} = 0,37 \cdot 90^2 \cdot 10^{-3} = 2,997 \text{ (хв.)},$$

$$\varphi_k = 1,72$$

$$T_{\text{шт-к}} = T_0 \cdot \varphi_k = 2,997 \cdot 1,72 = 5,155 \text{ (хв.)}.$$

Тоді

$$C_{\text{оз}} = \frac{27,8 \cdot 5,155}{60} = 2,39 \text{ (грн.)}.$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_M - \left(\frac{G_{\text{заг}} - G_{\text{дет}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх}} \text{ [грн.]},$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{14,083}{1000} \cdot 47000 - \left(\frac{14,083 - 5,338}{1000} \right) \cdot 6200 = 607,68 \text{ (грн.)},$$

$$C_{\text{заг.пр}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{оз}} = 607,68 + 2,39 = 610,07 \text{ (грн.)}.$$

Отже, при виготовленні заготовки з прокату собівартість заготовки вище ніж собівартість при виготовленні заготовки за допомогою штампування на ГKM.

Тому доцільнішим буде використовувати метод отримання заготовки – штампування на ГKM.

4.3 Розробка маршруту механічної обробки

4.3.1 Вибір (з обґрунтуванням) способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності, визначення кількості ступенів механічної обробки

Для поверхні $\varnothing 50js6(\pm 0,008)$ визначимо кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні. Розраховуємо загальне уточнення: допуск заготовки складає 1600 мкм, допуск деталі – 16 мкм. Отже:

$$\varepsilon = 1,6 / 0,016 = 100.$$

Приймаємо 4 переходи механічної обробки. Призначаємо: $\varepsilon_1 = 6$, $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 2,5$. Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на четвертому переході

$$\varepsilon_4 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3} = \frac{100}{6 \cdot 4 \cdot 2,5} = 1,67.$$

Допуск технологічного розміру після кожного переходу складатиме:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_3 / \varepsilon_1 = 1,6 / 6 = 0,267 \text{ (мм)}; \\ T_2 &= T_1 / \varepsilon_2 = 0,267 / 4 = 0,067 \text{ (мм)}; \\ T_3 &= T_2 / \varepsilon_3 = 0,067 / 2,5 = 0,027 \text{ (мм)}; \\ T_4 &= T_3 / \varepsilon_4 = 0,027 / 1,67 = 0,016 \text{ (мм)}. \end{aligned}$$

Допуск після першого переходу відповідає 12 квалітету точності, після другого – 9 квалітету, після третього – 7 квалітету, після четвертого – 6 квалітету.

Оскільки обробляється зовнішня циліндрична поверхня, то доцільно прийняти способи механічної обробки: попереднє точіння, попереднє точіння, остаточне точіння та шліфування (табл. 4.5).

4.3.2 Вибір (з обґрунтуванням) чистових і чорнових технологічних баз

Чистовими технологічними базами на операції 010 є торці і центрові отвори (рис. 4.4). Згідно принципів технології обробки в першу чергу ми зобов'язані обробити ці базові поверхні на першій операції механічної обробки.

Таблиця 4.5 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Поверхневий розмір	Загальне уточнення, $\varepsilon = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}$	Кількість ступенів механічної обробки	Квалітет	Вид механічної обробки
Ø45k6	100	$\varepsilon = 6 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,67$	12 9 7 6	Точіння попереднє Точіння попереднє Точіння остаточне Шліфування
Ø50js6	100	$\varepsilon = 6 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,67$	12 9 7 6	Точіння попереднє Точіння попереднє Точіння остаточне Шліфування
Ø60js6	100	$\varepsilon = 6 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,67$	12 9 7 6	Точіння попереднє Точіння попереднє Точіння попереднє Шліфування

Проаналізуємо наявність похибок базування на оброблювані розміри на 010 операції:

$\varepsilon_{6172}=0$, $\varepsilon_{6112}=0$, $\varepsilon_{695}=0$, $\varepsilon_{672}=0$, $\varepsilon_{640}=0$ – виконується принцип суміщення баз;

$\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{62 \times 45}=0$ – обробка поверхонь за один установ;

$\varepsilon_{6\varnothing 88}=0$, $\varepsilon_{6\varnothing 65d8}=0$, $\varepsilon_{6\varnothing 60js6}=0$, $\varepsilon_{6\varnothing 50js6}=0$, $\varepsilon_{6\varnothing 45k6}=0$ – діаметральний розмір;

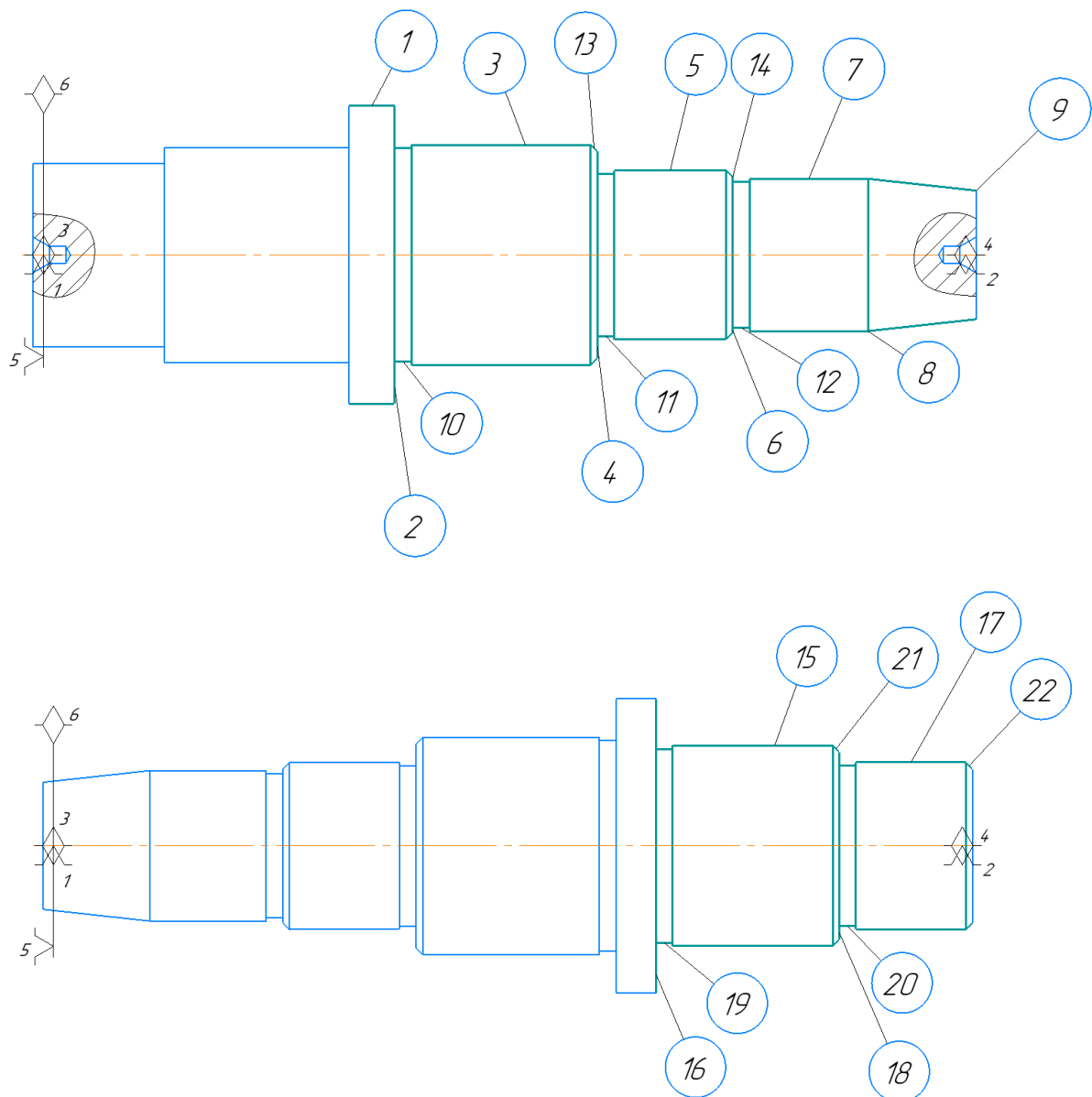


Рисунок 4.5 – Чистові технологічні бази (операція 010)

На 020 операції $\epsilon_{6\varnothing 50js6}=0$, $\epsilon_{6\varnothing 50js6}=0$, $\epsilon_{6\varnothing 45k6}=0$ – діаметральний розмір.

4.3.3 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та зображенням схем базування

Маршрут механічної обробки деталі «Вал» представлений в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Маршрут механічної обробки деталі «Вал»

№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми базування	Тип обладнання
005	<u>Фрезерно-центрувальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Фрезерувати торець 1 та 3 в розмір згідно ескізу 3. Центрувати отв. 2 та 4. 4. Зняти заготовку		Фрезерно-центрувальний верстат МР-71
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити - Установ 1 2. Точити пов. 3, 5, 7 та пов. 1, 2, 4, 6, 8, 9 однократно. 3. Точити пов. 5 та 7 попередньо. 4. Точити канавку 10, 11 та 12 однократно. 5. Точити фаски 13 та 14 однократно. 6. Точити пов. 3, 5 та 7 остаточно. - Установ 2 7. Точити пов. 15, 17 та пов. 16, 18 однократно. 8. Точити пов. 15 та 17 попередньо. 9. Точити фаски 21 та 22 однократно. 10. Точити канавки 19 та 20 однократно. 11. Точити пов. 15 та 17 остаточно. 12. Зняти заготовку.		Токарний верстат з ЧПК 16K211
015	<u>Фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити 2. Фрезерувати паз 1 попередньо. 3. Фрезерувати паз 1 остаточно. 4. Зняти заготовку		Фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3
020	<u>Фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити 2. Фрезерувати паз 1 попередньо. 3. Фрезерувати паз 1 остаточно. 4. Зняти заготовку		Фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3
025	<u>Кругло-шліфувальна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Шліфувати пов. 1, 2 та 3 однократно 3. Зняти заготовку		Кругло-шліфувальний ЗК15ВФ20

4.3.4 Розмірний аналіз технологічного процесу

4.3.4.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Технологічні розміри доцільно розміщувати таким чином, щоб вони співпадали з конструкторськими. Це можливо тоді, коли технологічні бази співпадають з вимірювальними або поверхні, між якими заданий конструкторський розмір оброблюється на одній операції.

4.3.4.2 Попереднє визначення допусків технологічних розмірів

Допуски на технологічні розміри призначаються згідно довідника [13], для відповідного розміру за відповідним квалітетом, всі поверхні деталі, що розглядаються, мають 14 квалітет, а заготовка виконується по 15 квалітету.

Відповідно:

$$T(3_1) = 2,1 \text{ (мм)}; T(3_2) = 1,6 \text{ (мм)}; T(3_3) = 1,4 \text{ (мм)}; T(3_4) = 1,2 \text{ (мм)};$$

$$T(3_5) = 1,4 \text{ (мм)}; T(3_6) = 1,0 \text{ (мм)};$$

$$T(B_1) = 1,6 \text{ (мм)}; T(B_2) = 1,3 \text{ (мм)}; T(B_3) = 0,74 \text{ (мм)}; T(B_4) = 0,87 \text{ (мм)};$$

$$T(B_5) = 1,0 \text{ (мм)}; T(B_6) = 0,62 \text{ (мм)}; T(B_7) = 0,87 \text{ (мм)}.$$

При цьому, враховуючи допуски конструкторських розмірів, матимемо наступні мінімальні та максимальні їх значення:

$$K_{1\max} = 279 \text{ мм}, K_{1\min} = 277,7 \text{ (мм)};$$

$$K_{2\max} = 72,37 \text{ мм}, K_{2\min} = 71,63 \text{ (мм)};$$

$$K_{3\max} = 112,435 \text{ мм}, K_{3\min} = 111,565 \text{ (мм)};$$

$$K_{4\max} = 172,5 \text{ мм}, K_{4\min} = 171,5 \text{ (мм)};$$

$$K_{5\max} = 40,31 \text{ мм}, K_{5\min} = 39,69 \text{ (мм)};$$

$$K_{5\max} = 95,435 \text{ мм}, K_{5\min} = 94,565 \text{ (мм)}.$$

4.3.4.3 Розмірна схема технологічного процесу

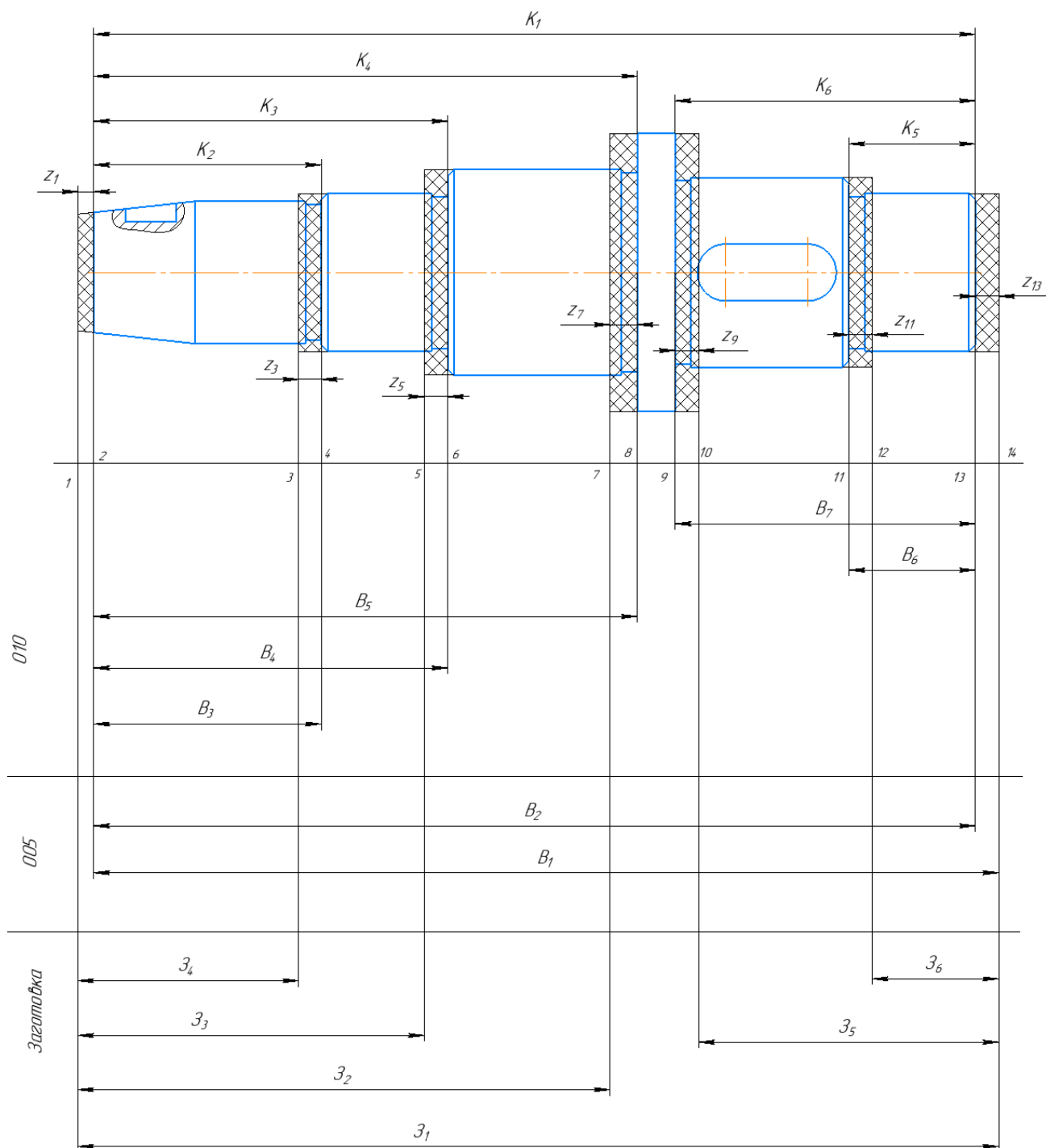


Рисунок 4.6 – Розмірна схема

4.3.4.1 Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф

Граф, складений із конструкторських розмірів $K_1K_2...$ і припусків називається вихідним графом (деревом).

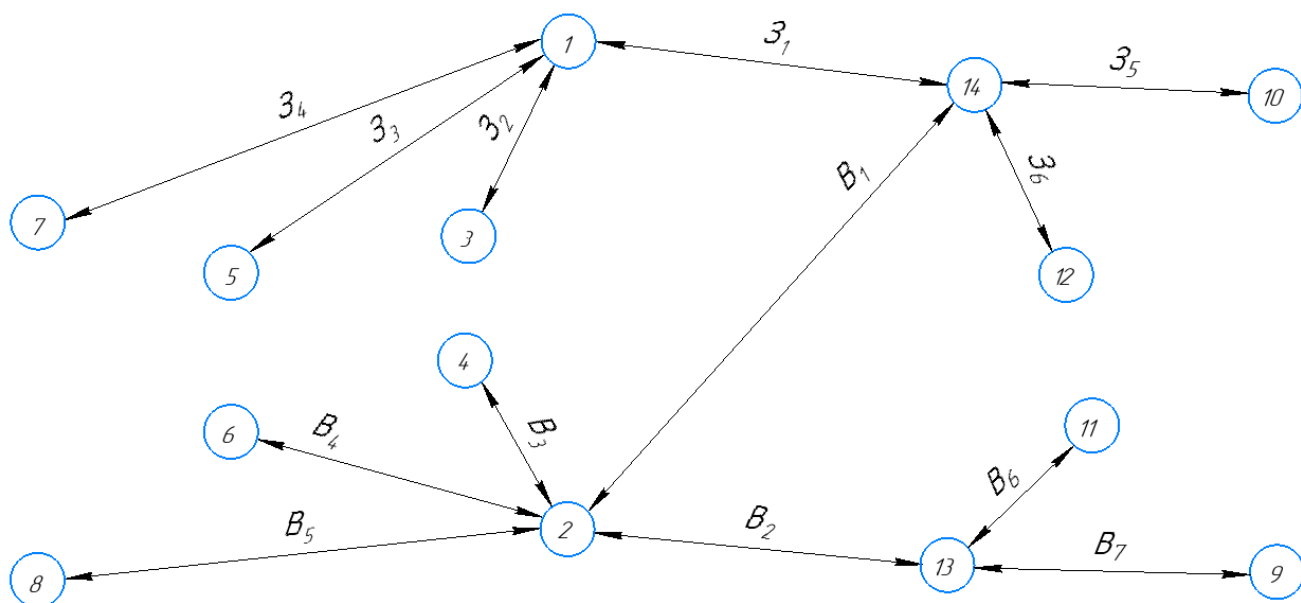


Рисунок 4.7 – Похідне граф-дерево

Граф, складений із технологічних розмірів $B_1 B_2 \dots$ і розмірів заготовки $Z_1 Z_2 \dots$ називається похідним графом.

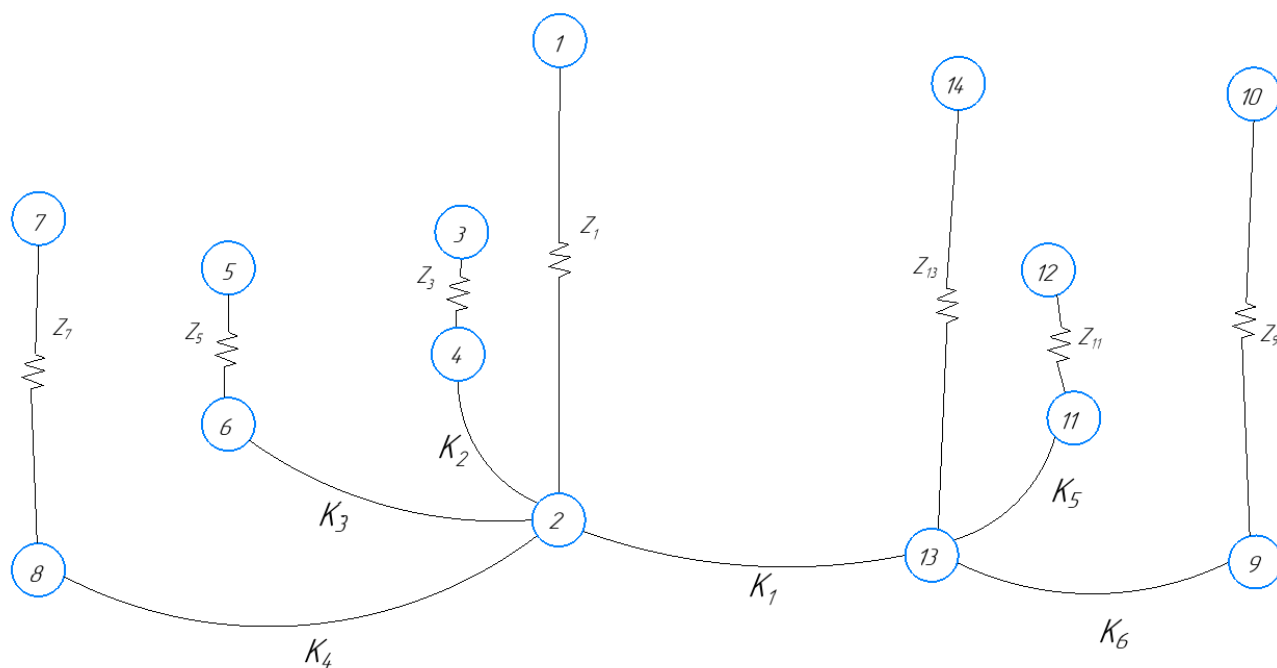


Рисунок 4.8 – Вихідне граф-дерево

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП механічної обробки.

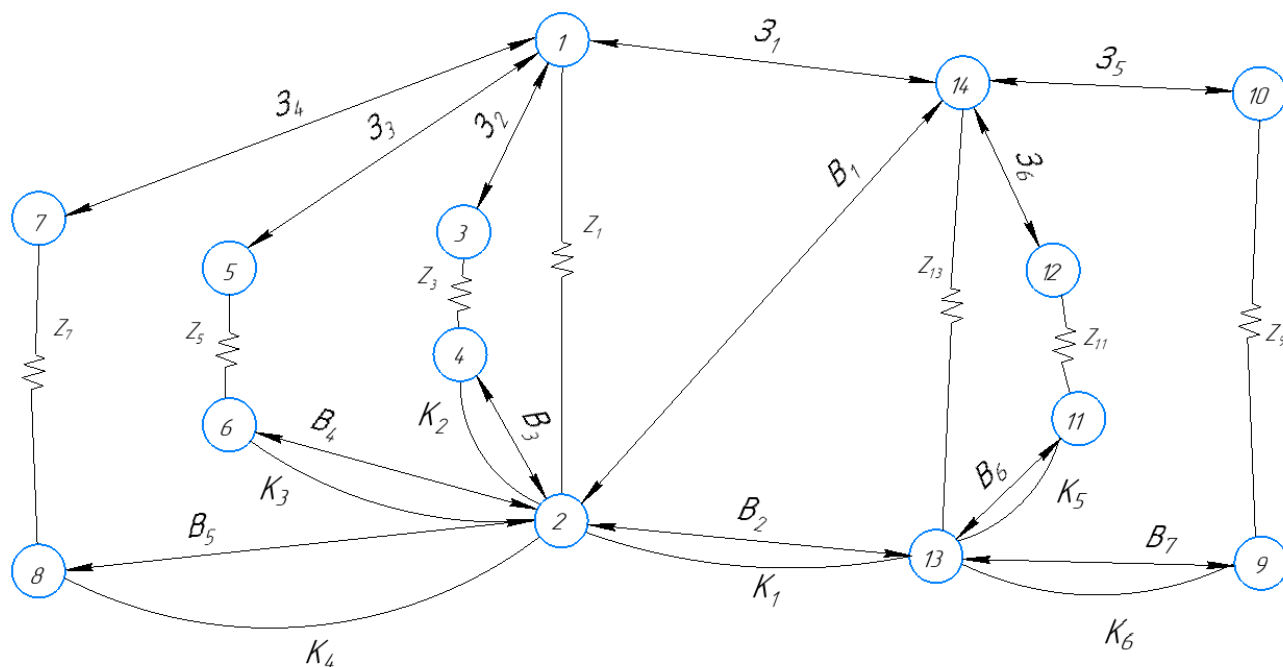


Рисунок 4.9 – Суміщене граф-дерево

4.3.4.5 Визначення проміжних мінімальних припусків на механічну обробку плоских поверхонь

Проміжні мінімальні припуски визначаємо нормативним способом згідно таблиць.

$$\begin{aligned} z_1 &= 1,2 \text{ (мм);} & z_3 &= 0,8 \text{ (мм);} & z_5 &= 1,0 \text{ (мм);} \\ z_7 &= 1,0 \text{ (мм);} & z_9 &= 1,0 \text{ (мм);} & z_{11} &= 0,8 \text{ (мм);} \\ z_{13} &= 1,2 \text{ (мм).} \end{aligned}$$

4.3.4.6 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція (за необхідністю) допусків технологічних розмірів і (або) маршруту механічної обробки

Відповідно до технологічних рівнянь (див. табл. 2.7) визначимо для кожного розміру цього межі:

$$\begin{aligned} B_2 &= K_1 = 279_{-1,3}, & B_3 &= K_2 = 72 \pm 0,37, & B_4 &= K_3 = 112 \pm 0,435, \\ B_5 &= K_4 = 172 \pm 0,5, & B_6 &= K_5 = 40 \pm 0,31, & B_7 &= K_6 = 95 \pm 0,435 \end{aligned}$$

Таблиця 4.7 – Рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K1 + B2 = 0$	$K1 = B2$	B2
2	$-K2 + B3 = 0$	$K2 = B3$	B3
3	$-K3 + B4 = 0$	$K3 = B4$	B4
4	$-K4 + B5 = 0$	$K4 = B5$	B5
5	$-K5 + B6 = 0$	$K5 = B6$	B6
6	$-K6 + B7 = 0$	$K6 = B7$	B7
7	$-Z13 + B1 - B2 = 0$	$Z13 = B1 - B2$	B1
8	$-Z1 + 31 - B1 = 0$	$Z1 = 31 - B1$	31
9	$31 - 32 - Z7 + B5 - B1 = 0$	$Z7 = 31 - 32 + B5 - B1$	32
10	$31 - 33 - Z5 + B4 - B1 = 0$	$Z5 = 31 - 33 + B4 - B1$	33
11	$31 - 34 - Z3 + B3 - B1 = 0$	$Z3 = 31 - 34 + B3 - B1$	34
12	$B1 - 35 - Z9 + B7 - B2 = 0$	$Z9 = B1 - 35 + B7 - B2$	35
13	$B1 - 36 - Z11 + B6 - B2 = 0$	$Z11 = B1 - 36 + B6 - B2$	36

$$Z_{13min} = B_{1min} - B_{2max}$$

$$B_{1min} = B_{2max} + Z_{13min} = 279 + 1,2 = 280,2 \text{ (мм)};$$

$$B_{1max} = B_{1min} + IT(B_1) = 280,2 + 1,6 = 281,8 \text{ (мм)};$$

$$B_1 = 281,8_{-1,6} \text{ (мм)};$$

$$Z_{13max} = B_{1max} - B_{2min}$$

$$Z_{13max} = 281,8 - 277,7 = 4,11 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{1min} = 3_{1min} - B_{1max}$$

$$3_{1min} = B_{1max} + Z_{1min} = 281,8 + 1,2 = 283 \text{ (мм)};$$

$$3_{1max} = 3_{1min} + IT(3_1) = 283 + 2,1 = 285,1 \text{ (мм)};$$

$$3_1 = 285,1_{-2,1} \text{ (мм)};$$

$$Z_{1max} = 3_{1max} - B_{1min}$$

$$Z_{1max} = 285,1 - 280,2 = 4,9 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{7min} = 3_{1min} - 3_{2max} + B_{5min} - B_{1max}$$

$$3_{2\max} = 3_{1\min} + B_{5\min} - B_{1\max} - Z_{7\min} = 283 + 171,5 - 281,8 - 1,0 = 171,7 \text{ (MM)};$$

$$3_{2\min} = 3_{2\max} - IT(3_2) = 171,7 - 1,6 = 170,1 \text{ (MM)}.$$

$$3_2 = 170,9 \pm 0,8 \text{ (MM)};$$

$$Z_{7\max} = 3_{1\max} - 3_{2\min} + B_{5\max} - B_{1\min}$$

$$Z_{7\max} = 285,1 - 170,1 + 172,5 - 280,2 = 7,3 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{5\min} = 3_{1\min} - 3_{3\max} + B_{4\min} - B_{1\max}$$

$$3_{3\max} = 3_{1\min} + B_{4\min} - B_{1\max} - Z_{5\min} = 283 + 111,565 - 281,8 - 1,0 = 111,765 \text{ (MM)};$$

$$3_{3\min} = 3_{3\max} - IT(3_3) = 111,765 - 1,4 = 110,365 \text{ (MM)}.$$

$$3_3 = 111,065 \pm 0,7 \text{ (MM)};$$

$$Z_{5\max} = 3_{1\max} - 3_{3\min} + B_{4\max} - B_{1\min}$$

$$Z_{5\max} = 285,1 - 110,365 + 112,435 - 280,2 = 6,97 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{3\min} = 3_{1\min} - 3_{4\max} + B_{3\min} - B_{1\max}$$

$$3_{4\max} = 3_{1\min} + B_{3\min} - B_{1\max} - Z_{3\min} = 283 + 71,63 - 281,8 - 0,8 = 72,03 \text{ (MM)};$$

$$3_{4\min} = 3_{4\max} - IT(3_4) = 72,03 - 1,2 = 70,83 \text{ (MM)}.$$

$$3_4 = 71,43 \pm 0,6 \text{ (MM)};$$

$$Z_{3\max} = 3_{1\max} - 3_{4\min} + B_{3\max} - B_{1\min}$$

$$Z_{3\max} = 285,1 - 70,83 + 72,37 - 280,2 = 6,44 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{9\min} = B_{1\min} - 3_{5\max} + B_{7\min} - B_{2\max}$$

$$3_{5\max} = B_{1\min} + B_{7\min} - B_{2\max} - Z_{9\min} = 280,2 + 94,565 - 279 - 1,0 = 94,765 \text{ (MM)};$$

$$3_{5\min} = 3_{5\max} - IT(3_5) = 94,765 - 1,4 = 93,365 \text{ (MM)}.$$

$$3_5 = 93,965 \pm 0,7 \text{ (MM)};$$

$$Z_{9\max} = B_{1\max} - 3_{5\min} + B_{7\max} - B_{2\min}$$

$$Z_{9\max} = 281,8 - 93,365 + 95,435 - 277,7 = 6,17 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{11\min} = B_{1\min} - Z_{6\max} + B_{6\min} - B_{2\max}$$

$$Z_{6\max} = B_{1\min} + B_{6\min} - B_{2\max} - Z_{11\min} = 280,2 + 39,69 - 279 - 0,8 = 40,09 \text{ (мм)};$$

$$Z_{6\min} = Z_{6\max} - IT(Z_6) = 40,09 - 1,0 = 39,09 \text{ (мм)}.$$

$$Z_6 = 39,59 \pm 0,5 \text{ (мм)};$$

$$Z_{11\max} = B_{1\max} - Z_{6\min} + B_{6\max} - B_{2\min}$$

$$Z_{11\max} = 281,8 - 39,09 + 40,31 - 277,7 = 5,32 \text{ (мм)}.$$

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

4.3.5 Розрахунок припусків

4.3.5.1 Визначення розрахунково-аналітичним методом припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

Проведемо розрахунок технологічних розмірів які утворюються при обробці поверхні $\varnothing 50js6(\pm 0,008)$.

Приймаємо значення R_z і T згідно рекомендацій [17]:

- для заготовки R_z 150 та $T = 220$ мкм;
- попереднє точіння $R_z = T = 100$ мкм;
- попереднє точіння $R_z = T = 50$ мкм;
- остаточне точіння $R_z = T = 30$ мкм;
- шліфування $R_z = 5$ мкм та $T = 10$ мкм.

Розраховуємо мінімальні значення міжопераційних припусків:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \text{ [мкм]}. \quad (4.6)$$

Похибка установки при чорновому точінні:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2} \text{ [мкм]}. \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_1 = 120 \text{ (мкм)}.$$

Визначаємо похибку установки при повторному попередньому точінні:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot 0,05 = 120 \cdot 0,05 = 6 \text{ (мкм)}.$$

Мінімальний припуск під точіння:

Під попереднє точіння:

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot (150 + 220 + 120) = 2 \cdot 490 \text{ (мкм)};$$

Під напівчистове точіння:

$$2Z_{\min 2} = 2(100 + 100 + 6) = 2 \cdot 206 \text{ (мкм)};$$

Під чистове точіння:

$$2Z_{\min 3} = 2(50 + 50) = 2 \cdot 100 \text{ (мкм)};$$

Під шліфування:

$$2Z_{\min 4} = 2(30 + 30) = 2 \cdot 60 \text{ (мкм)}.$$

Після шліфування отримаємо розмір, що вказаний на кресленні:

$$d = 49,992 \text{ (мм)}.$$

Розраховуємо інші розміри по технологічним переходам:

для остаточного точіння:

$$d_3 = 49,992 + 2 \cdot 0,06 = 50,112 \text{ (мм)};$$

для попереднього точіння:

$$d_2 = 50,112 + 2 \cdot 0,1 = 50,312 \text{ (мм)};$$

для попереднього точіння:

$$d_1 = 50,312 + 2 \cdot 0,206 = 50,724 \text{ (мм)};$$

для заготовки:

$$d_{\text{заг}} = 50,724 + 2 \cdot 0,49 = 51,704 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо значення допусків кожного технологічного переходу:

- тонкого точіння (6 квалітет), допуск складає 16 мкм,
- остаточне точіння (7 квалітет), допуск складає 25 мкм,
- попереднє точіння (9 квалітет) допуск складає 62 мкм,

- попереднє точіння (12 квалітет) допуск складає – 250 мкм,
- заготовка (16 квалітет), допуск складає 1600 мкм.

Максимальні граничні розміри:

$$d_{\max 4} = 49,992 + 0,016 = 50,008 \text{ (мм);}$$

$$d_{\max 3} = 50,112 + 0,025 = 50,137 \text{ (мм);}$$

$$d_{\max 2} = 50,312 + 0,062 = 50,374 \text{ (мм);}$$

$$d_{\max 1} = 50,72 + 0,25 = 50,97 \text{ (мм);}$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 51,7 + 1,9 = 53,6 \text{ (мм).}$$

Таблиця 4.8 – Розрахункові значення припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору $\varnothing 50js6(\pm 0,008)$.

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 50js6$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір, мм d_p	Допуск мкм δ	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків	
	R_z	T	ρ	ε				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	150	220	-	120		51,704	1,6	51,7	53,6		
Точіння попереднє	100	100	-	6	$2 \cdot 490$	50,724	0,25	50,72	50,97	1,03	2,63
Точіння попереднє	50	50	-	-	$2 \cdot 206$	50,312	0,062	50,312	50,374	0,408	0,596
Точіння остаточне	30	30	-	-	$2 \cdot 100$	50,112	0,025	50,112	50,137	0,2	0,237
Шліфування	5	10	-	-	$2 \cdot 60$	49,992	0,016	49,992	50,008	0,12	0,129
Ітого										1,758	3,592

Граничні значення припусків $Z_{\max}^{zp}$ та $Z_{\min}^{zp}$:

для шліфування:

$$2Z_{\min 4} = 50,112 - 49,992 = 0,12 \text{ мм} = 120 \text{ (мкм);}$$

$$2Z_{\max 4} = 50,137 - 50,008 = 0,129 \text{ мм} = 129 \text{ (мкм);}$$

для остаточного точіння:

$$2Z_{\min 3} = 50,312 - 50,112 = 0,2 \text{ мм} = 200 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 3} = 50,374 - 50,137 = 0,237 \text{ мм} = 237 \text{ (мкм)};$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 2} = 50,72 - 50,312 = 0,408 \text{ мм} = 408 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 2} = 50,97 - 50,374 = 0,596 \text{ мм} = 596 \text{ (мкм)};$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 1} = 51,7 - 50,72 = 1,03 \text{ мм} = 1030 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1} = 53,6 - 50,97 = 2,63 \text{ мм} = 2630 \text{ (мкм)}.$$

Виконуємо перевірку правильності виконуваних розрахунків:

$$Z_{\max 2}^{zp} - Z_{\min 2}^{zp} = 0,596 - 0,408 = 0,188 \text{ (мм)}; \delta_1 - \delta_2 = 0,25 - 0,062 = 0,188 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 3}^{zp} - Z_{\min 3}^{zp} = 0,237 - 0,2 = 0,037 \text{ (мм)}; \delta_2 - \delta_3 = 0,062 - 0,025 = 0,037 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 4}^{zp} - Z_{\min 4}^{zp} = 0,129 - 0,112 = 0,009 \text{ (мм)}; \delta_3 - \delta_4 = 0,025 - 0,016 = 0,009 \text{ (мм)}.$$

4.5.2 Визначення за нормативами проміжних мінімальних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку решти циліндричної поверхонь

Використовуючи довідникові дані [5], визначаємо мінімальні припуски на механічну обробку решти циліндричних поверхонь та розраховуємо відповідні граничні розміри і максимальні припуски, результат та хід розрахунку зображаємо у вигляді таблиць.

4.9 - Розрахункові значення припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром $\varnothing 60js6(\pm 0,0095)$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 60js6(\pm 0,0095)$	Розрахунок ковий припуск $2Z_{\min}$	Розрах. розмір, мм d_p	Допуск, мм δ	Граничний розмір		Граничні значення	
				dmin	dmax	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготовка		61,9905	1,9	62	63,9		
Точіння попереднє	$2 \cdot 600$	60,7905	0,3	60,79	61,09	1,17	2,81
Точіння попереднє	$2 \cdot 250$	60,2905	0,072	60,29	60,362	0,499	0,728
Точіння остаточне	$2 \cdot 100$	60,0905	0,03	60,091	60,121	0,22	0,241
Шліфування	$2 \cdot 50$	59,9905	0,019	59,9905	60,0095	0,1	0,112
Сума						1,988	3,891

4.3.6 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз та кріпильних отворів

Приведемо приклад розрахунку режимів різання

1) Операція 010. Токарна з ЧПК; Модель верстата – 16K20Ф3

Ескіз механічної обробки див. табл. 2.6. Вибираємо перехід №3 Точити поверхні 5 та 7 попередньо.

Обираємо ріжучий інструмент для даного переходу. Приймаємо різець прохідний Т15К6; переріз державки 16×25 мм. $\gamma=120$; $\lambda=6$; $\varphi=45^\circ$; $r=1$ (мм).

Визначаємо глибину різання:

$$t=(D-d)/2=(50,97 - 50,374)/2=0,298 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо подачу: для різців Т15К6 з заданими параметрами рекомендується подача $S=0,25-0,4$ мм/об. [8]. Керуючись по паспорту верстата приймаємо: $S=0,3$ мм/об.

Призначаємо період стійкості різців. Для багато інструментальної наладки приймаємо $T=90$ хв. Допустиме зношення $h_3=0,9-1,5$ мм;

Швидкість різання, допустима ріжучими властивостями різця $V_{\text{табл}}=120^{M/\text{хв}}$. [8]. Матеріал без корки $K_{\text{пв}}=1$; матеріал різців Т15К6, $K_{\text{ув}}=1$;

$$V_{\text{різ}}=V_{\text{таб}} \cdot K_{\text{пв}} \cdot K_{\text{ув}}= 120 \cdot 1 \cdot 0,85 = 102 (^{M/\text{хв}}).$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя:

$$n=1000 \cdot V / \Pi \cdot D = 1000 \cdot 102 / 3,14 \cdot 50,374 = 645,16 (^{\circ\text{б}}/\text{хв}).$$

Враховуючи те, що верстат 16K20Ф3 має безступінчасте керування частотою обертання шпинделя, тому приймаємо $n = 644$ об/хв.

Розраховуємо ефективну потужність верстата на шпинделі:

$$N_{\text{в}}=N_{\text{дв}} \cdot \eta=8 \cdot 0,85=6,4 \text{ кВт}; N_{\text{різ}} < N_{\text{в}}.$$

Умови по обробці різанням (потужності) виконуються.

Таблиця 4.10 – Режими різання

	Операції та переходи	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6
Операція 005					
2	Фрезерувати торець 1 та 3 однократно	0,8	0,35	400	113,04
3	Центрувати отвір 2 та 4.	1,5	0,09	320	18,08
Операція 010					
2	Точити пов. 3, 5, 7 попередньо та 1,2,4,6,8,9 однократно	0,5	0,3	480	75,36
3	Точити пов. 5 та 7 попередньо	0,298	0,25	644	101,11
4	Точити канавки 10,11 та 12 однократно	4	0,2	630	126,61
5	Точити фаски 13 та 14 однократно	0,5	0,2	630	128,58
6	Точити пов. 3, 5 та 7 остаточно	0,1	0,12	1050	214,31
7	Точити пов. 15, 17 попер. та 16, 18 остат.	0,2	0,3	480	90,43
8	Точити пов. 15 та 17 попередньо	0,3	0,2	630	118,69
9	Точити фаски 21 та 22 однократно	4	0,2	630	118,69
10	Точити канавки 19 та 20 однократно	0,5	0,2	630	116,71
11	Точити пов. 15 та 17 остаточно	0,1	0,12	1050	197,82
Операція 015					
2	Фрезерувати паз 1 попередньо	1,5	1,5	380	14,32
3	Фрезерувати паз 1 остаточно	1,5	1,5	410	15,45
Операція 020					
2	Фрезерувати паз 1 попередньо	1,5	1,5	380	21,48
3	Фрезерувати паз 1 остаточно	1,5	1,5	410	23,17
Операція 030					
2	Шліфувати пов. 1, 2, 3 та 4 однократно	0,02	0,1	1200	244,92

4.3.7 Визначення технічних норм часу для всіх операцій

Для наближених розрахунків можна користуватися укрупненими нормативами. Згідно з якими основний технологічний час наприклад для підрізання торця визначається за формулою:

$$t_o = T_o = 0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3}, [\text{хв}] \quad (4.8)$$

Так, наприклад, при виконанні першого переходу маршруту механічної обробки на операції 010, де обробляється торець циліндричної поверхні деталі Ø88:

$$T_{\text{осн. 1}} = 0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037 (88^2 - 65^2) \cdot 10^{-3} = 0,13 (\text{хв}).$$

Аналогічно нормуються всі переходи, дані занесено до таблиці 2.11

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_o \cdot \varphi_k, [\text{хв}] \quad (4.9)$$

де φ_k – коефіцієнт, що визначається типом обладнання. Відповідно штучно-калькуляційний час для підрізання торцю деталі Ø88 маршруту механічної обробки складатиме:

$$t_{\text{шт}} = 0,13 \cdot 1,98 = 0,258 (\text{хв}).$$

Аналогічно визначається штучно – калькуляційний час для усіх інших операцій, дані заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 4.11 – Норми основного часу

Операції та переходи	Формула	Розрахункові параметри			T _o , хв.
		D	d	l	
1	2	3	4	5	6
005 – Фрезерно-центрувальна					
Фрезерувати торець 1 та 2 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	90	0		0,3
Центрувати 2 отв. 2	0,52 dl	0	10	15	0,156
Всього					0,456
010 – Токарна з ЧПК					
Точити пов. 1 однократно	0,17 dl		88	12	0,179
Точити пов. 2 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	88	65		0,13
Точити пов. 3 попередньо	0,17 dl		65	60	0,663
Точити пов. 4 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	65	50		0,064
Точити пов. 5 попередньо	0,17 dl		50	40	0,34
Точити пов. 6 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	50	45		0,018
Точити пов. 7 попередньо	0,17 dl		45	40	0,306
Точити пов. 9 однократно	0,17 dl		38	32	0,207
Точити пов. 5 попередньо	0,18 dl		50	40	0,36
Точити пов. 7 попередньо	0,18 dl		45	40	0,324
Точити канавку 10 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	65	64		0,005
Точити канавку 11 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	50	49		0,004
Точити канавку 12 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	45	44		0,003
Точити фаску 13 однократно	0,18 dl		65	2	0,023
Точити фаску 14 однократно	0,18 dl		50	2	0,018
Точити пов. 3 остаточно	0,2 dl		65	60	0,78
Точити пов. 5 остаточно	0,2 dl		50	40	0,4
Точити пов. 7 остаточно	0,2 dl		45	40	0,36
Точити пов. 15 попередньо	0,17 dl		60	55	0,561
Точити пов. 16 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	88	60		0,153

Продовження табл. 4.11

1	2	3	4	5	6
Точити пов. 17 попередньо	0,17 dl		50	40	0,34
Точити пов. 18 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	60	50		0,41
Точити пов. 15 попередньо	0,18 dl		60	55	0,594
Точити пов. 17 попередньо	0,18 dl		50	40	0,36
Точити фаску 21 однократно	0,18 dl		60	2	0,022
Точити фаску 22 однократно	0,18 dl		50	2	0,018
Точити канавку 19 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	60	59		0,004
Точити канавку 20 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	50	49		0,004
Точити пов. 15 остаточно	0,2 dl		60	55	0,66
Точити пов. 16 остаточно	0,2 dl		50	40	0,4
Всього					7,71
015 – Фрезерна з ЧПК					
Фрезерувати паз 1 попередньо	6 l			16	0,096
Фрезерувати паз 1 остаточно	4 l			16	0,064
Всього					0,16
020 – Фрезерна з ЧПК					
Фрезерувати паз 1 попередньо	6 l			44	0,264
Фрезерувати паз 1 остаточно	4 l			44	0,176
Всього					0,44
025 – Кругло-шліфувальна з ЧПК					
Шліфувати пов. 1 однократно	0,15 dl		45	40	0,27
Шліфувати пов. 2 однократно	0,15 dl		50	40	0,3
Шліфувати пов. 3 однократно	0,15 dl		60	55	0,495
Шліфувати пов. 4 однократно	0,15 dl		50	40	0,3
Всього					1,365

Таблиця 4.12 – Норми штучно-калькуляційного часу

№ операцій	Основний час t_o , хв.	Коефіцієнт φ_k	Штучно- калькуляційний час $t_{шт}$, хв.
005	0,456	1,84	0,839
010	7,71	1,98	15,266
015	0,16	1,84	0,294
020	0,44	1,84	0,81
030	1,365	2,1	2,867
Всього			$\Sigma t_{шт} = 20,076$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У даному розділі з використанням нормативної літератури проводиться аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників у виробничому приміщенні; заповнюється карта умов праці; а також розглядаються норми пожежної безпеки.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у виробничому приміщенні

Під час роботи в даному приміщенні, виникає низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що класифікуються за [1].

5.1.1 Класифікація потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Вказане приміщення характеризується небезпечними та шкідливими виробничими факторами фізичної, хімічної, біологічної та психофізіологічної груп [1, 2], які розподіляються так:

1) Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: підвищений рівень інфразвуку, шуму, ультразвуку та вібрації; високий рівень електромагнітних випромінювань; понижена або підвищена температура, вологість і швидкість руху повітря робочої зони; підвищена інтенсивність теплового випромінювання; недостатність або відсутність природного освітлення; недостатня освітленість робочої зони.

2) Хімічні небезпечні і шкідливі фактори – шкідливі хімічні речовини.

3) Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори – відсутні.

4) Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні перевантаження – відсутні.

б) нервово-психічні перевантаження: перенапруження аналізаторів; монотонність праці.

Вкажемо імовірні підстави виникнення вказаних чинників і стисло опишемо їхній вплив на організм працівника.

5.1.2 Можливі причини виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Підвищений рівень шуму і вібрації робочої зони спричиняється роботою таких елементів комп'ютерів, як жорсткий диск, вентилятори блоку живлення, охолодження мікропроцесора, швидкісні пристрої для зчитування та запису інформації з оптичних носіїв, механічні сканери, пересувні механічні частини принтера.

Підвищений рівень інфразвуку спричиняється інфразвуковими складовими, що як правило, присутні у спектрі шуму, який генерується промисловими установками і транспортними засобами.

Підвищений рівень ультразвуку може бути спричинений як супутній фактор при експлуатації технологічного і вентиляційного устаткування.

Високий рівень електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону спричиняється лабораторними та вимірювальними приладами різного призначення, персональними комп'ютерами та інше.

Високий рівень електромагнітних випромінювань промислової частоти спричиняється струмоведучими частинами працюючих електроустановок.

Понижена або підвищена температура повітря робочої зони спричиняється тим, що робота ПК приводить до підвищення температури в приміщенні, тому що високопродуктивна техніка працює на надвисоких частотах, що викликає сильне нагрівання елементів.

Понижена або підвищена відносна вологість повітря робочої зони спричиняється тим, що при роботі ПК утворене тепле повітря видують назовні із системного блоку спеціальні вентилятори, що приводить до зниження вологості повітря.

Понижена або підвищена швидкість руху повітря робочої зони спричиняється нераціональними параметрами системи вентиляції або її відсутністю.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання спричиняється теплом, яке надходить до приміщення від системи опалювання, в результаті сонячної радіації та від інших джерел.

Недостатність або відсутність природного освітлення спричиняється наявністю конфронтуючих будинків та споруд.

Недостатня освітленість робочої зони спричиняється нераціональним розташуванням ламп та світильників штучного освітлення.

Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони спричиняються утворенням такої речовини, як пил зерновий в процесі роботи за ПК. В приміщеннях із персональними комп'ютерами оператори підпадають впливу пилу, який притягається до працівника та дуже наелектризованого устаткування.

Перенапруження аналізаторів спричиняється інтенсивною роботою за ЕОМ.

Монотонність праці спричиняється розвитком напіваавтоматичного виробництва і автоматизованих систем керування, оскільки основними функціями працівника за таких умов стають нескладні, одноманітні рухи, які повторюються тисячі разів за зміну, або функції спостереження, керування і контролю за роботою системи.

5.1.3 Дія небезпечних та шкідливих виробничих факторів на організм людини

Підвищений рівень шуму і вібрації робочої зони може спровокувати психічні та фізіологічні порушення, що знижують працездатність і створюють передумови для загальних та професійних захворювань і виробничого травматизму.

Підвищений рівень інфразвуку супроводжується відчуттям обертання, розхитування, почуттям тривоги, страху, біллю у вухах, порушенням роботи органів рівноваги.

Підвищений рівень ультразвуку може спровокувати функціональні порушення нервової системи, головний біль, зміну тиску, складу і властивостей крові, втрату слухової чутливості, підвищену втомлюваність.

Високий рівень електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону може спровокувати катаракту, при якій помутніння розвивається на мембрані

кришталіка, підвищену частоту захворювання глаукомою, а під дією підвищеної концентрації пилу поблизу екрана дисплея підвищується імовірність виникнення дерматитів обличчя (прищі, екземи, свербіж шкіри).

Високий рівень електромагнітних випромінювань промислової частоти може спровокувати злоякісні пухлини. Найбільш сильна дія цих полів виявляється на відстані до 30 см від екрана.

Понижена або підвищена температура повітря робочої зони може спровокувати тепловий удар, який супроводжується втратою свідомості, блювотою, судомами.

Понижена або підвищена відносна вологість повітря робочої зони може спровокувати зменшення або збільшення тепловіддачі організмом людини, що сприяє його перегріванню або переохолодженню.

Понижена або підвищена швидкість руху повітря робочої зони може спровокувати порушення реакції терморегуляції організму працівника.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання може спровокувати перегрівання організму працівника.

Недостатність або відсутність природного освітлення приводить до напруження зору, послабляє увагу, приводить до настання передчасної стомленості.

Недостатня освітленість робочої зони може стати причиною низької продуктивності праці, оскільки очі працівника перенапружуються, при цьому стає складно відрізнити оброблювані предмети.

Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони діють таким чином. У деяких людей вплив сильної запиленості приміщення може викликати алергію. При тривалій роботі в високоіонізованому повітряному середовищі може виникнути сильна перевтома, що може послабити захисні властивості організму та імунітет до інших захворювань.

Перенапруження аналізаторів призводить до різкої втоми очей працівника, а часом до погіршення зору.

Монотонність викликає у працівника гіподинамію, підвищену текучість кадрів, розвиток неврозів.

5.1.4 Обґрунтування вибору нормованих значень небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Відповідно до [3] для такої шкідливої речовини, як пил зерновий, встановлюємо, що вона відноситься до 2-го класу небезпеки і має ГДК = 4 мг/м³.

Враховуючи вид вібрації – загальна, вибираємо нормований еквівалентний рівень віброприскорення 33 дБ [4].

Після врахування призначення приміщення – розробка і вид шуму – постійний, нормований еквівалентний рівень шуму – 50 дБА [5].

Відповідно до рекомендацій [9] нормований загальний рівень інфразвуку 110 дБ, нормований рівень ультразвуку 110 дБ.

При частоті електричного поля радіочастотного діапазону 114,989 МГц нормована напруженість електричного поля 8-ми годинного робочого дня складає 10 В/м відповідно до [6].

Допустима напруженість електричного поля промислової частоти для восьмигодинного робочого дня становить 5 кВ/м [6].

За показником енерговитрат 287 Вт відповідно до [7] вибираємо категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – Пб, для якої в холодний період року для постійних робочих місць допустима температура повітря складає 15...21 °С, допустима швидкість руху повітря 0,4 м/с, а допустима відносна вологість повітря не повинна перевищувати 75 %. Інтенсивність теплового випромінювання – не більше 140 Вт/м².

Враховуючи найменший розмір об'єкта розрізнення 0,95 мм, встановлюємо розряд зорових робіт – 4, для якого нормоване КПО для бокового освітлення становить 1,5 % [8].

Оскільки приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми розташовані за азимутом 140°, то для таких умов нормоване КПО визначатиметься за формулою [8]:

$$e_N = e_H m_N [\%]; \quad (5.1)$$

$$e_N = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%),$$

де e_H – табличне значення КПО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

Враховуючи співвідношення контрасту (середній) та фону (темний), встановлюємо підрозряд зорових робіт – б, в межах якого вибираємо нормовану освітленість для загального штучного освітлення – 200 лк.

5.2 Карта умов праці

З метою здійснення атестації робочого місця за умовами праці необхідна карта умов праці. Атестацію робочих місць проводять за наслідками всебічного обстеження і оцінки характеру та умов праці.

5.2.1 Оцінка факторів виробничого і трудового процесів

Таблиця 5.1 містить оцінку чинників трудового та виробничого процесів [9].

5.2.2 Гігієнічна оцінка умов праці

Підвищена концентрація шкідливої хімічної речовини 2-го класу небезпеки – 1 ст.

Підвищений рівень вібрації – 3 ст.

Підвищений рівень неіонізуючих випромінювань радіочастотного діапазону – 1 ст.

Знижена температура в холодний період року – 2 ст.

Підвищена швидкість руху повітря в холодний період року – 2 ст.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання – 1 ст.

5.2.3 Оцінка технічного й організаційного рівня

Технічний рівень робочого місця не відповідає нормативним вимогам.

Таблиця 5.1 – Оцінка чинників трудового та виробничого процесів

Номер	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДР, ГДК)		Фактичне значення	Ступінь 3-го класу: шкідливі умови і характер праці		
		ни-жнє	вер-хнє		I	II	III
1	Шкідливі хімічні речовини:						
1.1	1-й клас небезпеки		—	—			
1.2	2-й клас небезпеки		4	7,32	+		
1.3	3-й, 4-й класи небезпеки		—	—			
2	Вібрація		33	52			+
3	Шум		50	36			
4	Інфразвук		110	104			
5	Ультразвук		110	26			
6	Неіонізуючі випромінювання:						
6.1	— радіочастотний діапазон		10	25	+		
6.2	— діапазон промислової частоти		5	4,29			
6.3	— оптичний діапазон		0	0			
7	Мікроклімат у приміщенні:						
7.1	— температура повітря, °С	15	21	10		+	
7.2	— швидкість руху повітря, м/с		0,4	1,8		+	
7.3	— відносна вологість повітря, %		75	75			
7.4	— інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²		140	246	+		
8	Виробниче освітлення:						
8.1	— розряд зорових робіт	4		4			
8.2	— КПО для природного освітлення, %	1,28		2			
8.3	— освітленість для штучного освітлення, лк	200		439			
	Кількість факторів	—	—	—	3	2	1

5.2.4 Атестація робочого місця

Робоче місце атестовано за третім ступенем шкідливості.

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; nn – не нормується.

Таблиця 5.3 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [11]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	Г	4	160	95	65	180	12	15	18	2	3500	2600	–

Під час виконання даного розділу було опрацьовано такі аспекти охорони праці, як аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників у виробничому приміщенні; карта умов праці; рекомендації стосовно поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі «Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла редуктора 1ЦУ100» виконаний аналіз роботи механізму та обґрунтування призначення посадок. Призначено рекомендовані посадки на типові з'єднання вузла редуктора.

Виконаний розрахунок точності елементів та з'єднань вузла редуктора із застосуванням програмних застосунків у MS Excel. Виконано автоматизація розрахунків посадок підшипників кочення та шліцьового з'єднання. Розроблений алгоритм визначення допусків посадкових поверхонь валів, параметрів шліцьового з'єднання у програмі MS Excel.

Виконано автоматизацію розрахунку складальної одиниці вузла редуктора. Розроблений алгоритм визначення числа одиниць допусків та значень допусків для ланок розмірного ланцюга у програмі MS Excel. Результати роботи програми підтвердили аналітичні розрахунки.

В технологічній частині виконаний аналіз конструкції і технологічності деталі. Програма випуску деталей 1600шт., виробництво дрібносерійне; метод отримання заготовки – штампування на ГKM.

Був розроблений маршрут механічної обробки деталі з використання станків ЧПК. Для визначення технологічних розмірів та розмірів заготовки і граничних припусків виконано розмірний аналіз. Розраховано норми часу, а також припуски і режими різання.

В розділі «Охорона праці» виконаний аналіз умов праці, виробничої санітарії, запропоновані заходи по техніці безпеки та протипожежної безпеки.

За результатами розрахунків виконані креслення деталі «Вал», складальне креслення редуктора, плакати які демонструють алгоритм визначення допусків посадкових поверхонь валів, автоматизацію розмірного розрахунку складальної одиниці вузла, графічне зображення маршруту механічної обробки деталі, розмірний аналіз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина I: навч. посібн./ Ю.І. Адаменко та ін. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. 164 с.
2. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина II: навч. посібн./ Ю.І. Адаменко та ін. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. 164 с.
3. Допуски і посадки. Частина I: довідник. / Якимчук Г.К та ін. Київ: Основа, 2011. 96 с.
4. Допуски і посадки. Частина II: довідник. / Якимчук Г.К та ін. Київ: Основа, 2012. 96 с.
5. Желєзна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. пос. Київ, Кондор, 2004. 796 с.
6. Базієвський С.Д., Дмитришин В.Ф. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник. Київ: Видавничий Дім "Слово", 2006. 504 с.
7. Семічаснова Н.С. Алгоритм розрахунків складових режимів різання: тези доп. учасників XLVIII Наук.-тех. конф. професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, м. Вінниця, берез. 2019 р./ Вінницький нац. техн. ун-т, Вінниця, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7652>
8. Семічаснова Н.С., Мала А.Р. Автоматизація розрахунку основних характеристик шпонкового з'єднання: тези доп. учасників LIV Наук.-тех. конф. професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету, м. Вінниця, берез. 2025 р./ Вінницький нац. техн. ун-т, Вінниця, 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2025/paper/view/24398>
9. Технологія машинобудування: підручник / П.П. Мельничук та ін. Житомир: ЖДТУ, 2005. 882 с.
10. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навч. пос. Вінниця : ВНТУ, 2013. 125 с.
11. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навч. пос. Вінниця: ВНТУ, 2015. 116 с.

12. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
13. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
14. Основи теорії різання матеріалів: підручник / М.П. Мазур, Ю.М. та ін.; Львів: Новий світ - 2000, 2010. 422 с.
15. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навч. пос. Львів : Магнолія, 2018. 500 с.
16. Дубровська Г. М., Ткаченко А. П. Системи сучасних технологій : навч. пос. для студ. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 352 с.
17. Буц Ю.В., Приходько В.Є., Ткачов Ю.В. Розрахунок режимів різання: навч. посіб. Д:РВВ ДНУ, 2005. 76с.
18. Васильєв О. В. Програмування на C++ в прикладах і задачах : навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. 382 с.
19. Прокопенко О. В., Попов М.О., Чумак Г.Л. Мова програмування C/C++. Практикум: навчальний посібник. К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2024. 375 с.
20. Лабораторний практикум з програмування мовою C/C++ : навч. посіб. / Пех П.А. та ін. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 228 с.
21. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
22. Віштак І. В., О. В. Березюк Охорона праці в галузях механічної інженерії та транспорту : навч. Посіб. Вінниця : ВНТУ, 2023. 195 с.
23. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ № 1596 від 14.07.2020 "Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони". 81 с.
24. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
25. ДСН 3.3.6-037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИНазва роботи: Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла редуктора 1ЦУ100Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра технологій та автоматизації машинобудування
факультет машинобудування та транспорту, гр.1ПМ-216

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 30,23 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Леонід КОЗЛОВ, завідувач кафедри ТАМ, гарант ОПП

(ім'я, прізвище, посада)

(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ, доцент кафедри ТАМ

(ім'я, прізвище, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____

(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____

(підпис)

Наталія СЕМІЧАСНОВА, ст. викладач

(ім'я, прізвище, посада)

Здобувач _____

(підпис)

Костянтин ВОЛОВИЙ

(ім'я, прізвище)

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

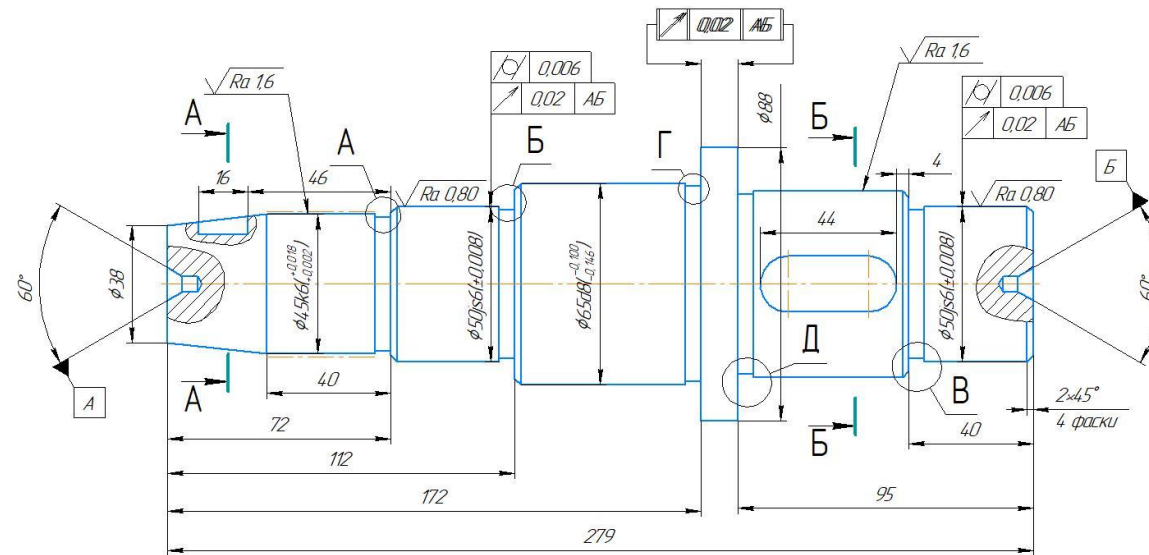
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**«РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА 1ЦУ-100»**

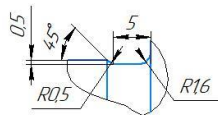
Перед. примірник		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кол.	Примі- тка	
						Документація			
		A3			08-64.БКР.06.00.000.СК	Складальне креслення			
						Деталі			
Спроб. №			1		08-64.БКР.06.00.001	Корпус	1		
			2		08-64.БКР.06.00.002	Вал	1		
			3		08-64.БКР.06.00.003	Вал	1		
			4		08-64.БКР.06.00.004	Зубчастий блок	1		
			5		08-64.БКР.06.00.005	Шестерня	1		
			6		08-64.БКР.06.00.006	Зубчасте колесо	1		
			7		08-64.БКР.06.00.007	Зубчасте колесо	1		
			8		08-64.БКР.06.00.008	Втулка	1		
			9		08-64.БКР.06.00.009	Втулка	1		
			10		08-64.БКР.06.00.010	Кришка	1		
			11		08-64.БКР.06.00.011	Кришка	1		
			12		08-64.БКР.06.00.012	Кришка	1		
			13		08-64.БКР.06.00.013	Шків	1		
			14		08-64.БКР.06.00.014	Шайба	1		
Взам. инв. №						Стандартні вироби			
			16			Болт М10 x 125-6g x 20			
						ГОСТ 7808-70	1		
						ГОСТ 8752-79			
Підп. і підпис			19			Манжета 1-45 x 65-1	1		
			20			Манжета 1-48 x 70-1	1		
Інформація						08-64.БКР.06.00.000.СК			
		Взм. / Арх.	№ докум.	Підп.	Дата				
		Разроб.	Волобий І.		06.06.25				
		Проб.	Семічаснова		06.06.25				
		Н.контр.	Лозінський Д		09.06.25				
		Заб.	Козлов Л.		09.06.25				
						Редуктор	Лист.	Арх.	Арх.
							1	2	
						ВНТУ, зр.1ПМ-218			

08-64.5KP.06.00.003

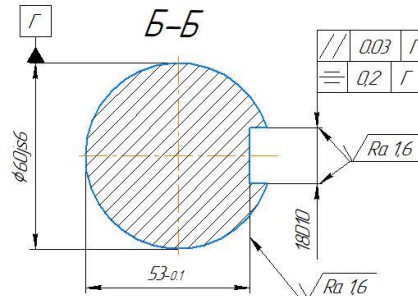
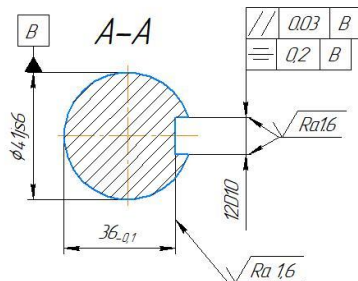
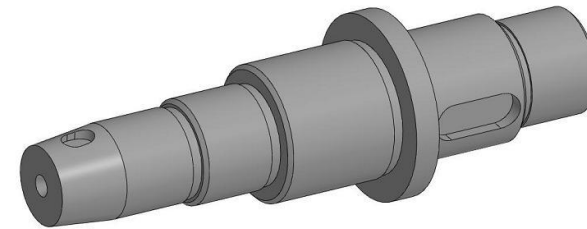
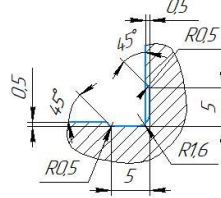
√ Ra6.3 (✓)



A, B, C (2,5:1)



Г, Д (2,5:1)



1. Невказані граничні відхилення по Н14, h14, ±IT14/2.

08-64.5KP.06.00.003			
Лист	№ докум.	Лист	Дата
Разраб.	Володимир К.		
Проб.	Геннадий Н.		
Т.контр.			
Н.контр.	Лазарский Д.		
Утв.	Козлов Л.		
Вал		Лист	Масса
Сталь 40X ГОСТ 4543-71		Лист	Листов
ВНТУ, зр.1ПМ-210		1	12.5

Копировать

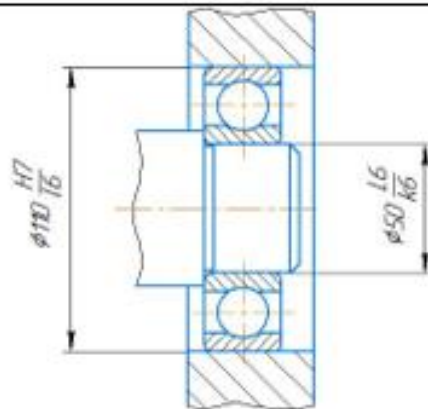
Формат А2

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

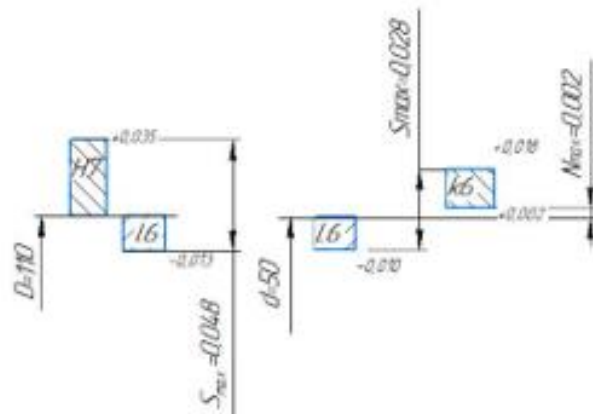
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**«РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА РЕДУКТОРА 1ЦУ-100»**

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛІВ ДОПУСКІВ ПОСАДКОВИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ



Позначення посадок підшипника кочення на кресленні

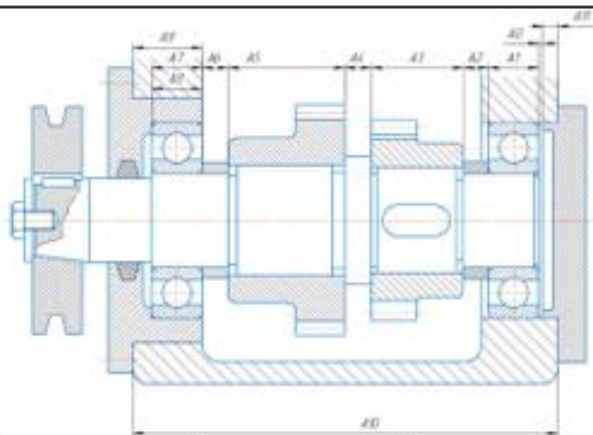


Схематичне зображення посадок підшипників кочення

[illegible]

Визначення поля допуску посадочних поверхонь валів

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗМІРНОГО РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ СКЛАДАЛЬНОЇ ОДИНИЦІ ВУЗЛА



Схематичне зображення розмірного ланцюга

$$\begin{aligned}
 T_1 &= A_{\text{вход}} - A_{\text{виход}} \\
 A_1 + \sum_{i=1}^n A_{i, \text{вх}} + \sum_{j=1}^m A_{j, \text{вих}} &= 0, \\
 A_i &= \sum_{j=1}^n A_{i, \text{вх}} - \sum_{k=1}^m A_{i, \text{вих}} \\
 \sigma &= \frac{T_1}{\sum_{i=1}^n l_i} \\
 T_2 &= \sum_{i=1}^n T_{i, \text{вх}} + \sum_{j=1}^m T_{j, \text{вих}} = \sum_{k=1}^m T_k \\
 \sum_{i=1}^n T_i &\leq T_2 \\
 C_2 &= \sum_{i=1}^n C_{i, \text{вх}} - \sum_{j=1}^m C_{j, \text{вих}} \\
 \Delta \sigma &= \frac{\Delta S + \Delta I}{2}
 \end{aligned}$$

Основні рівняння розмірного ланцюга

Номер	Розмір	Допуск	Число одиниць допуску
1	0	0,05	1
2	0,05	0,05	1
3	0,1	0,05	1
4	0,15	0,05	1
5	0,2	0,05	1
6	0,25	0,05	1
7	0,3	0,05	1
8	0,35	0,05	1
9	0,4	0,05	1
10	0,45	0,05	1
11	0,5	0,05	1
12	0,55	0,05	1
13	0,6	0,05	1
14	0,65	0,05	1
15	0,7	0,05	1
16	0,75	0,05	1
17	0,8	0,05	1
18	0,85	0,05	1
19	0,9	0,05	1
20	0,95	0,05	1
21	1,0	0,05	1
22	1,05	0,05	1
23	1,1	0,05	1
24	1,15	0,05	1
25	1,2	0,05	1
26	1,25	0,05	1
27	1,3	0,05	1
28	1,35	0,05	1
29	1,4	0,05	1
30	1,45	0,05	1
31	1,5	0,05	1
32	1,55	0,05	1
33	1,6	0,05	1
34	1,65	0,05	1
35	1,7	0,05	1
36	1,75	0,05	1
37	1,8	0,05	1
38	1,85	0,05	1
39	1,9	0,05	1
40	1,95	0,05	1
41	2,0	0,05	1
42	2,05	0,05	1
43	2,1	0,05	1
44	2,15	0,05	1
45	2,2	0,05	1
46	2,25	0,05	1
47	2,3	0,05	1
48	2,35	0,05	1
49	2,4	0,05	1
50	2,45	0,05	1
51	2,5	0,05	1
52	2,55	0,05	1
53	2,6	0,05	1
54	2,65	0,05	1
55	2,7	0,05	1
56	2,75	0,05	1
57	2,8	0,05	1
58	2,85	0,05	1
59	2,9	0,05	1
60	2,95	0,05	1
61	3,0	0,05	1
62	3,05	0,05	1
63	3,1	0,05	1
64	3,15	0,05	1
65	3,2	0,05	1
66	3,25	0,05	1
67	3,3	0,05	1
68	3,35	0,05	1
69	3,4	0,05	1
70	3,45	0,05	1
71	3,5	0,05	1
72	3,55	0,05	1
73	3,6	0,05	1
74	3,65	0,05	1
75	3,7	0,05	1
76	3,75	0,05	1
77	3,8	0,05	1
78	3,85	0,05	1
79	3,9	0,05	1
80	3,95	0,05	1
81	4,0	0,05	1
82	4,05	0,05	1
83	4,1	0,05	1
84	4,15	0,05	1
85	4,2	0,05	1
86	4,25	0,05	1
87	4,3	0,05	1
88	4,35	0,05	1
89	4,4	0,05	1
90	4,45	0,05	1
91	4,5	0,05	1
92	4,55	0,05	1
93	4,6	0,05	1
94	4,65	0,05	1
95	4,7	0,05	1
96	4,75	0,05	1
97	4,8	0,05	1
98	4,85	0,05	1
99	4,9	0,05	1
100	4,95	0,05	1

Визначення числа одиниць допуску

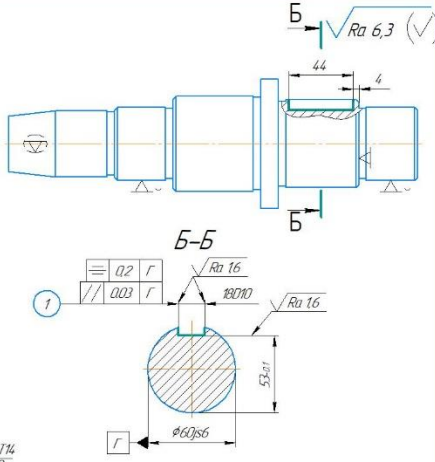
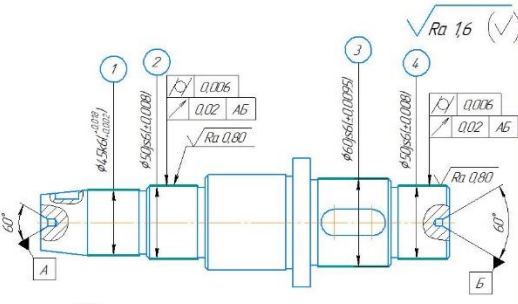
Номер	Розмір	Допуск	Число одиниць допуску
1	0	0,05	1
2	0,05	0,05	1
3	0,1	0,05	1
4	0,15	0,05	1
5	0,2	0,05	1
6	0,25	0,05	1
7	0,3	0,05	1
8	0,35	0,05	1
9	0,4	0,05	1
10	0,45	0,05	1
11	0,5	0,05	1
12	0,55	0,05	1
13	0,6	0,05	1
14	0,65	0,05	1
15	0,7	0,05	1
16	0,75	0,05	1
17	0,8	0,05	1
18	0,85	0,05	1
19	0,9	0,05	1
20	0,95	0,05	1
21	1,0	0,05	1
22	1,05	0,05	1
23	1,1	0,05	1
24	1,15	0,05	1
25	1,2	0,05	1
26	1,25	0,05	1
27	1,3	0,05	1
28	1,35	0,05	1
29	1,4	0,05	1
30	1,45	0,05	1
31	1,5	0,05	1
32	1,55	0,05	1
33	1,6	0,05	1
34	1,65	0,05	1
35	1,7	0,05	1
36	1,75	0,05	1
37	1,8	0,05	1
38	1,85	0,05	1
39	1,9	0,05	1
40	1,95	0,05	1
41	2,0	0,05	1
42	2,05	0,05	1
43	2,1	0,05	1
44	2,15	0,05	1
45	2,2	0,05	1
46	2,25	0,05	1
47	2,3	0,05	1
48	2,35	0,05	1
49	2,4	0,05	1
50	2,45	0,05	1
51	2,5	0,05	1
52	2,55	0,05	1
53	2,6	0,05	1
54	2,65	0,05	1
55	2,7	0,05	1
56	2,75	0,05	1
57	2,8	0,05	1
58	2,85	0,05	1
59	2,9	0,05	1
60	2,95	0,05	1
61	3,0	0,05	1
62	3,05	0,05	1
63	3,1	0,05	1
64	3,15	0,05	1
65	3,2	0,05	1
66	3,25	0,05	1
67	3,3	0,05	1
68	3,35	0,05	1
69	3,4	0,05	1
70	3,45	0,05	1
71	3,5	0,05	1
72	3,55	0,05	1
73	3,6	0,05	1
74	3,65	0,05	1
75	3,7	0,05	1
76	3,75	0,05	1
77	3,8	0,05	1
78	3,85	0,05	1
79	3,9	0,05	1
80	3,95	0,05	1
81	4,0	0,05	1
82	4,05	0,05	1
83	4,1	0,05	1
84	4,15	0,05	1
85	4,2	0,05	1
86	4,25	0,05	1
87	4,3	0,05	1
88	4,35	0,05	1
89	4,4	0,05	1
90	4,45	0,05	1
91	4,5	0,05	1
92	4,55	0,05	1
93	4,6	0,05	1
94	4,65	0,05	1
95	4,7	0,05	1
96	4,75	0,05	1
97	4,8	0,05	1
98	4,85	0,05	1
99	4,9	0,05	1
100	4,95	0,05	1

Визначення допуску складових ланок

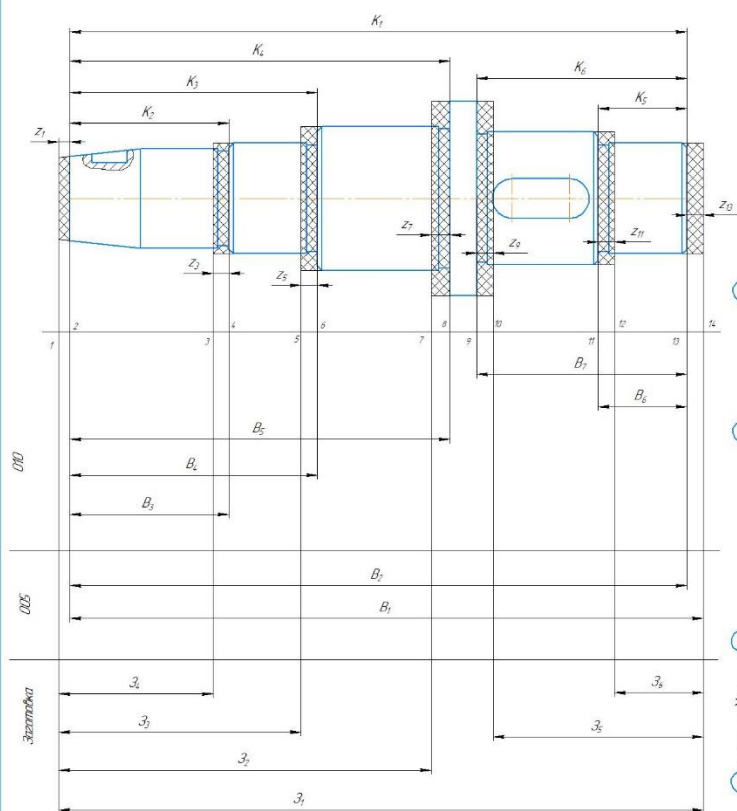
Активі
Перейді
актива

Маршрут механічної обробки (лист 1)

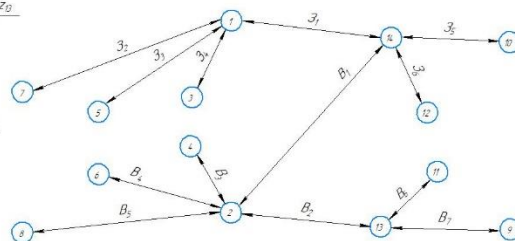
№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми установки	Тип обладнання
005	<u>Фрезерно-центрувальна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Фрезерувати торець 1 та 3 в розмір згідно ескізу 3. Центрувати отв. 2 та 4 4. Зняти заготовку	Н14, h14, ± $\frac{IT14}{2}$	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити Установ 1 2. Точити пов. 3 в розмір $\phi 65,6_{-0,3}^{+0,2}$, 5 в розмір $\phi 50,97_{-0,25}^{+0,1}$, 7 в розмір $\phi 45,93_{-0,25}^{+0,1}$ та пов. 1, 2, 4, 6, 8, 9 однократно. 3. Точити пов. 5 в розмір $\phi 50,374_{-0,062}^{+0,05}$ та 7 в розмір $\phi 45,352_{-0,062}^{+0,05}$ попередньо. 4. Точити канавки 10, 11 та 12 однократно. 5. Точити фаски 13 та 14 однократно. 6. Точити пов. 3, 5 та 7 остаточно. Установ 2 7. Точити пов. 15 в розмір $\phi 61,09_{-0,3}^{+0,2}$, 17 в розмір $\phi 50,97_{-0,25}^{+0,1}$ та пов. 16, 18 однократно. 8. Точити пов. 15 в розмір $\phi 60,362_{-0,072}^{+0,06}$ та 17 в розмір $\phi 50,374_{-0,062}^{+0,05}$ попередньо. 9. Точити фаски 21 та 22 однократно. 10. Точити канавки 19 та 20 однократно. 11. Точити пов. 15 та 17 остаточно. 12. Зняти заготовку.	Н14, h14, ± $\frac{IT14}{2}$	Токарний верстат з ЧПК 16K211
015	<u>Фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити 2. Фрезерувати паз 1 попередньо. 3. Фрезерувати паз 1 остаточно. 4. Зняти заготовку	Н14, h14, ± $\frac{IT14}{2}$	Фрезерний верстат з ЧПК 6P13PФ3

№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми установки	Тип обладнання
020	<u>Фрезерна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити 2. Фрезерувати паз 1 попередньо. 3. Фрезерувати паз 1 остаточно. 4. Зняти заготовку	 Б-Б 0.2 0.02 0.01 10 4 60 53 Ра 6,3 Ра 16 Ра 16 НН, нН, $\pm \frac{IT_4}{2}$	Фрезерний верстат з ЧПК БР13ФФ3
025	<u>Термообробка</u>		
030	<u>Кругло-шліфувальна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Шліфувати пов. 1 та 3 однократно 3. Шліфувати пов. 2 та 4 однократно 4. Зняти заготовку	 0.006 0.02 0.01 0.008 1 2 3 4 60 53 Ра 16 Ра 0.80 Ра 0.80 НН, нН, $\pm \frac{IT_4}{2}$	Кругло-шліфувальний ЗК15ВФ20

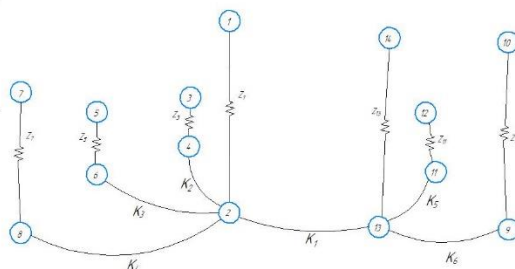
Розмірний аналіз



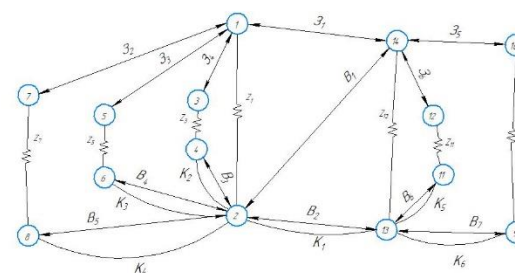
Похідний граф



Вихідний граф



Суміщене граф-дерево



Технологічні розміри та розміри заготовки

	B_1 , мм	B_2 , мм	B_3 , мм	B_4 , мм	B_5 , мм	B_6 , мм	B_7 , мм	z_1 , мм	z_2 , мм	z_3 , мм	z_4 , мм	z_5 , мм	z_6 , мм
max	281,8	279	72,37	112,435	175,5	40,31	95,435	285,1	171,7	111,765	72,03	94,765	40,09
min	280,2	277,7	71,63	111,565	174,5	39,69	94,565	283	170,1	110,365	70,83	93,365	39,09

Таблиця мінімальних і максимальних припусків

	z_1	z_3	z_5	z_7	z_9	z_{11}	z_{13}
z_{max} , мм	4,9	6,44	6,97	7,3	6,17	5,32	4,11
z_{min} , мм	12	0,8	10	10	10	0,8	12