

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))

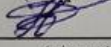
Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему:

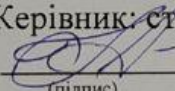
«РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КП250»

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

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


(підпис)

Іван ПЛАХОТНИЙ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

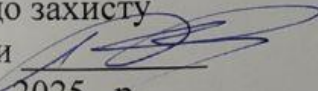
Керівник: Старший викладач каф. ТАМ

(підпис) Наталія СЕМІЧАСНОВА
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 06 » 06 2025р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. АТМ

(підпис) Володимир КУЖЕЛЬ
(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

Спеціальність – 131 – «Прикладна механіка»
(шифр і назва)

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

Плахотному Івану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла коробки передач КП250

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 коробки передач. Креслення деталі: Вал. Матеріал: Сталь 30Х ГОСТ 4543-71, Програма випуску: 1100шт.

4. Зміст текстової частини

1. Аналіз роботи механізму та обґрунтування призначення посадок

2. Розрахунок точності елементів та з'єднань вузла коробки передач із застосуванням програмних застосунків

3. Розрахунок розмірних ланцюгів із застосуванням програмних застосунків

4. Розроблення технологічного процесу обробки заготовки деталі "вал"

5. Охорона праці

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

робоче креслення деталі;

маршрут механічної обробки ;

розмірний аналіз;

алгоритм розрахунку посадки з зазором;

алгоритм розрахунку розмірного ланцюга.

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

(підпис)

Іван ПЛАХОТНИЙ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Наталія СЕМІЧАСНОВА
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 70 сторінок формату А4, на яких 17 рисунків, 22 таблиці, список використаних джерел містить 25 найменувань.

Метою роботи є розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла коробки передач, що дозволить покращити експлуатаційні характеристики механізму.

В загальній частині зроблено аналіз призначення стандартних посадок вузла коробки передач. В розрахунково-конструкторській частині виконані розрахунки точності елементів та з'єднань вузла коробки передач із застосуванням програмних застосунків та автоматизація розрахунку розмірного ланцюга. У технологічній частині розроблений маршрут механічної обробки деталі – вал, яка є складовою коробки передач, 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, посадки гладких з'єднань, характеристики посадок, розмірний ланцюг, маршрут механічної обробки, режими різання, розмірний аналіз, карта умов праці, пожежна безпека.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of 70 pages of A4 format, which include 17 figures, 22 tables, and a list of sources used containing 25 items.

The method of work is the calculation of software applications of precision elements and connected gearbox assemblies, which allows improving the operational characteristics of the mechanism.

In the general part, an analysis of the intended standard fits of the gearbox assembly was made. In the calculation and design part, calculations of the accuracy of the elements and connections of the gearbox assembly were performed using software applications and automation of the calculation of the dimensional chain. In the technological part, a route for machining a part - a 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, smooth joint fits, fit characteristics, dimensional chain, machining route, cutting modes, dimensional analysis, working conditions map, fire safety.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК	10
2 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ.....	12
2.1 Автоматизація розрахунку посадок підшипників ковзання.....	12
2.1.1 Особливості призначення посадок підшипників ковзання	12
2.1.2 Математичний алгоритм розрахунку посадок підшипників ковзання	12
2.1.3 Аналітичний розрахунок посадок підшипників ковзання.....	13
2.1.4 Алгоритм визначення основних характеристик посадок підшипників ковзання	16
2.2 Автоматизація розрахунку перехідної посадки.....	18
2.2.1 Особливості призначення перехідної посадки.....	18
2.2.2 Математичний алгоритм розрахунку перехідної посадки	18
2.2.3 Аналітичний розрахунок посадок перехідної посадки	20
2.2.4 Алгоритм визначення основних характеристик перехідної посадки	23
3 РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ	25
3.1 Математичний алгоритм розрахунку розмірного ланцюга одного з вузлів	25
3.2 Аналітичний розрахунок розмірного ланцюга	26
3.3 Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга у програмі C++	30
4 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ВАЛ"	31
4.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі	31
4.2 Розрахунок розмірів заготовки.....	33
4.3 Розробка маршруту механічної обробки.....	40
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	59

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників у виробничому приміщенні	59
5.2 Карта умов праці	64
5.3 Пожежна безпека.....	66
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69
ДОДАТКИ.....	70
ДОДАТОК А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	
ДОДАТОК Б (обов'язковий) ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	
ДОДАТОК В (обов'язковий) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	
ДОДАТОК Г (довідниковий) Лістинги програм на мові C++	

ВСТУП

Машинобудування традиційно визнається однією з ключових галузей промисловості, яка здійснює значний вплив на динаміку економічного зростання та технічного прогресу суспільства. Постійний розвиток технологій у цій сфері зумовлює безперервне удосконалення виробничих процесів, розробки нових матеріалів та модернізації обладнання. В контексті стрімких технічних змін та інноваційного розвитку, роль машинобудування набуває особливого значення для забезпечення конкурентоспроможності та сталого функціонування промислових підприємств.

Актуальність даної роботи визначається нагальною потребою у підвищенні ефективності виробничих процесів в умовах зростаючої глобальної конкуренції та прискорених технологічних трансформацій. Особливої уваги потребує імплементація новітніх технологій, оптимізація виробничих циклів та застосування передових матеріалів. Ці заходи є критично важливими для досягнення високої якості продукції та мінімізації виробничих витрат, що є запорукою успіху на сучасному ринку.

Метою даної бакалаврської роботи є проведення всебічного аналізу сучасних технологій машинобудування, кількісна та якісна оцінка їх впливу на ефективність виробничих процесів, а також розробка обґрунтованих рекомендацій щодо їх практичного впровадження на промислових підприємствах.

Об'єктом дослідження виступають технологічні процеси, що реалізуються на машинобудівних підприємствах. Предметом дослідження є новітні технології та методи їх інтеграції у машинобудівне виробництво.

Очікується, що результати проведеного дослідження дозволять сформулювати комплексну оцінку сучасного стану технологій машинобудування та їхнього впливу на виробничу ефективність. Це, в свою чергу, уможливить розробку практично орієнтованих рекомендацій, спрямованих на підвищення продуктивності та покращення якісних характеристик продукції машинобудівних підприємств.

Заплановано виконання наступних етапів дослідження:

- Аналіз роботи механізму та обґрунтування призначення посадок.
- Розрахунок точності елементів та з'єднань вузла коробки передач із застосуванням програмних застосунків.
- Розрахунок розмірних ланцюгів із застосуванням програмних застосунків.
- Проектування заготовки та розробка способів її виготовлення.
- Розробка маршруту механічної обробки конкретної деталі.
- Розробка розмірного аналізу технологічного процесу.
- Розрахунок припусків і технологічних розмірів для механічної обробки циліндричних поверхонь, а також визначення технічних норм часу.

1 АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК

Аналіз роботи механізму зображеного на рисунку 1.1. наступний: крутний момент від електродвигуна через клинопасову передачу передається на шків 9, що насаджено з натягом на циліндричний кінець валу 6. Вал 6 змонтовано в корпусі коробки швидкостей за допомогою підшипників кочення 7. На шліцьовій частині валу 6 встановлено потрійний зубчатий блок 5, що може входити в зачеплення з подвійним зубчатим колесом 16, подвійним зубчатим колесом 18 та з внутрішнім вінцем напівмуфти 4. Напівмуфта 4 встановлена на валу 6 за допомогою підшипника ковзання 3. Напівмуфта 4 постійно знаходиться в зачепленні з зубчатим колесом 8. З'єднуючи попарно зубчатий блок 5 з шестернями 16, 18 та внутрішнім вінцем напівмуфти 4, вихідний вал 11 коробки швидкостей буде отримувати різну частоту обертання. Зубчаті колеса 16 та 18 з'єднані з валом 11 за допомогою шпонок відповідно 15 та 17. Вал 11 змонтовано в корпусі коробки швидкостей на підшипниках кочення 10. Також на кінці валу з натягом встановлена шестерня 21. Для компенсації температурних деформацій передбачені зазори $A_{\Sigma 1}$ і $A_{\Sigma 2}$.

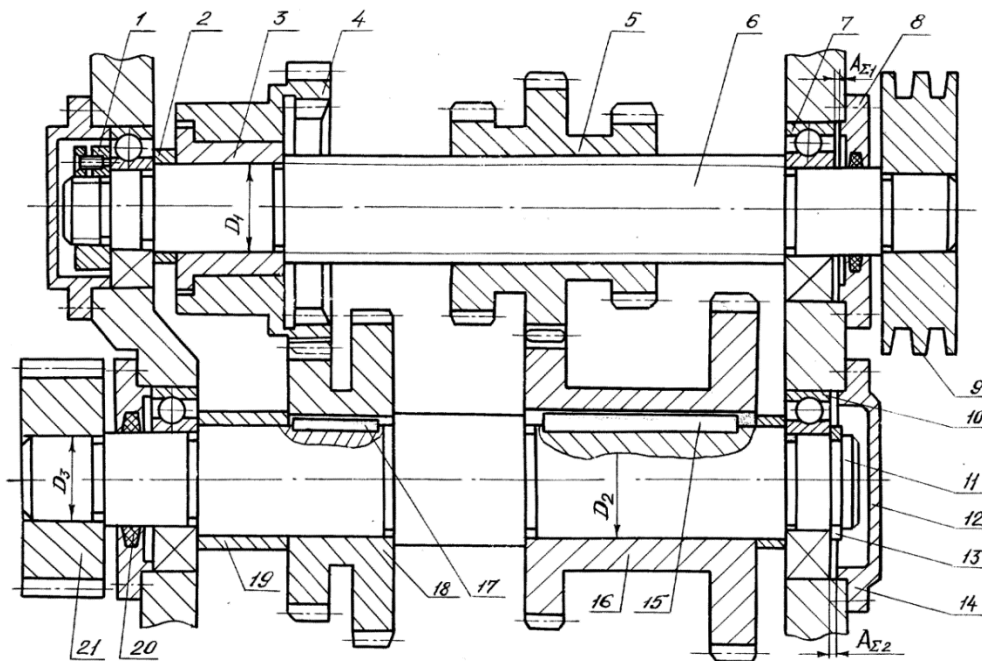


Рисунок 1.1 – Фрагмент коробки передач

В таблиці 1.1 представлено призначення рекомендованих посадок для фрагменту коробки передач.

Таблиця 1.1 – Призначення рекомендованих посадок

З'єднання 1	З'єднання 2	Тип посадки	Позначення
Шків поз.9	Вал поз.6	Натяг	H7/s6
Внут.кільце підшипника кочення п.7	Вал п.6	Перехідна	m6
Зовнішнє кільце підшипника кочення п.7	Корпус п.1	Зазор	H7
Кришка п.8	Корпус 1	Зазор	H11/d111
Зубчастий блок п.5	Вал п.6	Шліцьове з'єднання	D-zxdxDH7/e8xbJs9/d10
Втулка п.3	Вал п.6	Зазор	H7/c8
Втулка п.3	Напівмуфта п.7	Натяг	H7/p6
Кришка п.14	Корпус п.1	Зазор	H11/d11
Внут.кільце підшипника кочення п.10	Вал п.11	Перехідна	m6
Зовнішнє кільце підшипника кочення п.10	Корпус поз.1	Зазор	H7
Втулка поз.22	Вал поз.11	Зазор	H7/e8
Зубчасте колесо поз.16	Вал поз.11	Перехідна	Js8/h7
Зубчасте колесо поз.18	Вал поз.11	Перехідна	Js8/h7
Втулка поз.19	Вал поз.11	Зазор	H7/e8
Кришка поз.20	Корпус 1	Зазор	H11/d11
Шестерня поз.21	Вал поз.11	Натяг	H7/s6

2 РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ

2.1 Автоматизація розрахунку посадок підшипників ковзання

2.1.1 Особливості призначення посадок підшипників ковзання

Підшипники ковзання в коробці передач відіграють ключову роль у забезпеченні плавного обертання валів і шестерень, зниженні тертя та передачі навантажень. Посадка підшипника ковзання — це характер з'єднання втулки з її опорною поверхнею, що визначає ступінь їх рухомості.

Вибір правильної посадки має вирішальне значення для надійності, довговічності та ефективності роботи коробки передач. В даному випадку забезпечується рухомість вала. Вал повинен вільно обертатися всередині підшипника ковзання з мінімальним тертям та зносом. Для цього використовуються посадки з зазором. Зазор дозволяє створити гідродинамічний клин мастила між валом і втулкою, що запобігає прямому контакту металевих поверхонь. Цей масляний шар знижує тертя, відводить тепло та забезпечує плавну роботу. Величина зазору є критичною. Занадто малий зазор призведе до руйнування масляної плівки, підвищення температури, тертя та швидкого зносу. Занадто великий зазор спричинить надмірне биття, вібрації, шум і також прискорить знос через ударні навантаження та нерівномірний розподіл мастила.

2.1.2 Математичний алгоритм розрахунку посадок підшипників ковзання

Середній питомий тиск в підшипнику ковзання визначаємо за формулою

$$P = \frac{R}{l \cdot d_H}, [\text{Н/м}^2] \quad (2.1)$$

де R - навантаження на підшипник (Н);

l – довжина з'єднання вала і отвору (м);

d_H – номінальний діаметр з'єднання (м).

Допустима мінімальну товщину мастильного шару дорівнює

$$[h_{\min}] = K \cdot (4RaD + 4Rad + \gamma). \quad (2.2)$$

де $K = 2$ – коефіцієнт запасу надійності по товщині мастильного шару;

$\gamma = 2\text{мкм}$ – добавка на нерозривність мастильного шару;

Робоча температура підшипника повинна бути не вищою $60..75^\circ\text{C}$.

Значення коефіцієнта A_h знаходимо по формулі :

$$A_h = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{d_h \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega}{P}}}, \quad (2.3)$$

де ω - кутова швидкість валу (с^{-1}).

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, [\text{с}^{-1}] \quad (2.4)$$

Мінімальний граничний зазор

$$[S_{\min}] = 2,857 \cdot [h_{\min}] \cdot \frac{A_x}{A_h}, [\text{м}] \quad (2.5)$$

Максимальний граничний зазор

$$[S_{\max}] = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{\max}}, [\text{м}] \quad (2.6)$$

Оптимальний зазор

$$S_{onm} = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{onm}} \cdot \frac{A_{onm}}{A_h}, [\text{м}] \quad (2.7)$$

Основна умова вибору посадок

$$S_{\min} \geq [S_{\min}], \quad S_{\max} \leq [S_{\max}]. \quad (2.8)$$

2.1.3 Аналітичний розрахунок посадок підшипників ковзання

Необхідно розрахувати необхідні зазори в з'єднанні підшипник ковзання поз.3 з валом поз. 6 для забезпечення нерозривності мастильного шару та підібрати посадку. Визначаємо середній питомий тиск P (Н/м^2) в підшипнику за формулою 2.1. для таких параметрів: $d_H=80\text{мм}$; $l=72\text{мм}$; $R=1800 \text{ Н}$; $n=1650 \text{ об/хв}$.

$$P = \frac{1800}{72 \cdot 10^{-3} \cdot 90 \cdot 10^{-3}} = 2,7 \cdot 10^5 \text{ (Н/м)}.$$

Приймаємо $R_{zD} = 0,8$ мкм; $R_{zd} = 0,8$ мкм. Знаходимо допустиму товщину мастильного шару (ф.2.2)

$$[h_{\min}] = 2 \cdot (4 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0,8 + 2) = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Задаємось робочою температурою підшипника. Для попередніх розрахунків приймаємо $t_n = 50$ °С.

Відповідно з прийнятою температурою t_n і маркою мастила визначається його динамічна в'язкість:

$$\mu = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ (Н·с/м}^2\text{)}.$$

Розраховуємо значення коефіцієнта A_h по формулі (2.3) та кутову швидкість валу (2.4)

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1650}{30} = 172,7 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

$$A_h = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{80 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{5,4 \cdot 10^{-3} \cdot 172,7}{2,7 \cdot 10^5}}} = 0,2.$$

Розраховуємо мінімальний граничний зазор (формула 2.5)

$$[S_{\min}] = 2,857 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,38}{0,2} = 89 = 89 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Визначаємо максимальний граничний зазор (формула 2.6)

$$[S_{\max}] = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,9} = 336 = 336 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Розраховуємо оптимальний зазор (формула 2.7)

$$S_{\text{opt}} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,5} \cdot \frac{0,4}{0,2} = 147 = 147 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Вибираємо із таблиць допусків і посадок [] всі стандартні посадки, які задовольняють основну умову вибору посадок за $[S_{\min}]$ і $[S_{\max}]$.

$$S_{\min} \geq [S_{\min}] = 89 \text{ (мкм)}, \quad S_{\max} \leq [S_{\max}] = 336 \text{ (мкм)}.$$

Переважне використання надається системі отвору, тому всі посадки в системі валу не беремо до уваги.

Враховуючи те, що жодна з вказаних посадок, не є рекомендованими до використання в першу чергу, тому вибираємо посадку за умови простоти виготовлення.

Вибираємо посадку $80 \frac{H7}{c8}$

Для вибраної посадки виконується основна умова:

$$S_{\min} = 120 \text{ мкм} > [S_{\min}] = 89 \text{ мкм};$$

$$S_{\max} = 253 \text{ мкм} < [S_{\max}] = 336 \text{ мкм}.$$

Таблиця 2. 1 – Розрахунок граничних зазорів та натягів в посадці з зазором

Позначення	Розрахункові формули	Розрахунки (мм)
Максимальний граничний розмір отвору	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max} = 80 + 0,030 = 80,030$
Мінімальний граничний розмір отвору	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min} = 80 + 0 = 80,0$
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max} = 80 - 0,120 = 79,897$
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min} = 80 - 0,223 = 79,777$
Допуск отвору	$TD = D_{\max} - D_{\min}$	$TD = 80,030 - 80,0 = 0,030$
Допуск валу	$Td = d_{\max} - d_{\min}$	$Td = 79,890 - 79,88 = 0,103$
Мінімальний граничний зазор	$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$	$S_{\min} = 80,0 - 79,897 = 0,103$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$	$S_{\max} = 80,030 - 79,777 = 0,253$
Допуск посадки	$TS = S_{\max} - S_{\min}$	$TS = 0,253 - 0,103 = 0,150$

Схема розташування полів допусків посадки з зазором зображена на рисунку 2.1.

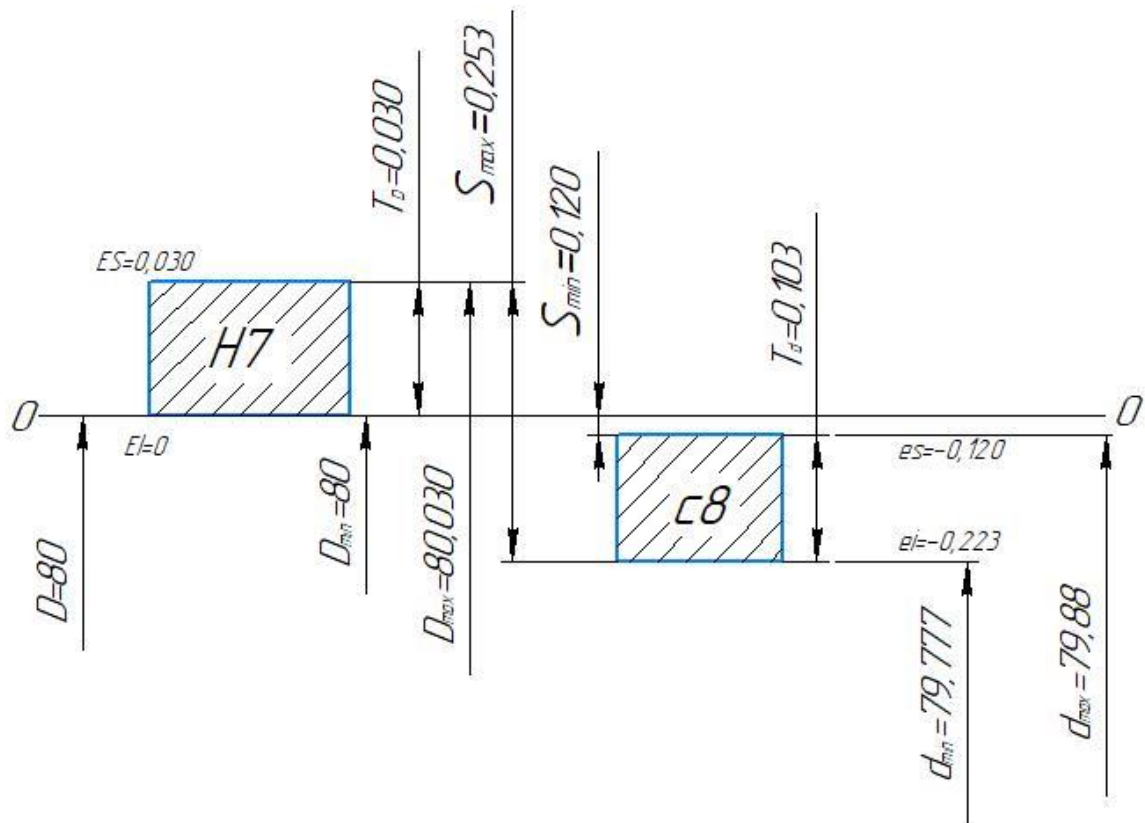


Рисунок 2.1 – Схема розташування полів допусків посадки з зазором

2.1.4 Алгоритм визначення основних характеристик посадок підшипників ковзання

Формули та їхні залежності представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Аналіз залежностей в розрахункових формулах

Параметри	Формула	Залежність	Ідентифікатори для коду
1	2	3	4
Середній питомий тиск в підшипнику ковзання	$P = R/l \cdot d_H$	R, l, d_H	P, R, f, d_H
Допустима мінімальну товщину мастильного шару	$[h_{min}] = K \cdot (4RaD + 4Rad + \gamma)$	K, RaD, Rad, γ	$h_{min}, R, K_{aD}, ad_{val},$

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Кутова швидкість валу	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$	n	omega, Pi,n
Коефіцієнт A_h	$A_h = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{d_n \cdot \sqrt{\mu \cdot \omega / P}}$	$[h_{\min}], d_n, \omega, \mu, P$	$A_k, h_{\min}, \text{omega}, \mu$
Мінімальний граничний зазор	$[S_{\min}] = 2,857 \cdot [h_{\min}] \cdot \frac{A_x}{A_h}$	$[h_{\min}], A_x, A_h$	$S_{\min}, A_x$
Максимальний граничний зазор	$[S_{\max}] = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{\max}}$	$[h_{\min}], X_{\max}$	$S_{\max}, X_{\max}$
Оптимальний зазор	$S_{\text{opt}} = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{\text{opt}}} \cdot \frac{A_{\text{opt}}}{A_h}$	$[h_{\min}], X_{\text{opt}}, A_{\text{opt}}, A_h$	$S_{\text{opt}}, A_{\text{opt}}$

На рисунках 2.2-2.3 представлені фрагменти кода програми розрахунків основних характеристик посадок з зазором

```

1  #include <iostream> // Для об'єднання та виведення даних (cin, cout)
2  #include <math> // Для математичних функцій, таких як M_PI (pi)
3  #include <iomanip> // Для форматування виводу (setprecision)
4
5  // Визначення константи PI. M_PI визначена в math, але може бути не завжди доступна,
6  // тому краще визначити її явно, або переконатися, що вона доступна.
7  #ifndef M_PI
8  #define M_PI 3.14159265358979323846
9  #endif
10
11 int main() {
12
13     // Встановлюємо точність виведення чисел з літеральним значенням
14     std::cout << std::fixed << std::setprecision(6);
15
16     // --- Оголошення змінних для введення даних ---
17     double R, f, d_n; // Для формули (2.1)
18     double K, K_ad, ad_val, gamma; // Для формули (2.2) (ad_val, щоб уникнути конфлікту з "ad" у деяких контекстах)
19     double mu, v_H, rho_s; // Для формули (2.3)
20     double n; // Для формули (2.4)
21     double d_H; // Для формули (2.5)
22     double S_min, X_max; // Для формули (2.6)
23
24     // --- Оголошення змінних для результатів розрахунків ---
25     double P; // Результат формули (2.1)
26     double h_min; // Результат формули (2.2)
27     double A_k; // Результат формули (2.3)
28     double omega; // Результат формули (2.4)
29     double S_max; // Результат формули (2.5)
30     double S_opt; // Результат формули (2.6)
31
32     std::cout << "Програма розрахунку характеристик підшипника ковзання\n";
33
34     // --- Введення даних для формули (2.1) ---
35     std::cout << "Дані для формули (2.1) - Середній радіус шестерні: ";
36     R = 1800;
37     std::cout << "Введіть значення R: ";
38     f = 72;
39     std::cout << "Введіть значення f: ";
40     d_n = 80;
41     std::cout << "Введіть значення d_n: ";
42
43     // --- Дані для формули (2.2) - Допустима мінімальна товщина настильного шару ---
44     K = 1;
45     std::cout << "Введіть значення K: ";
46     K_ad = 0.8;
47     std::cout << "Введіть значення K_ad: ";
48     ad_val = 0.6;
49     std::cout << "Введіть значення ad_val: ";
50     gamma = 5.4;
51     std::cout << "Введіть значення gamma (Y): ";
52
53     // --- Дані для формули (2.3) - Коефіцієнт A_k ---
54     mu = 0.1;
55     std::cout << "Введіть значення mu (в'язкість): ";
56     v_H = 10;
57     std::cout << "Введіть значення v_H (швидкість): ";
58     rho_s = 1000;
59     std::cout << "Введіть значення rho_s (густина): ";
60
61     // --- Дані для формули (2.4) ---
62     n = 1440;
63     std::cout << "Введіть значення n (частота обертання): ";
64
65     // --- Дані для формули (2.5) ---
66     d_H = 80;
67     std::cout << "Введіть значення d_H (діаметр): ";
68
69     // --- Дані для формули (2.6) ---
70     S_min = 0.1;
71     std::cout << "Введіть значення S_min (мінімальний зазор): ";
72     X_max = 0.9;
73     std::cout << "Введіть значення X_max (максимальний зазор): ";
74
75     // Розрахунок
76     P = (M_PI * R * f) / d_n;
77     h_min = (2 * S_min) / (1 - X_max);
78     A_k = (2 * h_min) / (d_n * sqrt(mu * omega / P));
79     omega = (M_PI * n) / 30;
80     S_max = (2 * h_min) / (1 - X_max);
81     S_opt = (2 * h_min) / (1 - X_max) * (A_opt / A_h);
82
83     // Виведення результатів
84     std::cout << "Результати розрахунків:\n";
85     std::cout << "P = " << P << "\n";
86     std::cout << "h_min = " << h_min << "\n";
87     std::cout << "A_k = " << A_k << "\n";
88     std::cout << "omega = " << omega << "\n";
89     std::cout << "S_max = " << S_max << "\n";
90     std::cout << "S_opt = " << S_opt << "\n";
91 }

```

Рисунок 2.2 – Розрахунок основних характеристик посадок

Порядок обчислень (в програмі вони будуть виконуватися послідовно, тому залежності враховуватимуться автоматично):

- Ввести R , l , d_n . Обчислити P .
- Ввести K , RaD , Rad , γ . Обчислити $[h_{min}]$.
- Ввести n . Обчислити ω .
- Ввести μ . Обчислити A_h .
- Ввести A_x , A_h . Обчислити $[S_{min}]$.
- Ввести X_{max} . Обчислити $[S_{max}]$.
- Ввести X_{opt} , A_{opt} . Обчислити S_{opt} .

The screenshot shows the Embarcadero Dev-C++ 6.3 IDE. The main window displays C++ code for calculating gear parameters. The code includes comments in Ukrainian and uses `std::cout` for output. The console window on the right shows the results of the calculations for given input values: $R = 0.0$, $l = 0.9$, $d_n = 0.5$, $K = 11.800000$, $RaD = 172.787596$, $Rad = 1.078060$, $\gamma = -5.605912$, and $n = 0.5$.

```

105 Ak = 0.0; // Або інші значення, що базують на пошуку
106 std::cout << "Помилка: Ділення на нуль при розрахунку Ak (Формула 2.3)\n";
107 }
108 // Формула (2.4)
109 omega = (M_PI * n) / 30.0;
110 // Формула (2.5)
111 S_min = 2.837 * D_n;
112 // Формули (2.6) та (2.7) - Обидві однакові
113 if (1 - X_max != 0) { // Перевірка ділення на нуль
114     S_max = (S_min * (1 - 2 * D_min / (1 - X_max))) / (1 - X_max);
115     S_opt = S_max; // Оскільки формули ідентичні
116 } else {
117     S_max = 0.0;
118     S_opt = 0.0;
119     std::cout << "Помилка: Ділення на нуль при розрахунку S_max/S_opt (Формули 2.6/2.7)\n";
120 }
121 // --- Виведення результатів ---
122 std::cout << "\n--- Результати розрахунків ---\n";
123 std::cout << "1. Середній тисковий тиск P (Формула 2.1): " << P << "\n";
124 std::cout << "2. Допустима мінімальна товщина настільного шару [h_min] (Формула 2.2): " << h_min << "\n";
125 std::cout << "3. Коефіцієнт Ak (Формула 2.3): " << Ak << "\n";
126 std::cout << "4. Кутлова швидкість валу omega (Формула 2.4): " << omega << "\n";
127 std::cout << "5. Мінімальний граничний зазор [S_min] (Формула 2.5): " << S_min << "\n";
128 std::cout << "6. Максимальний граничний зазор [S_max] (Формула 2.6): " << S_max << "\n";
129 std::cout << "7. Оптиміальний зазор S_opt (Формула 2.7): " << S_opt << "\n";
130 std::cout << "\nРозрахунок завершено.\n";
131 return 0;
132 }
133
134
135
136
137
138
139
140

```

Консольний вивід:

```

--- Дані для формул (2.6) та (2.7) - Максимальний та Оптиміальний зазори ---
Введіть значення D_min: 0.9
Введіть значення X_max: 0.5

--- Результати розрахунків ---
1. Середній тисковий тиск P (Формула 2.1): 0.003906
2. Допустима мінімальна товщина настільного шару [h_min] (Формула 2.2): 11.800000
3. Коефіцієнт Ak (Формула 2.3): 0.776316
4. Кутлова швидкість валу omega (Формула 2.4): 172.787596
5. Мінімальний граничний зазор [S_min] (Формула 2.5): 1.078060
6. Максимальний граничний зазор [S_max] (Формула 2.6): -5.605912
7. Оптиміальний зазор S_opt (Формула 2.7): -5.605912

Розрахунок завершено.

```

Рисунок 2.3 – Результати розрахунків

2.2 Автоматизація розрахунку перехідної посадки

2.2.1 Особливості призначення перехідних посадок

Перехідні посадки застосовуються там, де потрібно надійно зафіксувати деталі, але при цьому зберегти можливість їх відносно легкого розбирання. Вони є ідеальним рішенням для нерухомих роз'ємних з'єднань, особливо якщо ці з'єднання вимагають точного центрування компонентів. При складанні такого з'єднання

може утворитися як незначний зазор, так і невеликий натяг. Це означає, що деталі не будуть вільно рухатися, як у посадках із зазором, але й не вимагатимуть значних зусиль для запресування, як у посадках з натягом.

Хоча перехідні посадки забезпечують достатнє тертя для центрування та фіксації, для передачі значних навантажень вони зазвичай потребують допоміжного кріплення, це використання шпонок або шліцьових з'єднань, де посадка забезпечує точне позиціонування, а шпонка/шліци беруть на себе основне навантаження з передачі крутного моменту.

Для формування полів допусків таких посадок використовуються стандартні основні відхилення, такі як Js (js), K (k), M (m), N (n). Ці відхилення дозволяють точно регулювати співвідношення розмірів вала та отвору для досягнення бажаного характеру з'єднання.

2.2.2 Математичний алгоритм розрахунку перехідних посадок

Максимальний та мінімальний натяги

$$N_{\max} = es - EI, [\text{мм}]; \quad (2.9)$$

$$N_{\min} = ei - ES, [\text{мм}]. \quad (2.10)$$

Середній натяг

$$N_c = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} \cdot [\text{мм}] \quad (2.11)$$

Допуски для отвору та валу

$$TD = ES - EI, [\text{мм}]; \quad (2.12)$$

$$Td = es - ei, [\text{мм}]. \quad (2.13)$$

Середнє квадратичне відхилення натягу (зазору):

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{T_D^2 + T_d^2}, [\text{мкм}] \quad (2.14)$$

Границя інтегрування (при $N = 0$):

$$Z = \frac{N_c}{\sigma_N}, \quad (2.15)$$

Ймовірність отримання натягів і зазорів:

$$P_N' = 0,5 - \Phi(Z); \quad (2.16)$$

$$P_S' = 1 - P_N'. \quad (2.17)$$

Процент з'єднань з натягом:

$$P_N = 100 \cdot P_N' \quad (2.18)$$

Процент з'єднань з зазором:

$$P_S = 100 \cdot P_S' \quad (2.19)$$

Максимальний імовірнісний натяг

$$N_{im} = N_c + 3\sigma_n, [\text{мкм}] \quad (2.20)$$

Максимальний імовірний зазор

$$S_{im} = 3\sigma_n - N_c, [\text{мкм}] \quad (2.21)$$

2.2.3 Аналітичний розрахунок перехідної посадки

Для з'єднання зубчасного колеса 18 яке посаджено на вал 11 за допомогою шпонкового з'єднання (рис.1.1) призначаємо одну з рекомендованих перехідних посадок

$$\varnothing 115 \frac{Js8}{h7}$$

Визначаємо максимальний та мінімальний натяги (ф.2.9-2.10)

$$N_{\max} = 0 - (-0,027) = 0,027 \text{ (мм)};$$

$$N_{\min} = -0,035 - 0,027 = -0,062 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо середній натяг (ф.2.11)

$$N_c = \frac{0,027 + (-0,062)}{2} = -0,0175 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо допуски для отвору та валу (ф.2.12-2.13)

$$TD = 0,027 + 0,027 = 0,054 \text{ (мм)};$$

$$Td = 0 - (-0,035) = 0,035 \text{ (мм)}.$$

Знаходимо середнє квадратичне відхилення натягу (зазору) (ф.2.14)

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{54^2 + 35^2} = 10,72 \text{ (мкм)}.$$

Розраховуємо границю інтегрування (ф.2.15)

$$Z = \frac{-17,5}{10,72} = -1,63 .$$

Визначаємо функцію Лапласа $\Phi(Z)$:

$$\Phi(Z) = 0,4452.$$

Визначаємо ймовірність натягів і зазорів (ф.2.16-2.17)

$$P_N' = 0,5 - 0,4452 = 0,0548 ;$$

$$P_S' = 1 - 0,0548 = 0,9452 .$$

Процент з'єднань з натягом (ф.2.18)

$$P_N = 100 \cdot P_N' = 100 \cdot 0,0548 = 5,4 \% ;$$

Процент з'єднань з зазором (2.19)

$$P_S = 100 \cdot 0,9452 = 94,5\%.$$

Максимальний імовірнісний натяг (ф.2.20)

$$N_{im} = -17,5 + 3 \cdot 10,72 = 14,66 \text{ (мкм)}.$$

Максимальний імовірний зазор (ф.2.21)

$$S_{im} = 3 \cdot 10,72 - (-17,5) = 49,66 \text{ (мкм)}.$$

Розрахунки граничних зазорів та натягів представлено в таблиці 2.3.

Схема розташування полів допусків зображена на рисунку 2.4

Таблиця 2. 3 – Розрахунок граничних зазорів та натягів в перехідній посадці

Позначення	Розрахункові формули	Розрахунки (мм)
Максимальний граничний розмір отвору	$D_{\max} = D + ES$	$D_{\max} = 115 + 0,027 = 115,027$
Мінімальний граничний розмір отвору	$D_{\min} = D + EI$	$D_{\min} = 115 - 0,027 = 114,973$
Максимальний граничний розмір валу	$d_{\max} = d + es$	$d_{\max} = 115 + 0 = 115,0$
Мінімальний граничний розмір валу	$d_{\min} = d + ei$	$d_{\min} = 115 + (-0,035) = 114,965$
Допуск отвору	$TD = D_{\max} - D_{\min}$	$TD = 115,027 - 114,973 = 0,054$
Допуск валу	$Td = d_{\max} - d_{\min}$	$Td = 115 - 114,965 = 0,035$
Максимальний граничний натяг	$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$	$N_{\max} = 115 - 114,973 = 0,027$
Максимальний граничний зазор	$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$	$S_{\max} = 115,027 - 114,965 = 0,062$
Допуск посадки	$TS(N) = N_{\max} + S_{\min}$	$TS(N) = 0,027 + 0,062 = 0,089$

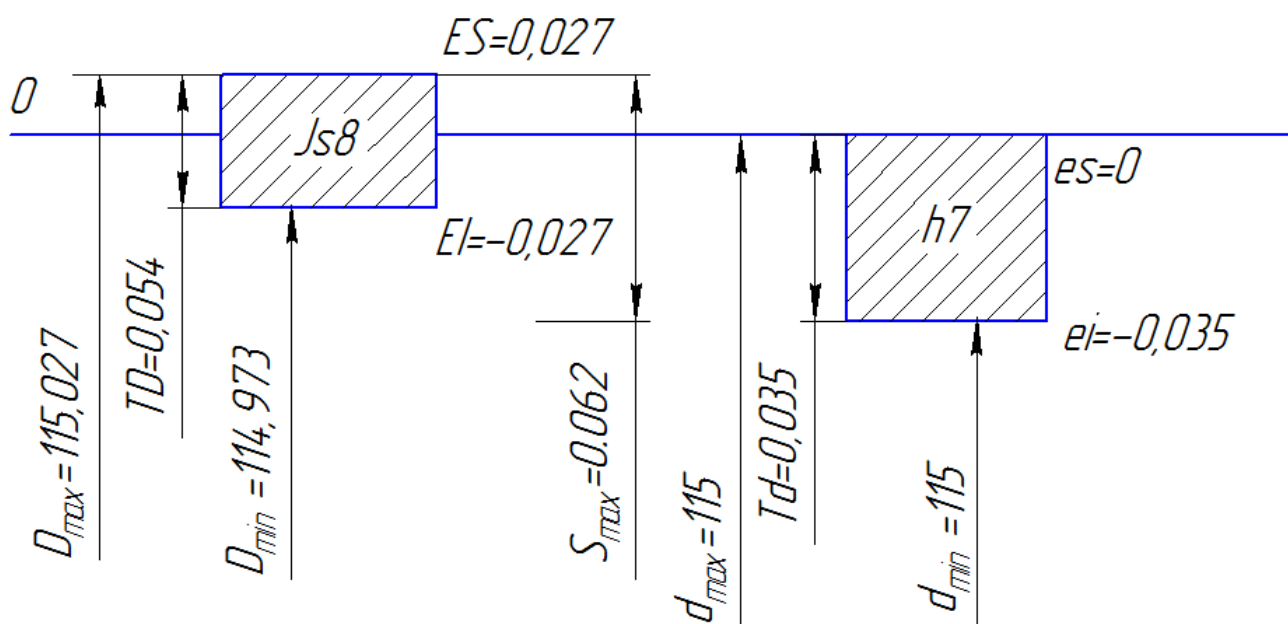


Рисунок 2.4 – Схема розташування полів допусків перехідної посадки

2.2.4 Алгоритм визначення основних характеристик перехідної посадки

Аналіз вхідних даних та результатів розрахунків перехідної посадки для написання коду на мову C++ представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Формули та їх залежності

Параметри	Формула	Залежність	Ідентифікатори для коду
Максимальний та мінімальний натяги	$N_{\max} = es - EI$ $N_{\min} = ei - ES$	es, ei , ES, EI	N_max, N_min, es, ei , ES, EI
Середній натяг	$N_c = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}$	N_max, N_min	N_m
Допуски отвору та валу	$TD = ES - EI$ $Td = es - ei$	es, ei , ES, EI	TD, Td
Середнє квадратичне відхилення натягу (зазору)	$\sigma_N = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{T_D^2 + T_d^2}$	TD, Td	Sigma_N
Границя інтегрування	$Z = \frac{N_c}{\sigma_N}$	N_c, σ_N	Z
Процент з'єднань з натягом, зазором	$P_N' = 0,5 - \Phi(Z)$ $P_S' = 1 - P_N'$	$\Phi(Z)$, P_S'	P_n_percent P_s_percent
Максимальний імовірнісний натяг	$N_{im} = N_c + 3\sigma_n$	N_c	N_im_max
Максимальний імовірний зазор	$S_{im} = 3\sigma_n - N_c$	N_c	S_max

Згідно з аналізом, базовими вхідними змінними є:

- ES (Верхнє відхилення отвору)
- EI (Нижнє відхилення отвору)
- es (Верхнє відхилення валу)
- ei (Нижнє відхилення валу)

Порядок обчислень здійснюємо згідно алгоритму представленому в таблиці

Код програми написаний на мові програмування C++ для визначення ймовірносних зазорів та натягів для перехідної (Додаток Г2).

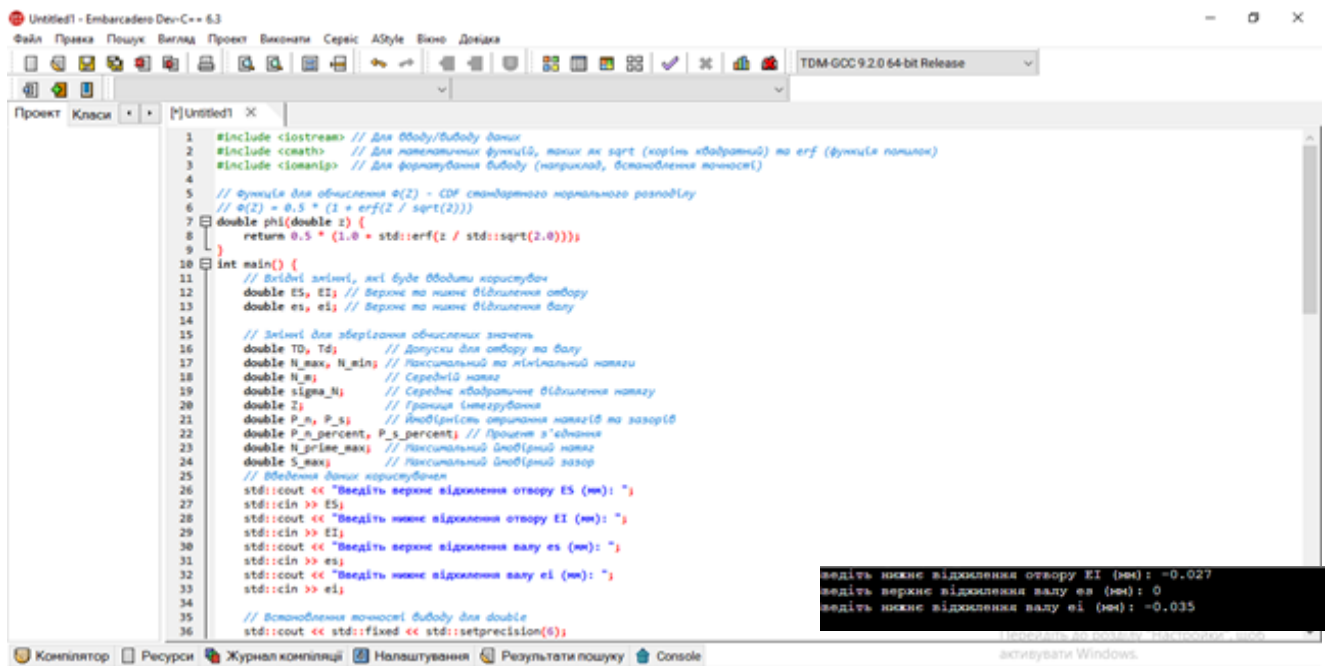


Рисунок 2.5 – Розрахунків основних характеристик перехідної посадки

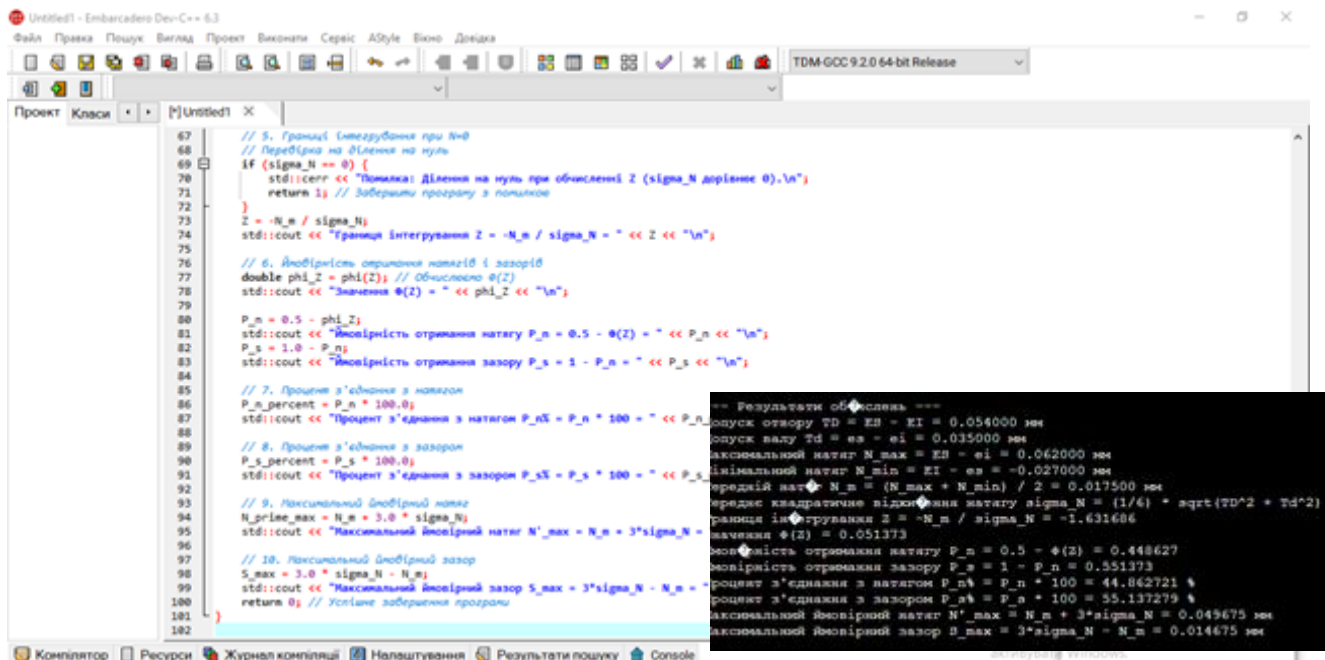


Рисунок 2.6 – Розрахунків основних характеристик перехідної посадки

3 РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ

3.1 Математичний алгоритм розрахунку розмірного ланцюга одного з вузлів

В будь – якій конструкції машини або механізму окремі деталі зв’язані між собою взаємним розміщенням, розмірами та допусками на них. Вказаний зв’язок регламентується розмірними ланцюгами.

Таблиця 3.1 – Основні рівняння розрахунку розмірного ланцюга

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
$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m T_{i36} + \sum_{i=1}^n T_{i3M} = \sum_{i=1}^{m+n} T_i$	
T_{Σ}	допуск замикаючої ланки
T_{i36}	допуск збільшуючих ланок
T_{i3M}	допуск зменшуючих ланок
m	кількість збільшуючих ланок
n	кількість зменшуючих ланок
$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m C_{i36} - \sum_{i=1}^n C_{i3M}$	
C_{Σ}	граничне відхилення замикальної ланки
C_{i36}	граничне відхилення збільшувальної ланки
C_{i3M}	граничне відхилення зменшувальної ланки



3.2 Аналітичний розрахунок розмірного ланцюга

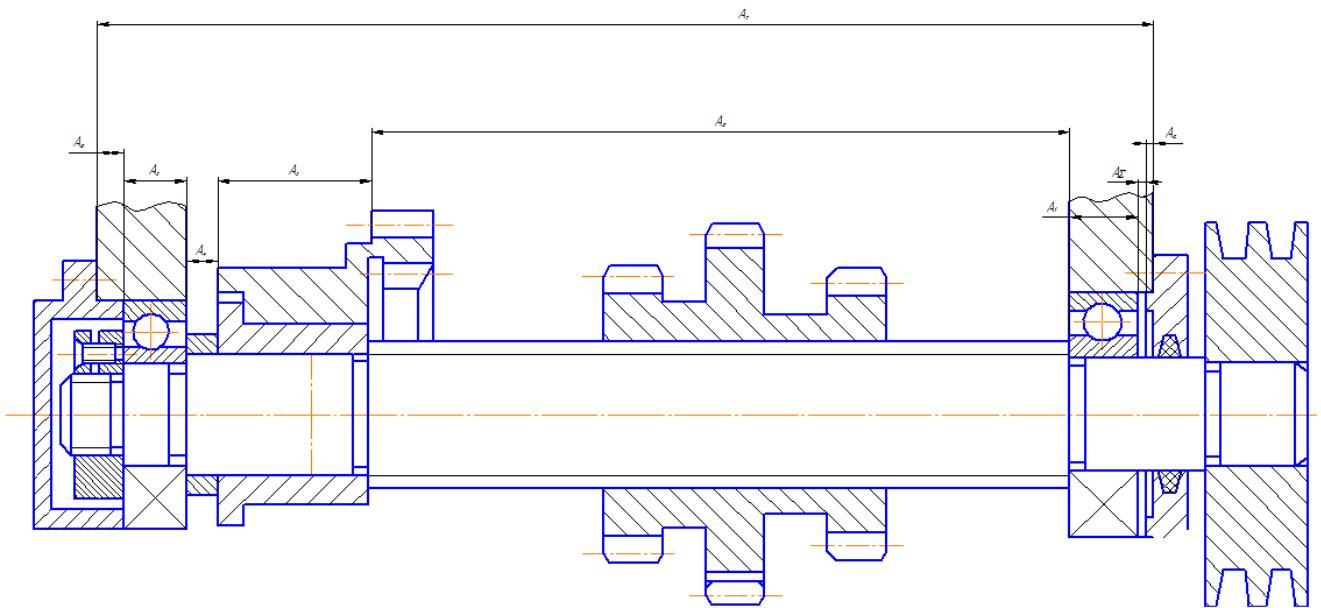


Рисунок 3.1 – Вузол механізму

Розрахунок розмірного ланцюга методом максимуму – мінімуму. Під час розрахунку перевіряємо виконання трьох основних рівнянь розмірного ланцюга

Аналіз конструкції показує, що вихідною ланкою є осьовий зазор, який залежить від розмірів буртиків $A_1, A_2, A_3, A_5, A_6, A_7$ втулок 14, та розмірів A_8 і A_4 . Задаємо напрямлення обходу по контуру і визначаємо зменшуючі та збільшуючі ланки:

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$ – зменшуючі ланки, A_9, A_{10}, A_{11} – збільшуючі ланки.

Згідно з заданими технічними умовами $ES = 0,15$ мм, $EI = -0,2$ мм, можна записати $A_{\Sigma} = 0,5^{+0,15}_{-0,2}$, тобто номінальне значення вихідної ланки $A_{\Sigma} = 0,15$. Допуск на розмір вихідної ланки дорівнює

$$T_{\Sigma} = 0,15 + 0,2 = 0,35 \text{ мм.}$$

Складаємо рівняння розмірного ланцюга:

$$A_{\Sigma} + (-A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_8) + A_7 = 0$$

Із конструктивних міркувань прийнято, що

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 41 \text{ мм}; & A_2 &= 435 \text{ мм}; \\
 A_3 &= 97 \text{ мм}; & A_4 &= 22 \text{ мм}; \\
 A_5 &= 38 \text{ мм}; & A_6 &= 17 \text{ мм}; \\
 A_7 &= 655 \text{ мм}; & A_8 &= 4 \text{ мм};
 \end{aligned}$$

Підставляємо прийняті значення розмірів в основне рівняння і дістанемо:

$$0,5 + (-41 - 435 - 97 - 22 - 38 - 17 - 4) + 655 = 0$$

Отже вимога основного рівняння виконана.

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

Визначаємо число одиниць допуску

$$a = \frac{T_{\Sigma}}{\Sigma T_i} = \frac{350}{1,56 + 3,22 + 2,17 + 1,31 + 1,56 + 1,08 + 6,44 + 0,73} = 19,4.$$

По табл. 2 [4] вибираємо найближче менше число одиниць допуску $a = 16$, що відповідає $IT = 7$.

По стандарту СТ РЕВ 144-75 призначаємо допуски на всі складові розміри по 7 квалітету

$$\begin{aligned}
 T_{A1} &= 10 \text{ мкм}; & T_{A2} &= 63 \text{ мкм}; & T_{A3} &= 35 \text{ мкм}; \\
 T_{A4} &= 21 \text{ мкм}; & T_{A5} &= 25 \text{ мкм}; & T_{A6} &= 18 \text{ мкм}; \\
 T_{A7} &= 80 \text{ мкм}; & T_{A8} &= 12 \text{ мкм};
 \end{aligned}$$

Перевіряємо правильність призначення допусків за формулою:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{m+n} T_i &\leq T_{\Sigma} \\
 (10 + 63 + 35 + 21 + 25 + 18 + 80 + 12) &< 350. \\
 264 &< 350.
 \end{aligned}$$

Отже умова виконується.

Згідно з рекомендаціями [2] призначаємо відхилення на всі складові розміри. Зокрема, на розмір A_4 , як на ступінчастий, відхилення буде симетричним, а всі інші розміри, як на основний вал, тобто в “мінус”, тоді:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 41_{-0.010}; & A_2 &= 435_{-0.063}; \\
 A_3 &= 97_{-0.035}; & A_4 &= 22_{-0.021}; \\
 A_5 &= 38_{-0.025}; & A_6 &= 17_{-0.018}; \\
 A_7 &= 665_{-0.080}; & A_8 &= 4_{-0.012};
 \end{aligned}$$

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

$$\Delta_c = \frac{\Delta S + \Delta I}{2}$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків основних рівнянь

Номінальні розміри,	Допуски	Середні відхилення
$A = 0, 5 \text{ мм}$	$T = 0,35 \text{ мм}$	$\Delta c_{\Sigma} = \frac{0,15 - 0,2}{2} = -0,025 \text{ мм}$
$A_1 = 41 \text{ мм}$	$T_1 = 0,010 \text{ мм}$	$\Delta c_1 = \frac{0 - 0,010}{2} = -0,005 \text{ мм}$
$A_2 = 435 \text{ мм}$	$T_2 = 0,063 \text{ мм}$	$\Delta c_2 = \frac{0 - 0,063}{2} = -0,031 \text{ мм}$
$A_3 = 97 \text{ мм}$	$T_3 = 0,035 \text{ мм}$	$\Delta c_3 = \frac{0 - 0,035}{2} = -0,017 \text{ мм}$
$A_4 = 22 \text{ мм}$	$T_4 = 0,021 \text{ мм}$	$\Delta c_4 = \frac{0 - 0,021}{2} = -0,010 \text{ мм}$
$A_5 = 38 \text{ мм}$	$T_5 = 0,025 \text{ мм}$	$\Delta c_5 = \frac{0 - 0,025}{2} = -0,012 \text{ мм};$
$A_6 = 17 \text{ мм}$	$T_6 = 0,018 \text{ мм}$	$\Delta c_6 = \frac{0 - 0,018}{2} = -0,009 \text{ мм}$
$A_7 = 665 \text{ мм}$	$T_7 = 0,080 \text{ мм}$	$\Delta c_7 = \frac{0 - 0,080}{2} = -0,04 \text{ мм}$
$A_8 = 4 \text{ мм}$	$T_8 = 0,012 \text{ мм}$	$\Delta c_8 = \frac{0 - 0,012}{2} = -0,006 \text{ мм}$

Перевіряємо правильність призначення відхилень за формулою:

$$\Delta_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta_{c36} - \sum_{i=1}^n \Delta_{c3M}$$

$$-0,025 = -0,006 - (-0,005 - 0,031 - 0,017 - 0,0170 - 0,012 - 0,009 - 0,04 - 0,006);$$

$$-0,025 \neq 0,124.$$

Отже умова не виконується і тому доцільно ввести “залежну” ланку.

Нехай “залежною” ланкою буде розмір втулки, тобто A_3 . Тоді зберігаємо прийняті вище відхилення для всіх ланок крім ланки A_3 . Враховуючи, що ланка A_3 – зменшуюча, її середнє відхилення визначимо по формулі :

$$\Delta_{cx3M} = \sum_{i=1}^m \Delta_{c36} - \sum_{i=1}^n \Delta_{c3M} - \Delta_{c\Sigma}$$

$$\Delta Cx_{3M} = \Delta C_8 = -0,025 - (-0,005 - 0,031 - 0,017 - 0,010 - 0,012 - 0,009 - 0,04) + 0,006$$

$$\Delta Cx_{3M} = \Delta C_8 = 0,069.$$

Граничні відхилення залежної ланки визначаються за формулами:

$$\Delta S_{x3M} = \Delta c_{x3M} + \frac{1}{2} T_X = \Delta c_8 + \frac{1}{2} T_{A8} = 0,069 + 0,006 = 0,075;$$

$$\Delta I_{x36} = \Delta c_{x3M} - \frac{1}{2} T_X = \Delta c_3 - \frac{1}{2} T_{A3} = 0,069 - 0,006 = 0,063.$$

Таким чином можна записати, що

$$A_8 = 4^{+0,075}_{+0,063}.$$

Перевіримо ще раз правильність призначення відхилень за формулою:

$$\Delta_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta_{c36} - \sum_{i=1}^n \Delta_{c3M}$$

$$-0,025 = -0,006 - (-0,005 - 0,031 + 0,017 - 0,010 - 0,012 - 0,009 - 0,04 - 0,0069)$$

$$-0,025 = -0,025.$$

Таким чином, виконані розрахунки дозволили уточнити номінальні значення всіх розмірів, які входять у розмірний ланцюг, і обґрунтовано призначити на них допуски та граничні відхилення.

3.3 Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга

Програма призначена для пошуку "значення допуску" (tolerance value) на основі двох вхідних даних: "розміру" (size) та "квалітету" (grade). Вона використовує заздалегідь визначену таблицю даних.

Код програми складається з трьох основних частин:

- Включення бібліотек: Підключення необхідних стандартних бібліотек C++.
- Допоміжні функції: Дві функції (`findSizeIndex` та `findGradeIndex`), які виконують логіку пошуку індексів у відповідних списках (пошук індексу рядка за розміром, та пошук індексу стовпця за квалітетом)
- Головна функція `main`: Основна функція, де відбувається ініціалізація даних, взаємодія з користувачем, виклик допоміжних функцій та виведення результату.
- Ініціалізація даних
- Введення даних від користувача
- Виклик допоміжних функцій
- Обробка результатів та виведення

```

31 }
32 }
33 return -1; // об'єкт не знайдено
34 }
35
36 int main() {
37     // Визначено список розмірів (Розміри) з таблиці Excel
38     std::vector<int> sizes = {6, 10, 18, 30, 50, 80, 120, 180, 250, 315, 400};
39
40     // Визначено список квалітетів (Квалітети) з таблиці Excel
41     std::vector<int> grades = {5, 6, 7, 8, 9, 10, 11};
42
43     // Визначено таблицю значень допуску (Значення допуску)
44     // Рядки відповідають розмірам, стовпці - квалітетам
45     std::vector<std::vector<int>> tolerances = {
46         {5, 6, 7, 8, 9, 10, 11}, // Для Розміру 6
47         {5, 8, 12, 18, 30, 48, 75}, // Для Розміру 10
48         {6, 9, 15, 22, 36, 58, 90}, // Для Розміру 18
49         {8, 11, 18, 27, 43, 70, 110}, // Для Розміру 30
50         {11, 16, 25, 39, 62, 100, 160}, // Для Розміру 50
51         {13, 19, 30, 46, 74, 120, 190}, // Для Розміру 80
52         {15, 22, 35, 54, 87, 140, 220}, // Для Розміру 120
53         {18, 25, 40, 63, 100, 160, 250}, // Для Розміру 180
54         {20, 29, 46, 72, 115, 185, 290}, // Для Розміру 250
55         {23, 32, 52, 81, 130, 210, 320}, // Для Розміру 315
56         {25, 36, 57, 89, 140, 230, 360} // Для Розміру 400
57     };
58
59     int inputSize; // Змінна для введення розміру користувачем
60     int inputGrade; // Змінна для введення квалітету користувачем
61
62     // Запит розміру у користувача
63     std::cout << "Введіть розмір: ";
64     std::cin >> inputSize;
65
66     // Запит квалітету у користувача
67     std::cout << "Введіть квалітет: ";
68     std::cin >> inputGrade;
69
70     // Виведення значення допуску
71     int tolerance = findTolerance(inputSize, inputGrade);
72     std::cout << "Значення допуску: " << tolerance << endl;
73
74     return 0;
75 }

```

Рисунок 3.2 – Розрахунок розмірного ланцюга у програмі C++

4 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ "ВАЛ"

4.1 Аналіз конструкції та технологічності деталі

Якісний аналіз.

Деталь «Вал» є деталлю редуктора та слугує ланкою для передачі крутного моменту. Базується деталь в редукторі по поверхнях $\varnothing 70\text{мб}$. Суміжні деталі базуються по поверхні $\varnothing 56\text{сб}$. Допоміжними поверхнями, якими деталь спрягається із суміжними деталями є шліцьова поверхня $\varnothing 102\text{е8}$.

Деталь виготовляється з конструкційної сталі 30Х ГОСТ 4543-71. За своєю формою, конструкції та технологічним ознакам деталь відноситься до класу «Валів».

Кількісний аналіз.

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.

$$K_y = 23/35 = 0,657.$$

Оскільки виконується умова $K_y \geq 0,6$ ($0,657 \geq 0,6$) деталь відноситься до технологічних.

- коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{1}{3,149} = 0,317.$$

Середній клас шорсткості складає:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{0,8 \cdot 4 + 2,5 \cdot 2 + 3,2 \cdot 21}{26} = 3,149$$

Таблиця 4.1 – Загальна кількість конструктивних елементів

Лінійний розмір	504	468	434	334	105	45	14d10	10,5	6,2
Уніфікований розмір	-	-	-	-	+	+	+	+	-
Лінійний розмір	5	5	5	5	5	5	0,5		
Уніфікований розмір	+	+	+	+	+	+	+		
Діаметральний розмір	Ø102e8	Ø92	Ø80c8	Ø79	Ø70m6 2 пов.	Ø69 2 пов.	M33	Ø28	R1,6
Уніфікований розмір	-	-	+	-	+	-	-	+	+
Діаметральний розмір	R1,6	R1,6	R1,6	R1	R0,5	R0,5	R0,5	R0,5	
Уніфікований розмір	+	+	+	-	+	+	+	+	
Кількість лінійних розмірів 16					Кількість уніфікованих розмірів 11				
Кількість діаметральних розмірів 19					Кількість уніфікованих розмірів 12				

Таблиця 4.2 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
0,8	4	$0,8 \cdot 4 = 3,2$
2,5	1	$2,5 \cdot 1 = 2,5$
3,2	21	$3,2 \cdot 21 = 67,2$
Всього:	26	72,9

Деталь технологічна по коефіцієнту шорсткості, тому що виконується перевірка $0,317 < 0,32$ ($K_{ш} < 0,32$).

- коефіцієнт точності

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{13} = 0,923.$$

де T_{cp} – середній квалітет точності

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 21}{26} = 13.$$

Таблиця 4.3 – Квалітети точності поверхонь деталі

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
6	3	6·3=18
8	2	8·2=16
10	1	10·1=10
14	21	14·21=294
Всього	26	338

Деталь технологічна по коефіцієнту точності, тому що виконується умова $0,923 > 0,8$ ($K_T > 0,8$).

Оскільки виконуються всі умови, то деталь технологічна.

4.2. Розрахунок розмірів заготовки

Дана деталь – Вал-шестерня випускається в умовах дрібносерійного виробництва, оскільки маса деталі 21,01 кг, а програма випуску $N = 1100$ шт.

Матеріал деталі - сталь 30ХН: легована конструкційна сталь. Сталь 30Х 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 30Х – М1.

Визначаємо ступінь складності поковки. Визначаємо масу найменшої простої геометричної фігури, яка описує деталь. Всі габаритні розміри деталі збільшуємо на коефіцієнт $K=1,1$, відповідно $D = 102 \cdot 1,1 = 112,2$ мм, $L = 504 \cdot 1,1 = 554,4$ мм.

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

$$G_{\phi} = \frac{3,14}{4} \cdot (112,2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 554,4 \cdot 10^{-3} \cdot 7820 = 42,843 \text{ (кг)},$$

$$G_{\Pi} = G_{\phi} \cdot K_p = 42,843 \cdot 1,4 = 59,98 \text{ (кг)},$$

де K_p – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі [1].

$$C = \frac{G_n}{G_{\phi}} = \frac{29,414}{42,843} = 0,686.$$

Враховуючи те, що значення коефіцієнта $C > 0,63$, тому призначаємо ступінь складності $C1$ [1].

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

Визначаємо вихідний індекс для маси поковки ($50 \text{ кг} > G_{\Pi} = 59,98 \text{ кг}$), марки сталі (сталь 30Х), ступеня складності та класу точності поковки. Отже для штамповка на ГKM – 14.

Проведемо розрахунок розмірів заготовки

Для розміру $\varnothing 102$:

$$102 + 2,3 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 107,9 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 80$:

$$80 + 2,0 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 85,3 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 70$:

$$70 + 2,2 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 75,7 \text{ (мм)};$$

Для розміру $\varnothing 56$:

$$56 + 2,0 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 61,3 \text{ (мм)};$$

Для розміру М33:

$$33 + 1,8 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 37,9 \text{ (мм)};$$

Таблиця 4.4 – Вихідні дані штампування на ГKM

Вхідні дані	штамповка на ГKM											
Клас точності	Т4											
Марка матеріалу	М2											
Ступінь складності	С2											
Індекс	15											
Конфігурація поверхні роз'єму штампа	П											
	Розрахункові розміри, мм											
Припуски:	Ø102	Ø80	Ø70	Ø56	Ø33	504	468	434	334	105	45	
Основні	2,3	2,0	2,2	2,0	1,8	3,0	3,0	3,0	2,7	2,3	2,0	
Додаткові: на зміщення по поверхні роз'єму штампа	0,5											
для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності	0,8											
	Розміри заготовок, мм											
	Ø107,9	Ø85,3	Ø75,7	Ø61,3	Ø37,9	511,3	475,3	441,3	341	104,4	44,7	
Допуски: розмірів	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	2,5 ^{+1,6} _{-0,9}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	4,5 ^{+3,0} _{-1,5}	4,0 ^{+2,7} _{-1,3}	3,2 ^{+2,1} _{-1,1}	2,8 ^{+1,8} _{-1,0}	
зміщення по поверхні роз'єму штампа	1,0											
величина замкнутого облою	1,2											
висоти заусенцю	5 мм											
від концентричності отворів	-											
по вигнутості від площин. і прямолін. радіусів заокруглень	1,6											

Для розміру 504:

$$504 + 3,0 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 511,3(\text{мм});$$

Для розміру 468:

$$468 + 3,0 \cdot 2 + 0,5 + 0,8 = 475,3(\text{мм});$$

Для розміру 434:

$$434 + 3,0 + 3,0 + 0,5 + 0,8 = 441,3(\text{мм});$$

Для розміру 334:

$$334 + 3,0 + 2,7 + 0,5 + 0,8 = 341(\text{мм});$$

Для розміру 105:

$$105 + 3,0 - 2,3 - 0,5 - 0,8 = 104,4(\text{мм});$$

Для розміру 45:

$$45 + 3,0 - 2,0 - 0,5 - 0,8 = 44,7(\text{мм}).$$

Технічні вимоги для штампування на ГKM:

1. Клас точності – Т4, група сталі – М1, ступінь складності – С1.
2. Невказані штампувальні нахили 2^0 , радіуси 3 мм.
3. Допустимі зміщення по площині роз'єму 1,0.
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 $\varnothing 102$ мм та довжина 504 мм.

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

Припуски на обробку поверхонь заготовки із прокату [2]:

1. Точити однократно $\varnothing 105$ припуск 1,5 мм;
2. Підрізати торці по розміру 504 припуск 1,5 мм.

$$102 + 1,5 \cdot 2 = 105(\text{мм}),$$

$$504 + 1,5 \cdot 2 = 507(\text{мм}).$$

Підбираємо круглий прокат, який би мав такі параметри: зовнішній діаметр – від 105 мм і більше; довжина заготовки від 507 мм і більше.

Приймаємо сортовий прокат – Круг $\frac{\text{В - 105 ГОСТ7417 - 75}}{30\text{X ГОСТ4543 - 71}}$.

Вибираємо стандартний сортовий круглий прокат $\varnothing 105$ мм та довжиною штучної заготовки 507 мм.

4.2.2 Оформлення ескізів двох варіантів заготовки

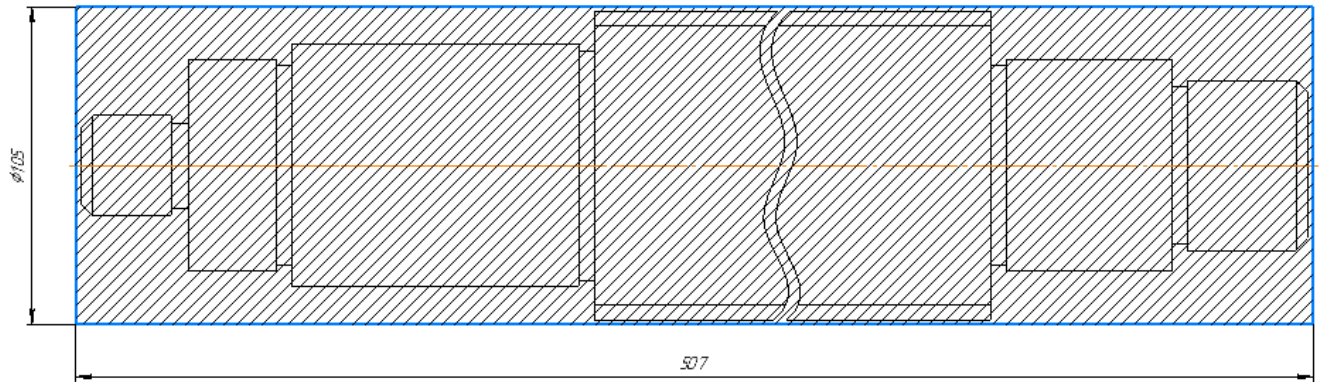


Рисунок 4.1 – Ескіз заготовки виготовленої з прокату

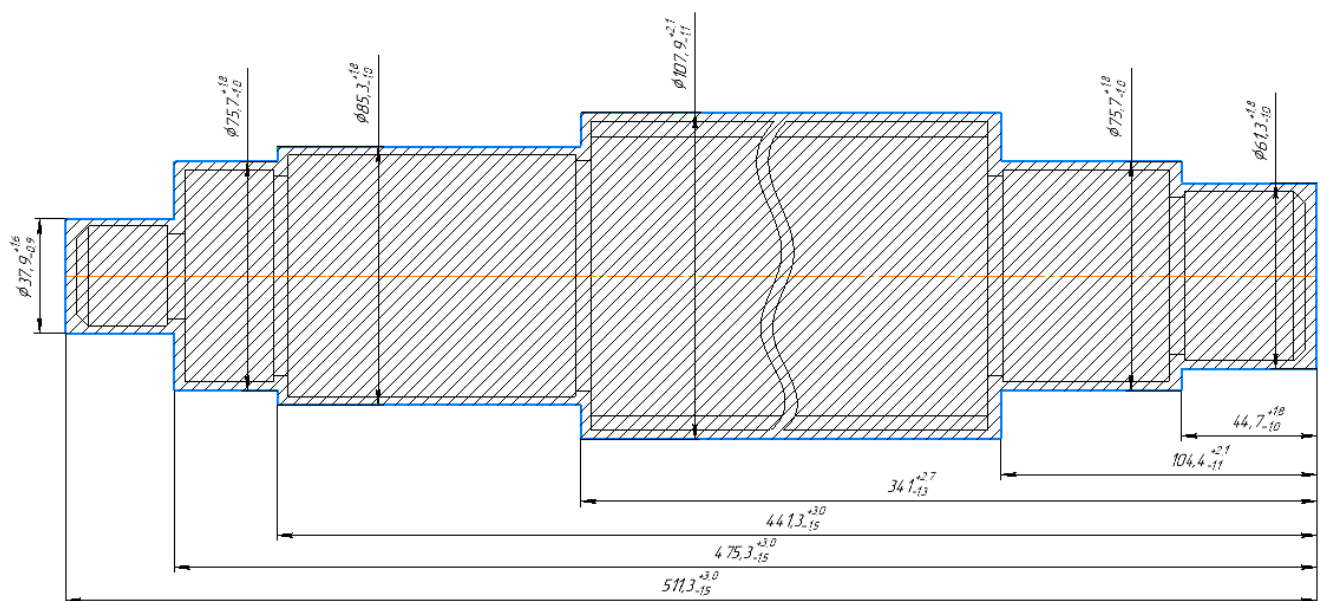


Рисунок 4.2 – Ескіз заготовки виготовленої на ГKM

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 30Х ГОСТ 4543-71
----------	------------------------

Густина $\rho = 0.007820 \text{ г/мм}^3$

Maca $M = 26147 \text{ г}$

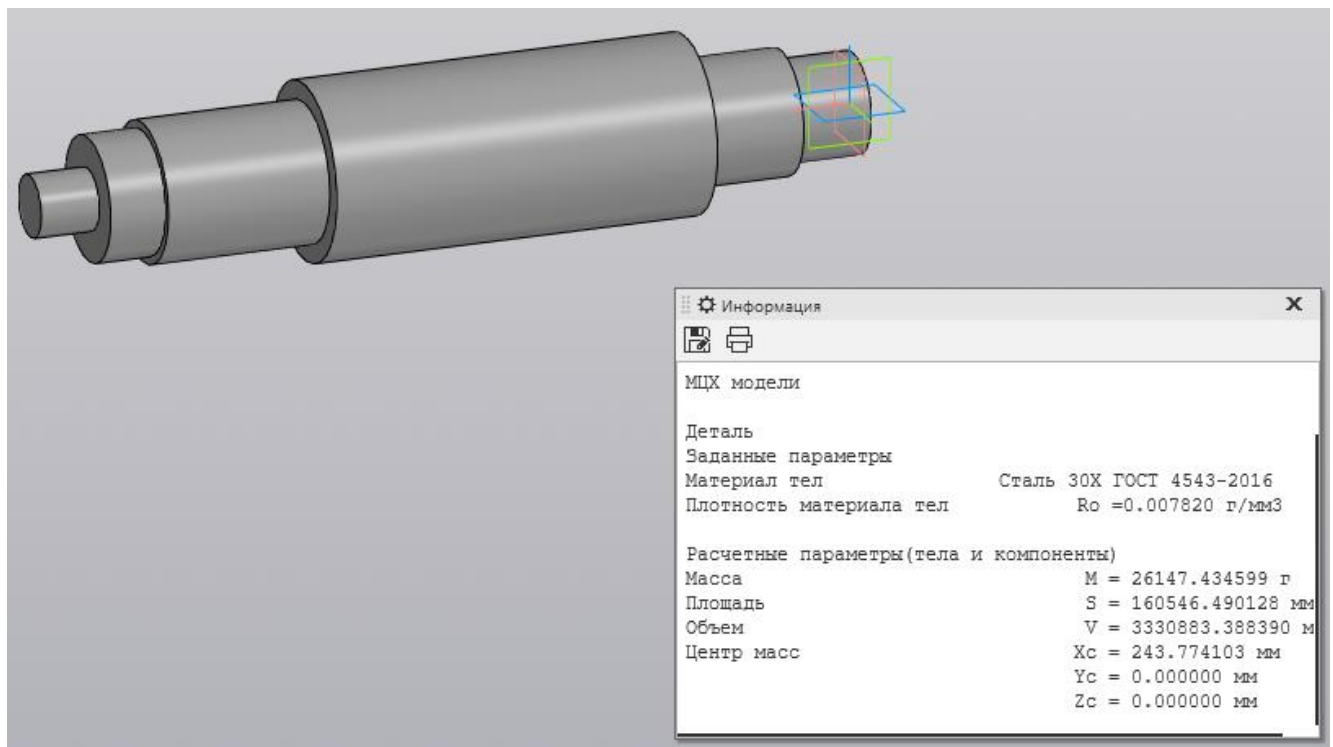


Рисунок 4.3 – 3D модель заготовки виготовленої на ГKM

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки виготовленої на ГKM:

$$M = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} = 21,01 / 26,147 = 0,804.$$

Для заготовки виготовленої з прокату

Матеріал Сталь 30X ГОСТ 4543-71

Густина Ro = 0.007820 г/мм³

Маса M = 34462 г

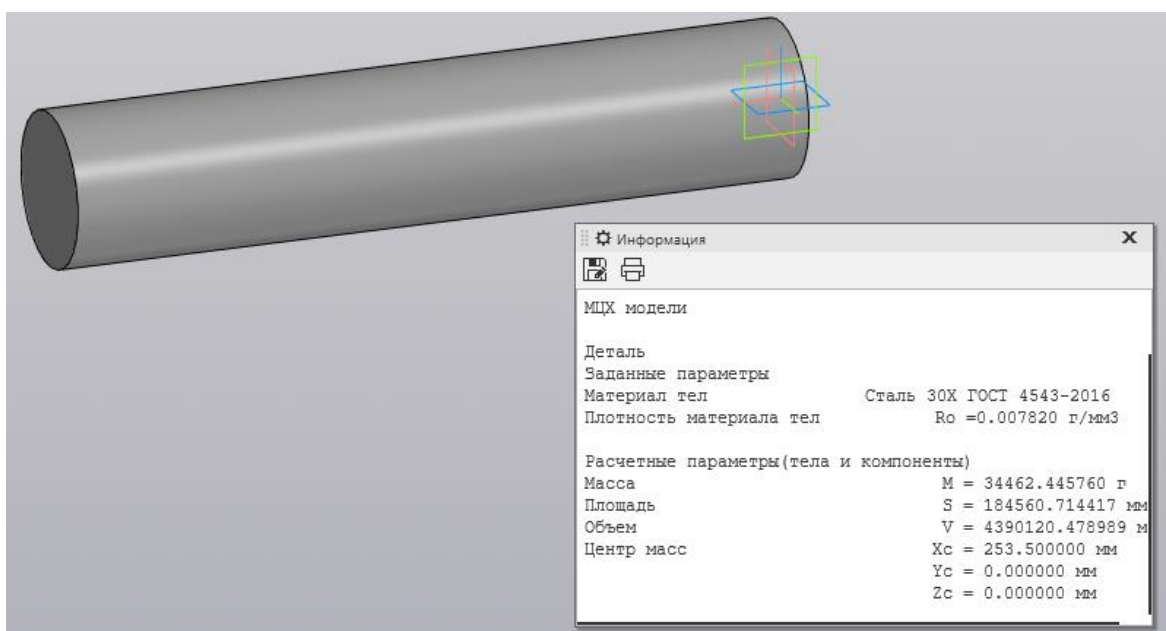


Рисунок 4.4 – 3D модель заготовки виготовленої з прокату

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки виготовленої з прокату:

$$M = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}} = 21,01 / 34,462 = 0,609.$$

4.2.4 Техніко-економічне порівняння двох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{\text{заг.}} = \left(\frac{G_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{шт}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг.}} - G_{\text{дет.}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх}} [\text{грн.}], \quad (4.3)$$

де $C_{\text{шт}}$ – базова вартість 1 т штамповки;

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок;

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

K_B – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, вибираємо згідно;

K_{Π} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т. стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 6000$.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$, $K_M = 1$, $K_C = 1$, $K_B = 1,14$, $K_{\Pi} = 1,0$, $C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т. стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 5900$ грн.

Для штампування на ГKM:

$$C_{\text{заг.шт}} = \left(\frac{26,147 \cdot 57000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1}{1000} \right) - \left(\frac{26,147 - 21,01}{1000} \right) \cdot 5900 = 1668,72 \text{ (грн.)}$$

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 $C_M = 57000$ грн./т – вартість матеріалу заготовки;

$\sum C_{\text{з.о.}}$ - 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

$$T_0 = 0,37 \cdot D^2 \cdot 10^{-3} = 0,37 \cdot 105^2 \cdot 10^{-3} = 4,079 \text{ (хв.)},$$

$$\varphi_k = 1,72$$

$$T_{\text{шт-к}} = T_0 \cdot \varphi_k = 4,079 \cdot 1,72 = 7,016 \text{ (хв.)}.$$

Тоді

$$C_{\text{оз}} = \frac{27,8 \cdot 7,016}{60} = 3,25 \text{ (грн.)}.$$

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

$$C_{\text{пр}} = \frac{34,462}{1000} \cdot 46000 - \left(\frac{34,462 - 21,01}{1000} \right) \cdot 5900 = 1505,88 \text{ (грн.)},$$

$$C_{\text{заг.пр}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{оз}} = 1505,88 + 3,28 = 1509,16 \text{ (грн.)}.$$

Отже, при виготовленні заготовки з допомогою штампування на ГKM собівартість заготовки вище ніж собівартість при виготовленні заготовки з прокату. Тому доцільнішим буде використовувати метод отримання заготовки – прокат.

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 $\varnothing 56s6^{(+0,072)}_{(+0,053)}$ визначимо кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні. Розраховуємо загальне уточнення: допуск заготовки складає 1900 мкм, допуск деталі – 19 мкм. Отже:

$$\varepsilon = 1,9 / 0,019 = 100.$$

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:

$$T_1 = T_3 / \varepsilon_1 = 1,9 / 6 = 0,317 \text{ (мм)};$$

$$T_2 = T_1 / \varepsilon_2 = 0,317 / 4 = 0,079 \text{ (мм)};$$

$$T_3 = T_2 / \varepsilon_3 = 0,079 / 2,5 = 0,032 \text{ (мм)};$$

$$T_4 = T_3 / \varepsilon_4 = 0,032 / 1,67 = 0,019 \text{ (мм)}.$$

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. 2.5).

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
Ø56s6	100	$\varepsilon = 6 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,67$	12 9 7 6	Точіння попереднє Точіння попереднє Точіння остаточне Шліфування
Ø70m6	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:

$\varepsilon_{6468}=0$, $\varepsilon_{6434}=0$, $\varepsilon_{6334}=0$, $\varepsilon_{6105}=0$, $\varepsilon_{645}=0$ – виконується принцип суміщення баз;

$\varepsilon_{66,2}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{65}=0$, $\varepsilon_{64x45}=0$ – обробка поверхонь за один установ;

$\varepsilon_{\phi 56s6}=0$, $\varepsilon_{\phi 70m6}=0$, $\varepsilon_{\phi 80c8}=0$, $\varepsilon_{\phi 92}=0$, $\varepsilon_{\phi 102e8}=0$, $\varepsilon_{M33}=0$ – діаметральний розмір;

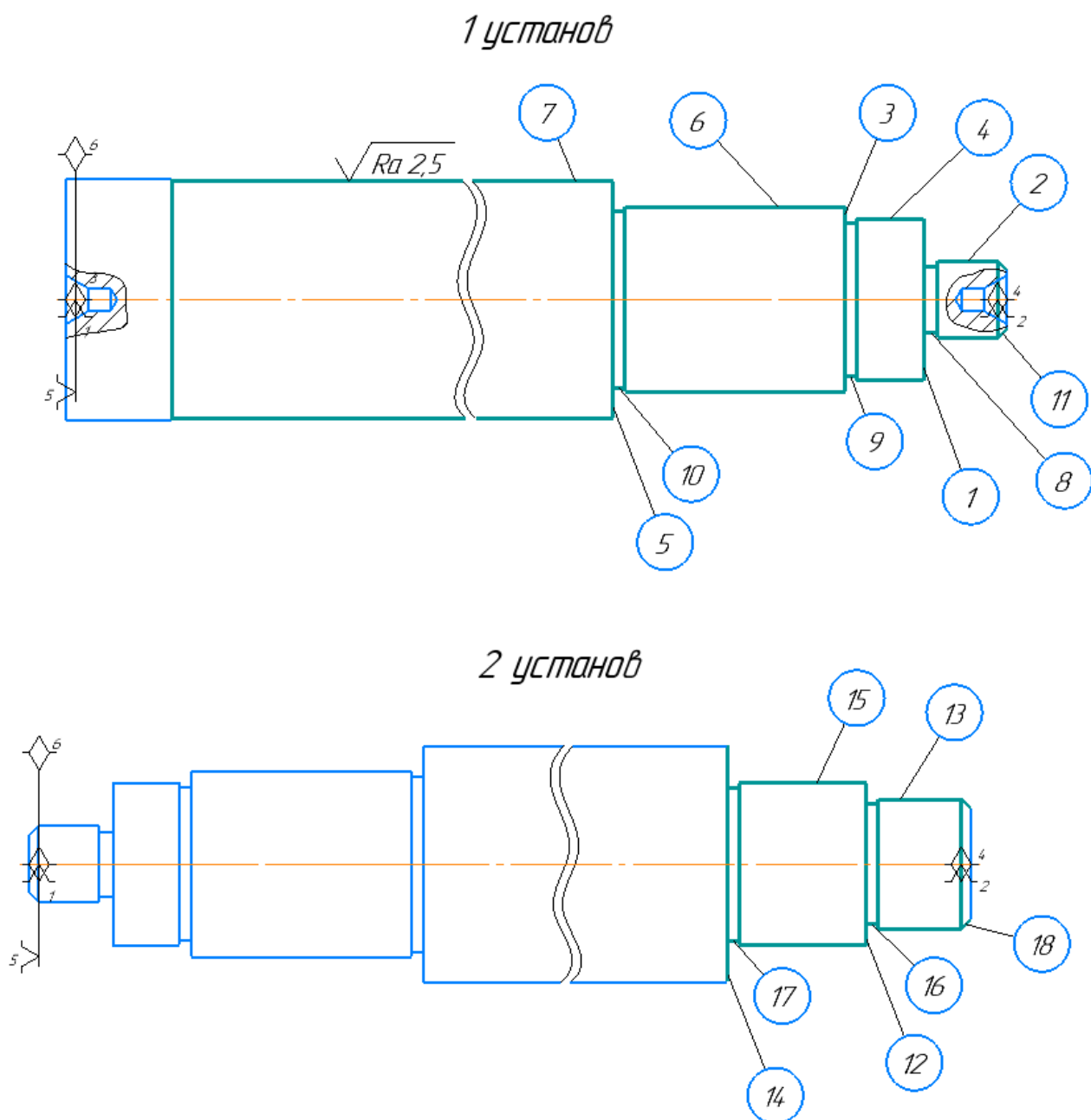


Рисунок 4.5 – Чистові технологічні бази (операція 010)

На 015 операції похибка базування на розміри, що обробляються - відсутня:

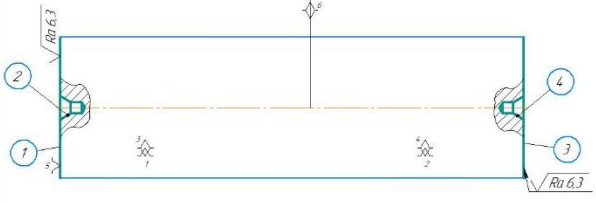
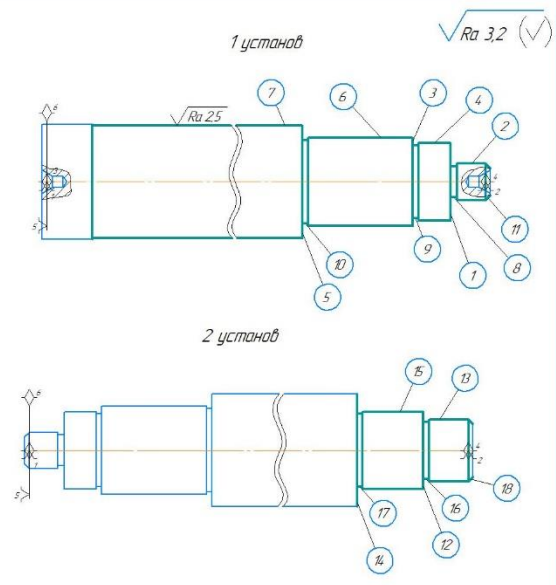
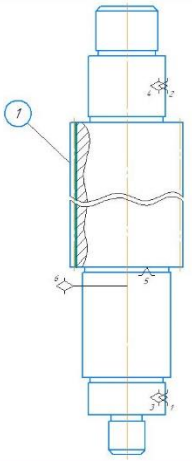
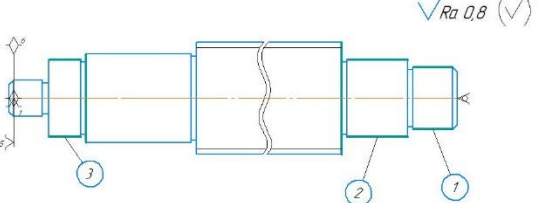
$\varepsilon_{612}=0$ – виконується принцип суміщення баз;

$\varepsilon_{640}=0$ – обробка поверхонь за один установ.

На 020 операції $\varepsilon_{\phi 70m6}=0$, $\varepsilon_{\phi 56s6}=0$ – діаметральний розмір.

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

Таблиця 4.6 – Маршрут механічної обробки деталі Вал

№ 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		Фрезерно-центрувальний верстат МР-71
010	<u>Точарна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити Установ 1 2. Точити пов. 2, 4, 6, 7 та пов. 1, 3, 5 однократно. 3. Точити пов. 4, 6 та 7 попередньо. 4. Точити фаску 11 однократно. 5. Точити канавку 8 однократно. 6. Точити канавку 9 та 10 однократно. 7. Точити різь на пов. 2. 8. Точити пов. 4, 6 та 7 остаточно. Установ 2 9. Точити пов. 13, 15 та пов. 12, 14 однократно. 10. Точити пов. 13 та 15 попередньо. 11. Точити фаску 18 однократно. 12. Точити канавку 16 та 17 однократно. 13. Точити пов. 13 та 15 остаточно. 14. Зняти заготовку.		Точарний верстат з ЧПК 16K211
020	<u>Зубофрезерна</u> 1. Встановити заготовку, закріпити 2. Фрезерувати зубці на поверхні 1 в розмір згідно ескізу. 3. Зняти заготовку		Зубофрезерний верстат 53480
025	<u>Кругло-шліфувальна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Шліфувати пов. 1, 2 та 3 однократно 3. Зняти заготовку		Кругло-шліфувальний ЗК1518Ф20

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 [3], для відповідного розміру за відповідним квалітетом, всі поверхні деталі, що розглядаються, мають 14 квалітет, а заготовка виконується 15 квалітету.

Відповідно:

$$\begin{aligned} T(Z_1) &= 2,8 \text{ (мм)}; & T(B_1) &= 2,3 \text{ (мм)}; & T(B_2) &= 2,0 \text{ (мм)}; & T(B_3) &= 2,0 \text{ (мм)}; \\ T(B_4) &= 1,5 \text{ (мм)}; & T(B_5) &= 2,0 \text{ (мм)}; & T(B_6) &= 1,5 \text{ (мм)}; & T(B_7) &= 1,8 \text{ (мм)}; \\ T(B_8) &= 1,4 \text{ (мм)}; & T(B_9) &= 1,2 \text{ (мм)}; & T(B_{10}) &= 0,8 \text{ (мм)}; & T(B_{11}) &= 0,62 \text{ (мм)}; \\ T(B_{12}) &= 1,0 \text{ (мм)}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} K_{1\max} &= 504 \text{ мм}, K_{1\min} = 502,25 \text{ (мм)}; & K_{2\max} &= 468 \text{ мм}, K_{2\min} = 466,45 \text{ (мм)}; \\ K_{3\max} &= 434 \text{ мм}, K_{3\min} = 432,45 \text{ (мм)}; & K_{4\max} &= 334 \text{ мм}, K_{4\min} = 332,6 \text{ (мм)}; \\ K_{5\max} &= 105,435 \text{ мм}, K_{5\min} = 104,565 \text{ (мм)}; & K_{5\max} &= 45,31 \text{ мм}, K_{5\min} = 44,69 \text{ (мм)}. \end{aligned}$$

4.3.4.3 Розмірна схема технологічного процесу

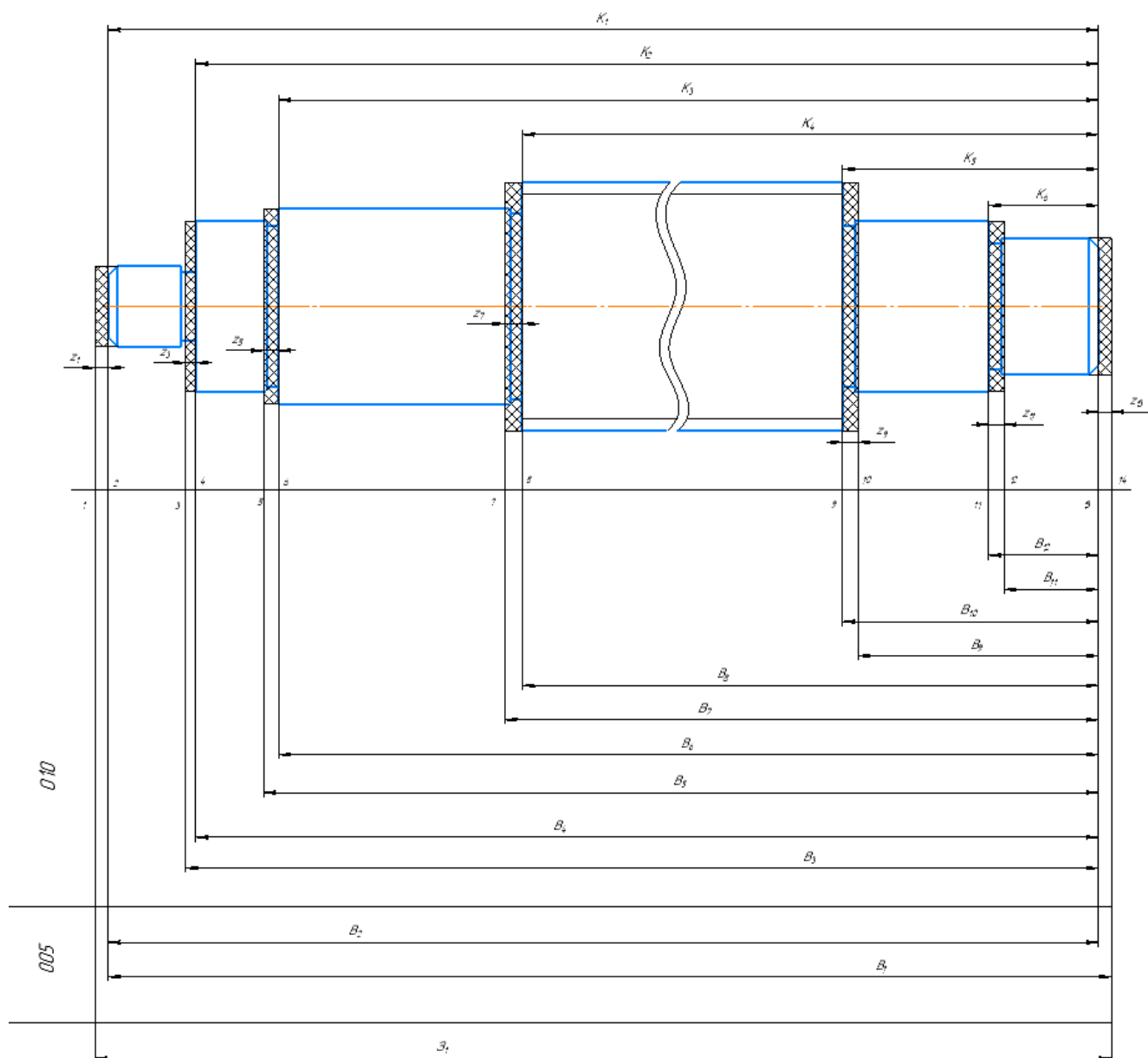


Рисунок 4.6 – Розмірна схема

4.3.4.1 Похідний, вихідний графі-дерева, суміщений граф

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

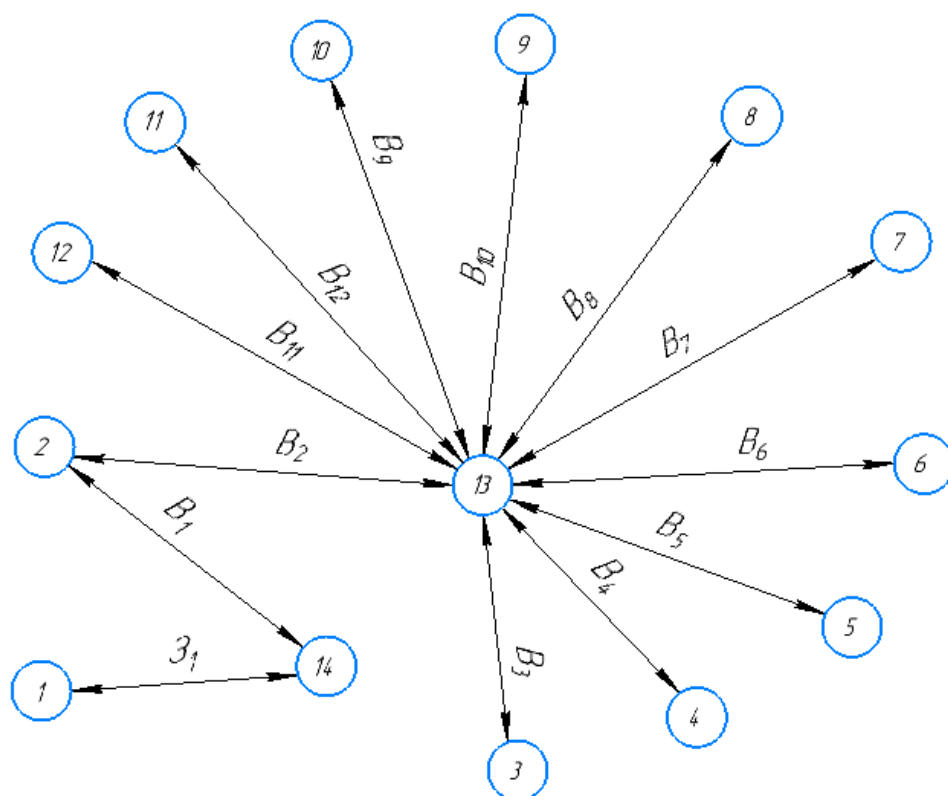


Рисунок 4.7 – Похідне граф-дерево

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

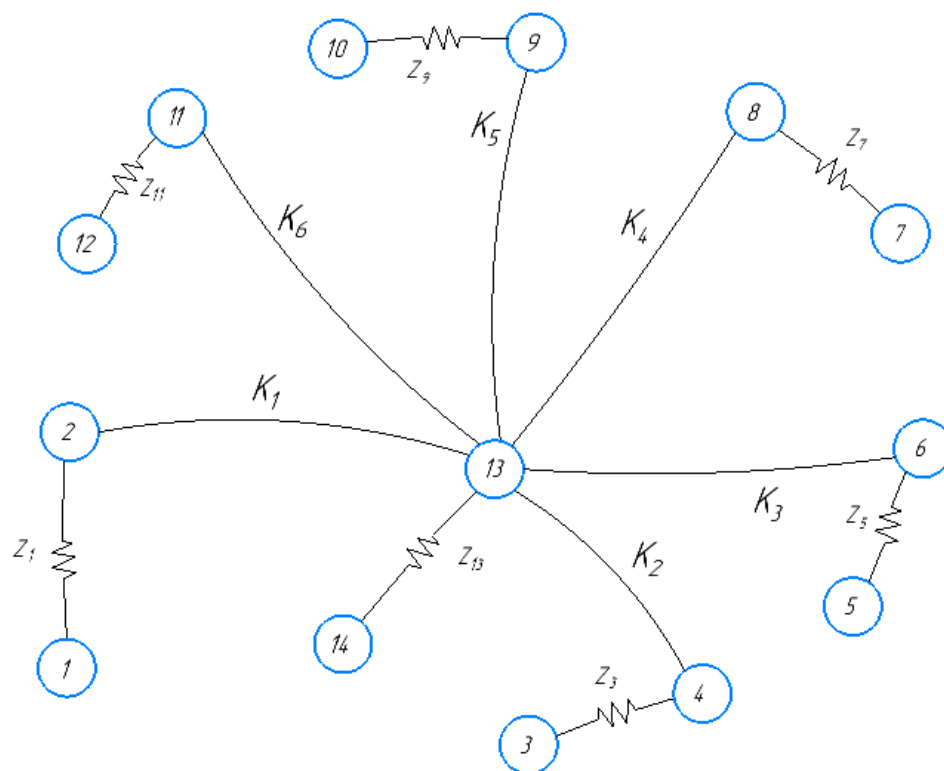


Рисунок 4.8 – Вихідне граф-дерево

$$B8 = K4 = 334_{-1,4},$$

$$B10 = K5 = 105 \pm 0,435,$$

$$B12 = K6 = 45 \pm 0,31$$

Таблиця 4.7 – Рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

№ п/п	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K1 + B2 = 0$	$K1 = B2$	B2
2	$-K2 + B4 = 0$	$K2 = B4$	B4
3	$-K3 + B6 = 0$	$K3 = B6$	B6
4	$-K4 + B8 = 0$	$K4 = B8$	B8
5	$-K5 + B10 = 0$	$K5 = B10$	B10
6	$-K6 + B12 = 0$	$K6 = B12$	B12
7	$-Z3 + B3 - B4 = 0$	$Z3 = B3 - B4$	B3
8	$-Z5 + B5 - B6 = 0$	$Z5 = B5 - B6$	B5
9	$-Z7 + B7 - B8 = 0$	$Z7 = B7 - B8$	B7
10	$-Z9 + B9 - B10 = 0$	$Z9 = B9 - B10$	B9
11	$-Z11 + B11 - B12 = 0$	$Z11 = B11 - B12$	B11
12	$-Z13 + B1 - B2 = 0$	$Z13 = B1 - B2$	B1
13	$-Z1 + 31 - B1 = 0$	$Z1 = 31 - B1$	31

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

$$B_{3\min} = B_{4\max} + Z_{3\min} = 468 + 1,2 = 469,2 \text{ (мм)};$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + IT(B_3) = 469,2 + 2,0 = 471,2 \text{ (мм)};$$

$$B_3 = 471,2^{+2,0} \text{ (мм)};$$

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

$$Z_{3\max} = 471,2 - 466,45 = 4,75 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{5\min} = B_{5\min} - B_{6\max}$$

$$B_{5\min} = B_{6\max} + Z_{5\min} = 434 + 1,0 = 435 \text{ (мм)};$$

$$B_{5\max} = B_{5\min} + IT(B_5) = 435 + 2,0 = 437 \text{ (мм)};$$

$$B_5 = 437^{+2,0} \text{ (мм)};$$

$$Z_{5\max} = B_{5\max} - B_{6\min}$$

$$Z_{5\max} = 437 - 432,45 = 4,55 \text{ (мм)}.$$

$$Z_{7\min} = B_{7\min} - B_{8\max}$$

$$B_{7\min} = B_{8\max} + Z_{7\min} = 334 + 0,8 = 334,8 \text{ (MM)};$$

$$B_{7\max} = B_{7\min} + IT(B_7) = 334,8 + 1,8 = 336,6 \text{ (MM)};$$

$$B_7 = 334,8^{+1,8} \text{ (MM)};$$

$$Z_{7\max} = B_{7\max} - B_{8\min}$$

$$Z_{7\max} = 336,6 - 332,6 = 4 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{9\min} = B_{9\min} - B_{10\max}$$

$$B_{9\min} = B_{10\max} + Z_{9\min} = 105,435 + 0,8 = 106,235 \text{ (MM)};$$

$$B_{9\max} = B_{9\min} + IT(B_9) = 106,235 + 1,2 = 107,435 \text{ (MM)};$$

$$B_9 = 106,835 \pm 0,6 \text{ (MM)};$$

$$Z_{9\max} = B_{9\max} - B_{10\min}$$

$$Z_{9\max} = 107,435 - 104,565 = 2,87 \text{ (MM)}.$$

$$Z_{11\min} = B_{11\min} - B_{12\max}$$

$$B_{11\min} = B_{12\max} + Z_{11\min} = 45,31 + 1,0 = 46,31 \text{ (MM)};$$

$$B_{11\max} = B_{11\min} + IT(B_{11}) = 46,31 + 0,62 = 46,93 \text{ (MM)};$$

$$B_{11} = 46,62 \pm 0,31 \text{ (MM)};$$

$$Z_{11\max} = B_{11\max} - B_{12\min}$$

$$Z_{11\max} = 46,93 - 44,69 = 2,24 \text{ (MM)}.$$

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

$$B_{1\min} = B_{2\max} + Z_{13\min} = 504 + 1,2 = 505,2 \text{ (MM)};$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + IT(B_1) = 505,2 + 2,3 = 507,5 \text{ (MM)};$$

$$B_1 = 507,5^{+2,3} \text{ (MM)};$$

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

$$Z_{13\max} = 507,5 - 502,25 = 5,25 \text{ (MM)}.$$

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

$$B_{3\min} = B_{1\max} + Z_{1\min} = 507,5 + 1,2 = 508,7 \text{ (MM)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + IT (Z_1) = 508,7 + 2,8 = 511,5 \text{ (мм)};$$

$$Z_1 = 511,5^{+2,8}_{-0} \text{ (мм)};$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\max} - B_{1\min}$$

$$Z_{1\max} = 511,5 - 505,2 = 6,3 \text{ (мм)}.$$

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 $\varnothing 56s6^{+0,072}_{+0,053}$.

Приймаємо значення Rz і T згідно рекомендацій [5]:

- для заготовки Rz 160 та T = 230 мкм;
- попереднє точіння Rz=T=100 мкм;
- попереднє точіння Rz=T=50 мкм;
- остаточне точіння Rz=20 мкм та T=30 мкм;
- шліфування Rz =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:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_s^2} \text{ [мкм]}. \quad (4.7)$$

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

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:

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot (160 + 230 + 120) = 2 \cdot 510 \text{ (мкм)};$$

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:

$$2Z_{\min 4} = 2(20 + 30) = 2 \cdot 50 \text{ (мкм)}.$$

Після тонкого точіння отримаємо розмір, що вказаний на креслені:

$$d = 56,053 \text{ (мм)}.$$

Розраховуємо інші розміри по технологічним переходам:

для остаточного точіння:

$$d_3 = 56,053 + 2 \cdot 0,05 = 56,153 \text{ (мм)};$$

для попереднього точіння:

$$d_2 = 56,153 + 2 \cdot 0,1 = 56,353 \text{ (мм)};$$

для попереднього точіння:

$$d_1 = 56,353 + 2 \cdot 0,206 = 56,765 \text{ (мм)};$$

для заготовки:

$$d_{\text{заг}} = 56,765 + 2 \cdot 0,51 = 57,785 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо значення допусків кожного технологічного переходу:

- тонкого точіння (6 квалітет), допуск складає 19 мкм,
- остаточне точіння (7 квалітет), допуск складає 30 мкм,
- попереднє точіння (9 квалітет) допуск складає 74 мкм,
- попереднє точіння (12 квалітет) допуск складає – 300 мкм,
- заготовка (16 квалітет), допуск складає 1900 мкм.

Максимальні граничні розміри:

$$d_{\max 4} = 56,053 + 0,019 = 56,072 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 3} = 56,153 + 0,030 = 56,183 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 2} = 56,353 + 0,074 = 56,427 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max 1} = 56,77 + 0,30 = 57,07 \text{ (мм)};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 57,8 + 1,9 = 59,7 \text{ (мм)}.$$

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

для шліфування:

$$2Z_{\min 4} = 56,153 - 56,053 = 0,1 \text{ MM} = 100 \text{ (MKM)};$$

$$2Z_{\max 4} = 56,183 - 56,072 = 0,111 \text{ MM} = 111 \text{ (MKM)};$$

для остаточного точіння:

$$2Z_{\min 3} = 56,353 - 56,153 = 0,2 \text{ MM} = 200 \text{ (MKM)};$$

$$2Z_{\max 3} = 56,427 - 56,183 = 0,244 \text{ MM} = 244 \text{ (MKM)};$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 2} = 56,77 - 56,353 = 0,417 \text{ MM} = 417 \text{ (MKM)};$$

$$2Z_{\max 2} = 57,07 - 56,427 = 0,643 \text{ мм} = 643 \text{ (мкм)};$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 1} = 57,8 - 56,77 = 1,03 \text{ мм} = 1030 \text{ (мкм)};$$

$$2Z_{\max 1} = 59,7 - 57,07 = 2,63 \text{ MM} = 2630 \text{ (MKM)}.$$

Таблиця 4.8 – Розрахункові значення припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку отвору $\varnothing 56s6 \begin{pmatrix} +0,072 \\ +0,053 \end{pmatrix}$

[illegible]

Виконуємо перевірку правильності виконуваних розрахунків:

$$Z_{\max 2}^{ep} - Z_{\min 2}^{ep} = 0,643 - 0,417 = 0,226 \text{ (мм)}; \delta_1 - \delta_2 = 0,30 - 0,074 = 0,226 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 3}^{ep} - Z_{\min 3}^{ep} = 0,244 - 0,2 = 0,044 \text{ (мм)}; \delta_2 - \delta_3 = 0,074 - 0,030 = 0,044 \text{ (мм)};$$

$$Z_{\max 4}^{ep} - Z_{\min 4}^{ep} = 0,111 - 0,1 = 0,011 \text{ (мм)}; \delta_3 - \delta_4 = 0,030 - 0,019 = 0,011 \text{ (мм)}.$$

4.3.5.2 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.

Таблиця 4.9 - Розрахункові значення припусків та граничних розмірів по технологічним переходам на обробку поверхні розміром $\varnothing 70\text{m6} \begin{pmatrix} +0,033 \\ +0,011 \end{pmatrix}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 70\text{m6}$ $\begin{pmatrix} +0,033 \\ +0,011 \end{pmatrix}$	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		72,031	1,9	72	73,9		
Точіння попереднє	$2 \cdot 600$	70,831	0,3	70,83	71,13	1,17	2,77
Точіння попереднє	$2 \cdot 250$	70,331	0,072	70,331	70,403	0,499	0,727
Точіння остаточне	$2 \cdot 110$	70,111	0,03	70,111	70,141	0,22	0,262
Шліфування	$2 \cdot 50$	70,011	0,019	70,011	70,03	0,1	0,111
Сума						4,24	4,844

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 4, 6 та 7 попередньо.

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

Визначаємо глибину різання:

$$t=(D-d)/2=(71,13 - 70,403)/2=0,3635 \text{ (мм)}.$$

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 $V_{\text{табл}}=112^{\text{м/хв}}$. [8]. Матеріал без корки $K_{\text{пв}}=1$; матеріал різців Т15К6, $K_{\text{ув}}=1$;

$$V_{\text{різ}}=V_{\text{таб}} \cdot K_{\text{пв}} \cdot K_{\text{ув}} = 112 \cdot 1 \cdot 0,85 = 95,2^{\text{(м/хв)}}.$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя:

$$n=1000 \cdot V / \pi \cdot D = 1000 \cdot 95,2 / 3,14 \cdot 70,403 = 430,64 \text{ (}^\circ\text{/хв)}.$$

Враховуючи те, що верстат 16К20Ф3 має безступінчасте керування частотою обертання шпинделя, тому приймаємо $n = 430$ 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	630	39,27
3	Центрувати отвір 2 та 4.	1,5	0,09	350	28,27
Операція 010					

Продовження таблиці 4.10

1	2	3	4	5	6
2	Точити пов. 2, 4, 6, 7 попередньо та 1,3,5 однократно	0,5	0,3	406	82,9
3	Точити пов. 4, 6 та 7 попередньо	0,3635	0,25	430	95,2
4	Точити фаску 11 однократно	4	0,2	800	82,89
5	Точити канавку 8 однократно	0,5	0,2	800	82,89
6	Точити канавку 9 та 10 однократно	0,5	0,2	800	175,84
7	Точити різь на пов. 2 однократно	0,2	0,2	400	41,45
8	Точити пов. 4, 6 та 7 остаточно	0,1	0,12	1200	263,76
9	Точити пов. 13, 15 попер. та 12, 14 остат.	0,2	0,3	506	79,9
10	Точити пов. 13 та 15 попередньо	0,3	0,2	800	175,84
11	Точити фаску 18 однократно	4	0,2	800	140,67
12	Точити канавки 16 та 17 однократно	0,5	0,2	800	175,84
13	Точити пов. 13 та 15 остаточно	0,1	0,12	1200	263,76
Операція 015					
2	Фрезерувати зубці на пов. 1	1,5	1,5	169	48
Операція 025					
2	Шліфувати пов. 1, 2 та 3 однократно	0,02	0,1	1200	263,76

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 $\varnothing 80$:

$$T_{\text{осн. 1}} = 0,037 (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} = 0,037 (102^2 - 80^2) \cdot 10^{-3} = 0,148 \text{ (хв.)}.$$

Аналогічно нормуються всі переходи, дані занесено до таблиці 2.11

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

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

де ϕ_k – коефіцієнт, що визначається типом обладнання. Відповідно штучно-калькуляційний час для обробки поверхні деталі $\varnothing 80$ маршруту механічної обробки складатиме:

$$t_{\text{шт}} = 0,148 \cdot 1,98 = 0,293 \text{ (хв.)}.$$

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	$0,037(D^2 - d^2)$	105	0		0,816
Центрувати 2 отв. 2	$0,52 \, dl$	0	10	15	0,156
Всього					0,972
010 – Токарна з ЧПК					
Точити пов. 2 попередньо	$0,17 \, dl$		33	36	0,202
Точити пов. 1 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	70	33		0,141
Точити пов. 4 попередньо	$0,17 \, dl$		70	34	0,405
Точити пов. 3 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	80	70		0,056
Точити пов. 6 однократно	$0,17 \, dl$		80	100	1,36

Продовження табл. 4.11

1	2	3	4	5	6
Точити пов. 5 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	102	80		0,148
Точити пов. 7 однократно	0,17 dl		102	234	4,057
Точити пов. 4 попередньо	0,18 dl		70	34	0,428
Точити пов. 6 однократно	0,18 dl		80	100	1,44
Точити пов. 7 однократно	0,18 dl		102	234	4,296
Точити фаску 11 однократно	0,18 dl		33	4	0,024
Точити канавку 8 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	33	28		0,011
Точити канавки 9 та 10 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	70	69		0,005
Точити різь на пов. 2	1,9 dl		33	36	2,256
Точити пов. 4 попередньо	0,2 dl		70	34	0,476
Точити пов. 6 однократно	0,2 dl		80	100	1,6
Точити пов. 7 однократно	0,2 dl		102	234	4,774
Точити пов. 12 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	70	56		0,065
Точити пов. 13 однократно	0,17 dl		56	45	0,428
Точити пов. 14 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	102	70		0,204
Точити пов. 15 попередньо	0,17 dl		70	60	0,714
Точити пов. 13 однократно	0,18 dl		56	45	0,454
Точити пов. 15 попередньо	0,18 dl		70	60	0,756
Точити фаску 18 однократно	0,18 dl		56	4	0,040
Точити канавки 9 та 10 однократно	$0,037(D^2 - d^2)$	70	69		0,005
Точити пов. 13 однократно	0,2 dl		56	45	0,504
Точити пов. 15 попередньо	0,2 dl		70	60	0,84
Всього					25,689
015 – Зубофрезерна					
Фрезерувати торець 1 та 2 однократно	4,6 lz			229	12,641
Всього					12,641

Таблиця 4 .12 – Норми штучно-калькуляційного часу

№ операцій	Основний час t_o , хв.	Коефіцієнт ϕ_k	Штучно- калькуляційний час $t_{шт}$, хв.
005	0,972	1,84	1,789
010	25,689	1,98	50,564
015	12,641	1,84	23,259
025	2,18	2,1	4,578
Всього			$\Sigma t_{шт} = 80,19$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Завданням розділу є здійснення атестації робочого місця за умовами праці, що знаходиться в приміщенні, яке зв'язане з фахом майбутнього фахівця після закінчення вищого навчального закладу.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників у виробничому приміщенні

При роботі в даному приміщенні, виникає низка шкідливих та небезпечних 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 класифікуються таким чином:

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

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

3) Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори – немає.

4) Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні перевантаження – відсутні.

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

Вкажемо імовірні підстави появи вказаних факторів та стисло опишемо їхню дію на організм працівника.

5.1.2 Можливі причини виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Високий 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.

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

Високий 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 тощо.

Високий рівень електромагнітних випромінювань промислової частоти спричиняється будь-якими електроустановками та струмоведучими частинами промислової частоти.

Понижена або підвищена температура повітря робочої зони спричиняється тим, що при роботі ЕОМ утворене тепле повітря видують назовні із системного блоку спеціальні вентилятори. Це приводить до підвищення температури в приміщенні.

Понижена або підвищена відносна вологість повітря робочої зони спричиняється різною кількістю води, що випаровується у приміщенні, метеорологічними умовами поза приміщенням.

Понижена або підвищена рухливість 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.

Відсутність або недостатність природного освітлення спричиняється відсутністю або недостатніми розмірами віконних проїм.

Недостатня освітленість робочої зони спричиняється відсутністю або недостатністю природного освітлення.

Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони спричиняються виділенням такої речовини, як оксид азоту під час роботи за комп'ютером. Імовірним джерелом оксидів азоту на робочому місці є вихлопи двигунів внутрішнього згорання, що можуть проникнути у приміщення через відкриті вікна, квартирки тощо.

Перенапруження аналізаторів спричиняється інтенсивною роботою за ЕОМ.

Монотонність праці спричиняється одноманітністю роботи працюючого.

5.1.3 Дія небезпечних та шкідливих виробничих факторів на організм працівника

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

Високий рівень інфразвуку може викликати нездужання типу морської хвороби, нервову втоми.

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

Високий рівень електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону може викликати при постійному впливі стійкі функціональні зміни у центральній нервовій та серцево-судинній системах, а при тривалому впливі – підвищену стомлюваність, дратівливість, головний біль тощо.

Високий рівень електромагнітних випромінювань промислової частоти може викликати злоякісні пухлини. Найбільш сильна дія цих полів виявляється на відстані до 30 см від екрана. Не меншої інтенсивності досягають ці поля із задньої сторони дисплея (джерело рядковий трансформатор) – їхній шкідливий вплив поширюється на відстань до 0,7-1 м.

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

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

Понижена або підвищена рухливість повітря робочої зони може викликати порушення реакції терморегуляції організму працівника.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання може викликати перегрівання організму працівника.

Відсутність або недостатність природного освітлення приводить до напруження зору, послабляє увагу, приводить до настання передчасної стомленості.

Недостатня освітленість робочої зони може стати причиною багатьох важких і смертельних випадків на виробництві.

Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони діють таким чином. Оксиди азоту (NO_x) викликають подразливу дію на органи дихання, викликаючи блювоту, кашель, часом біль голови. 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 органів зору працівника і навіть до погіршення зору.

Монотонність викликає у працівника переоцінку тривалості робочого часу (зміна здається значно довшою), а також підвищує аварійність і травматизм, призводить до плинності кадрів.

5.1.4 Обґрунтування вибору нормованих значень небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Згідно [3] для такої шкідливої речовини, як оксид азоту, встановлюємо, що вона відноситься до 2-го класу небезпеки і має $\text{ГДК} = 5 \text{ мг/м}^3$.

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

Враховуючи призначення приміщення – розробка і вид шуму – непостійний, встановлюємо нормований еквівалентний рівень шуму 45 дБА [5].

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

При частоті електричного поля радіочастотного діапазону 153,337 МГц нормована напруженість електричного поля 8-ми годинного робочого дня становить 10 В/м згідно з [6].

Нормована напруженість електричного поля промислової частоти для 8-ми годинного робочого дня становить 5 кВ/м [6].

За величиною енерговитрат 239 Вт згідно з [7] встановлюємо категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – Пб, для якої в холодний період року для постійних робочих місць допустима температура повітря становить 15...21 °С, допустима швидкість руху повітря 0,4 м/с, а допустима відносна вологість повітря не повинна перевищувати 75 %. Інтенсивність теплового випромінювання допускається не більше ніж 140 Вт/м².

За найменшим розміром об'єкта розрізнення 0,2 мм, вибираємо розряд зорових робіт – 2, для якого нормоване КПО для бокового освітлення становить 1,5 % [8].

Оскільки приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна орієнтовані за азимутом 255°, то для таких умов нормоване КПО перераховуватиметься 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 – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Враховуючи співвідношення контрасту (великий) та фону (середній), вибираємо підрозряд зорових робіт – г, в межах якого вибираємо нормовану освітленість для загального штучного освітлення – 300 лк.

5.2 Карта умов праці

Для здійснення атестації робочого місця необхідна карта умов праці. Атестацію робочих місць виконують за наслідками комплексного обстеження і оцінки характеру та умов праці.

5.2.1 Оцінка чинників трудового та виробничого процесів

Оцінку стану робочого місця за умовами праці виконують з урахуванням впливу на працівників усього комплексу факторів виробничого середовища і трудового процесу, що передбачаються Гігієнічною класифікацією праці [9]. В таблиці Х.1 наведено оцінку чинників виробничого і трудового процесів.

5.2.2 Гігієнічна оцінка умов праці

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

Підвищений рівень вібрації – 3 ст.

Підвищений рівень шуму – 1 ст.

Підвищений рівень неіонізуючих випромінювань радіочастотного діапазону – 1 ст.

Підвищена швидкість руху повітря в холодний період року – 1 ст.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання – 2 ст.

Підвищена напруженість зору – 2 ст.

Недостатня освітленість робочої зони природнім освітленням – 1 ст.

5.2.3 Оцінка технічного й організаційного рівня

Технічний рівень робочого місця не відповідає нормативним вимогам.

Таблиця 5.1 – Оцінка чинників виробничого і трудового процесів

Номер	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДР, ГДК)		Фактичне значення	Ступінь 3-го класу: шкідливі умови і характер праці		
		нижнє	верхнє		I	II	III
1	Шкідливі хімічні речовини:						
1.1	1-й клас небезпеки		–	–			
1.2	2-й клас небезпеки		5	22,7		+	
1.3	3-й, 4-й класи небезпеки		–	–			
2	Вібрація		33	45			+
3	Шум		45	48	+		
4	Інфразвук		110	30			
5	Ультразвук		110	62			
6	Неіонізуючі випромінювання:						
6.1	– радіочастотний діапазон		10	45	+		
6.2	– діапазон промислової частоти		5	2,04			
6.3	– оптичний діапазон		0	0			
7	Мікроклімат у приміщенні:						
7.1	– температура повітря, °C	15	21	33			
7.2	– швидкість руху повітря, м/с		0,4	1	+		
7.3	– відносна вологість повітря, %		75	75			
7.4	– інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²		140	1427		+	
8	Виробниче освітлення:						
8.1	– розряд зорових робіт	4		2		+	
8.2	– КПО для природного освітлення, %	1,28		1	+		
8.3	– освітленість для штучного освітлення, лк	300		654			
	Кількість факторів	–	–	–	4	3	1

5.2.4 Атестація робочого місця

Робоче місце атестовано за третім ступенем шкідливості.

5.2.5 Рекомендації щодо покращення умов праці

З метою забезпечення чистоти повітря робочої зони потрібно доповнити природну вентиляцію механічною. Для забезпечення допустимих параметрів вібрації в приміщенні потрібно використати відбудування від режиму резонансу за допомогою раціонального вибору маси та жорсткості системи, що коливається.

З метою забезпечення нормованих параметрів шуму в приміщенні необхідно застосувати звукоізоляцію.

Для забезпечення допустимих параметрів неіонізуючих випромінювань радіочастотного діапазону в приміщенні потрібно екранувати джерела випромінювання.

Для забезпечення нормованих параметрів інтенсивності теплового випромінювання в приміщенні потрібно використати кондиціонування повітря.

Для підвищеної напруженості зору використовується суміщене освітлення.

Для забезпечення нормованих параметрів КПО для природного освітлення в приміщенні потрібно доповнити природне освітлення штучним, створивши систему суміщеного освітлення.

5.3 Пожежна безпека

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці Х.2. В таблиці Х.3 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 5.2 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [10]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та сходові клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
4	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	EI 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	нн нн	нн нн

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; $M_1 - M \leq 25$ 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 небезпеки	Ступінь вогнестійкості			Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²	Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, для ступеня їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для кількості поверхів		
		до 1	2-3	4-5			I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	I	4	160	95	65	180	12	15	18	2	3500	2600	–

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі «Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла коробки передач КП250» виконаний аналіз роботи механізму та обґрунтування призначення посадок. Призначено рекомендовані посадки на відповідальні з'єднання вузла редуктора.

Виконаний розрахунок точності елементів та з'єднань вузла коробки передач із застосуванням програмних застосунків, визначені основні характеристики посадок підшипників ковзання та перехідної посадки. Виконаний розрахунок розмірних ланцюгів із застосуванням програмних застосунків. Розроблені програми в інтегрованому середовищі DeV-C++ для автоматизації розрахунків основних характеристик посадок з зазором, перехідних з'єднань вузла та розрахунків розмірного ланцюга. Результати роботи програми підтвердили аналітичні розрахунки.

В технологічній частині виконаний аналіз конструкції і технологічності деталі. Програма випуску деталей 1100шт., виробництво дрібносерійне; спосіб виготовлення заготовки – прокат.

Був розроблений маршрут механічної обробки деталі з використанням 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 коробки передач, плакати які демонструють графічне зображення маршруту механічної обробки деталі, розмірний аналіз, алгоритми розрахунку посадків з зазором та розмірного ланцюга.

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. 2019р. / 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. 2025р. / 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 РОБОТИ

Назва роботи: Розрахунок програмних застосунків точності елементів та з'єднань вузла коробки передач КП250

Тип 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 29,77 %

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 _____ Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Наталія СЕМІЧАСНОВА, ст. викладач
(підпис) (ім'я, прізвище, посада)

Здобувач _____ Іван ПЛАХОТНИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ
ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КП250**

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
					08-64.БКР.2100.000.СК	Документація					
						Складальне креслення					
						Деталі					
Справ. №			1		08-64.БКР.2100.001	Корпус	1				
			2		08-64.БКР.2100.002	Втулка	1				
			3		08-64.БКР.2100.003	Втулка	1				
			4		08-64.БКР.2100.004	Шестерня	1				
			5		08-64.БКР.2100.005	Зубчасте колесо	1				
			6		08-64.БКР.2100.006	Вал	1				
			7		08-64.БКР.2100.007	Блок-шестерня	1				
			8		08-64.БКР.2100.008	Кришка	1				
			9		08-64.БКР.2100.009	Шків	1				
			10		08-64.БКР.2100.010	Кришка	1				
			11		08-64.БКР.2100.011	Вал	1				
			12		08-64.БКР.2100.012	Зубчасте колесо	1				
			13		08-64.БКР.2100.013	Шайба	1				
			14		08-64.БКР.2100.014	Втулка	1				
			15		08-64.БКР.2100.015	Втулка	1				
			16		08-64.БКР.2100.016	Кришка	1				
			17		08-64.БКР.2100.017	Шестерня	1				
Взам. инв. №							1				
Подп. и дата											
Инв. № подл.											
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	08-64.БКР.2100.000.СК Вузел коробки передач Складальне креслення		Лит.	Лист	Листов
		Разраб.	Плахотний І.		06.06.25						1
		Проб.	Семічаснаба Н.		06.06.25						
		Н.контр.	Лозінський Д.		09.06.25						
Инв. № подл.		Утв.	Козлов Л.		09.06.25				ВНТУ, гр.ІПМ-218		

Копіював

Формат А4



ДОДАТОК В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ
ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КП250**

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПОСАДКИ З ЗАЗОРОМ

Параметри	Формула	Залежність	Ідентифікатори для коду
Середній питомий тиск в підшипнику качення	$P = R \cdot l \cdot d_a$	R, l, d_a	P, R, l, d, H
Допустима мінімальна товщина шатунного шару	$[h_{\min}] = K \cdot (4RaD + 4Ra\delta + \gamma)$	$K, RaD, Ra\delta, \gamma$	$h_{\min}, R, K, aD, a\delta, \gamma, K$
Кутівна швидкість валу	$\omega = \frac{v}{r}$	n	ω, v, a
Коефіцієнт A_k	$A_k = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{d_a \cdot \sqrt{\mu \cdot \sigma / p}}$	$[h_{\min}], d_a, \sigma, \mu, P$	$A_k, h_{\min}, \omega, a, \mu$
Мінімальний граничний зазор	$[s_{\min}] = 2,857 \cdot [h_{\min}] \cdot \frac{A_k}{A_0}$	$[h_{\min}], A_0, A_k$	$S_{\min}, A, X$
Максимальний граничний зазор	$[s_{\max}] = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{\max}}$	$[h_{\min}], X_{\max}$	$S_{\max}, X, \max$
Относительний зазор	$S_{\text{отн}} = \frac{2 \cdot [h_{\min}]}{1 - X_{\max}} \cdot \frac{A_{\text{отн}}}{A_0}$	$[h_{\min}], X_{\max}, A_{\text{отн}}, A_0$	$S_{\text{отн}}, A, \text{отн}$

Аналіз залежностей в розрахункових формулах

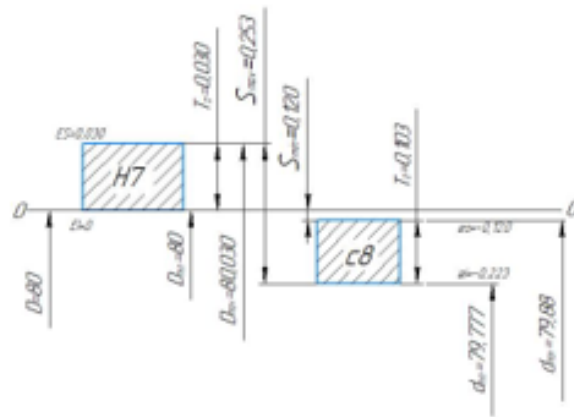


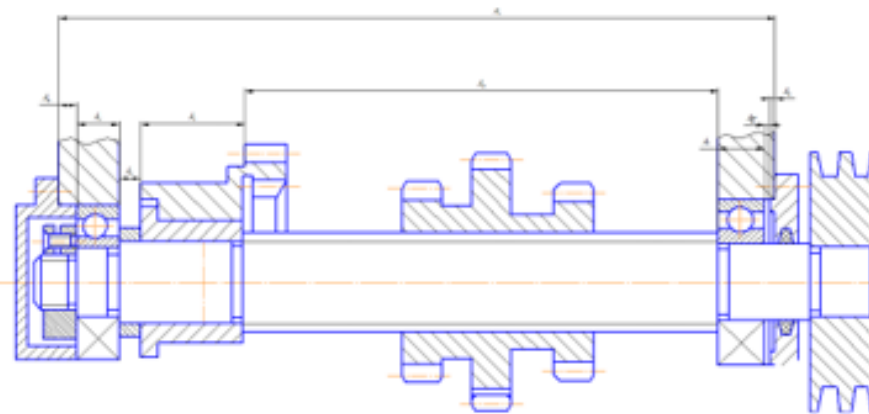
Схема розташування полів допусків посадки

Розрахунок основних характеристик посадок

Результати розрахунків

Активі:
Перейді
актив/ва

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА



Схематичне зображення розмірного ланцюга

Позначення	Найменування
$A_z = \sum_{i=1}^m A_{z_{i1}} - \sum_{j=1}^n A_{z_{i2}}$	
A_z	номінальний розмір з'єднуючої ланки
$A_{z_{i1}}$	номінальний розмір збільшувальної ланки
$A_{z_{i2}}$	номінальний розмір зменшувальної ланки
m	кількість збільшувальних ланок
n	кількість зменшувальних ланок
$I_z = \sum_{i=1}^m I_{z_{i1}} + \sum_{j=1}^n I_{z_{i2}} = \sum_{i=1}^{m+n} I_i$	
T_k	допуск з'єднуючої ланки
$T_{z_{i1}}$	допуск збільшувальних ланок
$T_{z_{i2}}$	допуск зменшувальних ланок
m	кількість збільшувальних ланок
n	кількість зменшувальних ланок
$C_z = \sum_{i=1}^m C_{z_{i1}} - \sum_{j=1}^n C_{z_{i2}}$	
C_z	граничне відхилення з'єднуючої ланки
$C_{z_{i1}}$	граничне відхилення збільшувальної ланки
$C_{z_{i2}}$	граничне відхилення зменшувальної ланки

Основні рівняння розмірного ланцюга

```

// Алгоритм розрахунку розмірного ланцюга
// Вхідні дані: номінальні розміри ланок, допуски, кількість ланок
// Вихідні дані: номінальний розмір з'єднуючої ланки, допуск з'єднуючої ланки, граничне відхилення з'єднуючої ланки

// Ініціалізація змінних
int m = 0; // кількість збільшувальних ланок
int n = 0; // кількість зменшувальних ланок
double Az = 0; // номінальний розмір з'єднуючої ланки
double Iz = 0; // допуск з'єднуючої ланки
double Cz = 0; // граничне відхилення з'єднуючої ланки

// Розрахунок номінального розміру з'єднуючої ланки
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    Az += A[i]; // додавання номінального розміру збільшувальної ланки
}
for (int j = 0; j < n; j++)
{
    Az -= B[j]; // віднімання номінального розміру зменшувальної ланки
}

// Розрахунок допуску з'єднуючої ланки
for (int i = 0; i < m; i++)
{
    Iz += T[i]; // додавання допуску збільшувальної ланки
}
for (int j = 0; j < n; j++)
{
    Iz += T[j]; // додавання допуску зменшувальної ланки
}

// Розрахунок граничного відхилення з'єднуючої ланки
Cz = Az + Iz;

// Виведення результатів
cout << "Номінальний розмір з'єднуючої ланки: " << Az << endl;
cout << "Допуск з'єднуючої ланки: " << Iz << endl;
cout << "Граничне відхилення з'єднуючої ланки: " << Cz << endl;
  
```

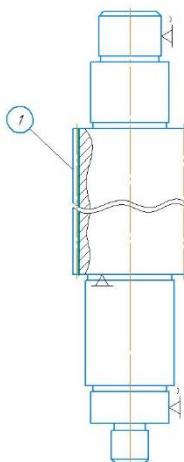
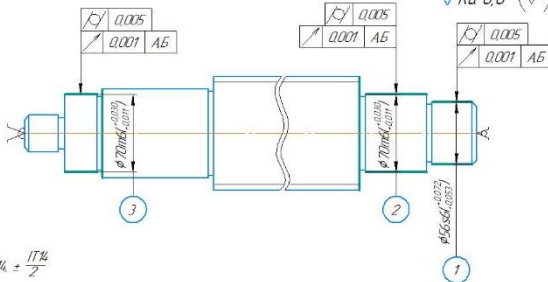
Визначення допуску складових ланок

Активна
Перейдіть
активна

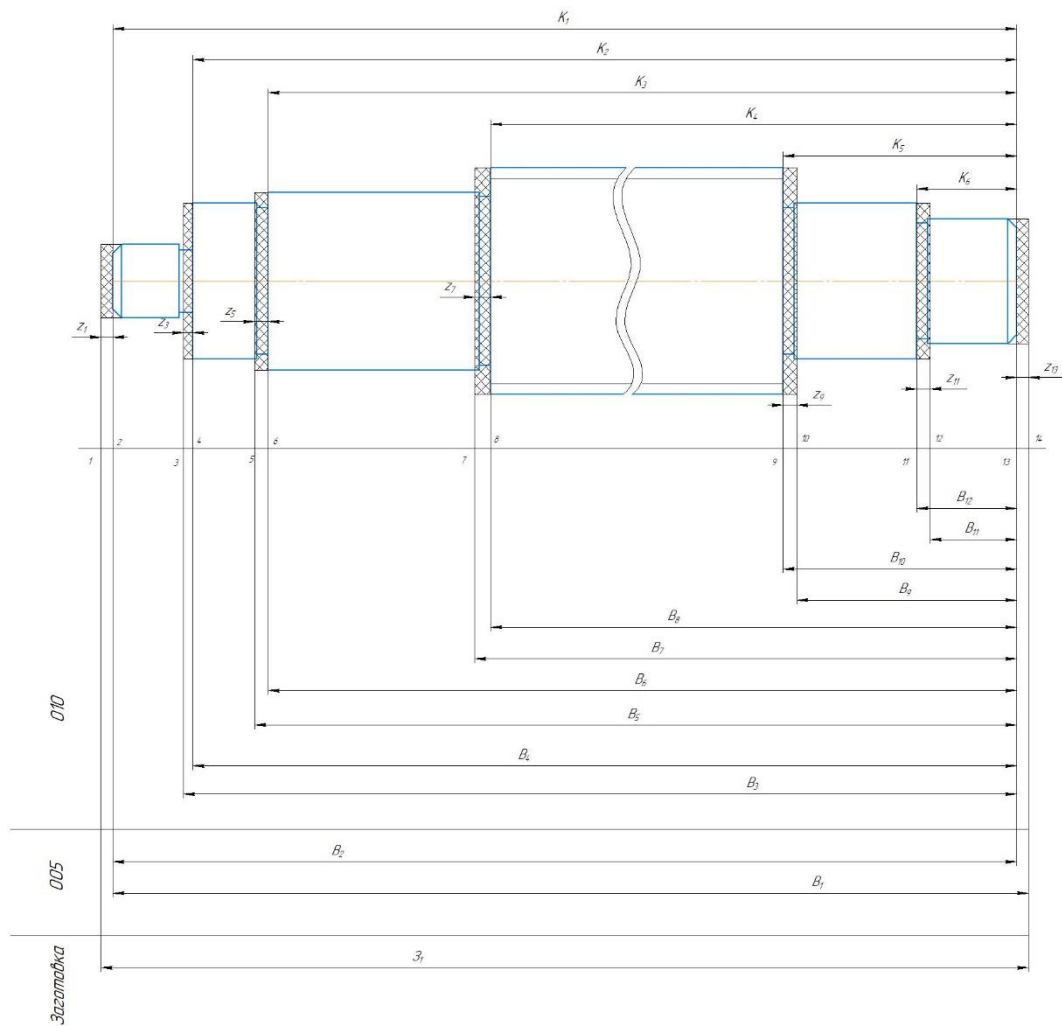
Маршрут механічної обробки (Лист 1)

№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми установки	Тип обладнання
	<u>Фрезерно-центральна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Фрезерувати торці 1 та 3 однократно. 3. Центрувати отд. 2 та 4 4. Зняти заготовку	$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓) H14, h14, ± 11% / 2	Фрезерно-центральный верстат НР-71
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку, закріпити Установ 1 2. Точити пов. 2 в розмір $\phi 33,6_{-0,25}^{+0}$, 4 в розмір $\phi 71,13_{-0,3}^{+0}$, 6 в розмір $\phi 81,13_{-0,3}^{+0}$, 7 в розмір $\phi 103,1_{-0,35}^{+0}$ та пов. 1, 3, 5 однократно. 3. Точити пов. 4 в розмір $\phi 70,403_{-0,072}^{+0}$, 6 в розмір $\phi 80,403_{-0,072}^{+0}$ та 7 в розмір $\phi 102_{-0,3}^{+0}$ попередньо. 4. Точити фаску 11 однократно. 5. Точити канавку 8 однократно. 6. Точити канавки 9 та 10 однократно. 7. Точити різь на пов. 2. 8. Точити пов. 4, 6 та 7 остаточно. Установ 2 9. Точити пов. 13 в розмір $\phi 57,07_{-0,3}^{+0}$, 15 в розмір $\phi 71,13_{-0,3}^{+0}$ та пов. 12, 14 однократно. 10. Точити пов. 13 в розмір $\phi 56,427_{-0,074}^{+0}$ та 15 в розмір $\phi 70,403_{-0,074}^{+0}$ попередньо. 11. Точити фаску 18 однократно. 12. Точити канавки 16 та 17 однократно. 13. Точити пов. 13 та 15 остаточно. 14. Зняти заготовку.	$\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓) 1 установка 2 установка H14, h14, ± 11% / 2	Токарно-винторезный верстат с ЧПУ 16K20Ф3

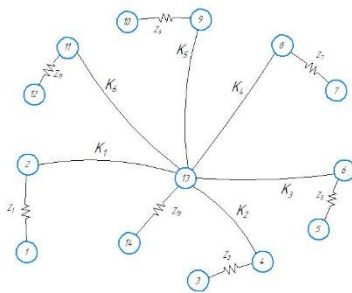
Маршрут механічної обробки (Лист 2)

№ Операції	Операції і переходи	Ескіз та схеми установаки	Тип обладнання
015	<u>Зубофрезерна</u> 1. Встановити і закріпити заготовку 2. Фрезерувати зубці на поверхні 1 в розмір згідно ескізу. 3. Зняти заготовку	$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$  $H14, h14, z\ \frac{IT14}{2}$	Зубофрезерний верстат 53480
020	<u>Термообробка</u>		
025	<u>Кругло-шліфувальна з ЧПК</u> 1. Встановити заготовку. 2. Шліфувати пов. 1, 2 та 3 однократно 3. Зняти заготовку	$\sqrt{Ra\ 0,8\ (\checkmark)}$  $H14, h14, z\ \frac{IT14}{2}$	Кругло-шліфувальний ЗК1518Ф20

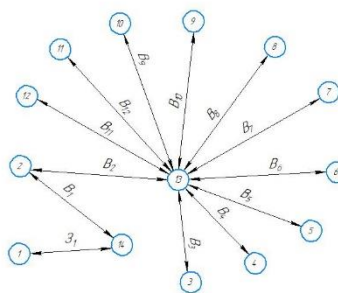
Розмірний аналіз



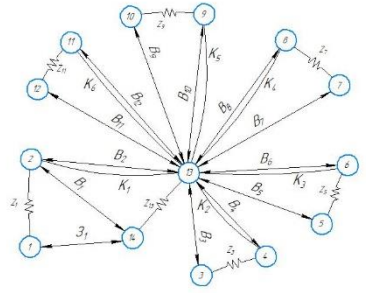
Вихідний граф



Похідний 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	B_8 , мм	B_9 , мм	B_{10} , мм	B_{11} , мм	B_{12} , мм	Z_1 , мм
max	5075	504	4712	468	437	434	336,6	334	1074,35	1054,35	46,93	45,31	5115
min	505,2	502,25	469,2	466,45	435	432,45	334,8	332,6	106,235	104,565	46,31	44,69	5087

Таблиця мінімальних і максимальних припусків

	Z_1	Z_3	Z_5	Z_7	Z_9	Z_{11}	Z_{13}
$Z_{\max}$, мм	6,3	4,75	4,55	4	2,87	2,24	5,25
$Z_{\min}$, мм	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	1,0	1,2

ДОДАТОК Г
(довідниковий)

ЛІСТИНГИ ПРОГРАМИ НА МОВІ C++

**РОЗРАХУНОК ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ТОЧНОСТІ
ЕЛЕМЕНТІВ
ТА З'ЄДНАНЬ ВУЗЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КП250**

ДОДАТОК Г1

«Розрахунок основних характеристик посадок з зазором»

```

#include <iostream> // Для введення та виведення даних (cin, cout)
#include <cmath>     // Для математичних функцій, таких як M_PI (pi)
#include <iomanip>    // Для форматування виводу (setprecision)

// Визначаємо константу PI. M_PI визначена в cmath, але може бути не завжди доступна,
// тому краще визначити її явно, або переконалися, що вона доступна.
#ifndef M_PI
#define M_PI 3.14159265358979323846
#endif

int main() {

    // Встановлюємо точність виведення чисел з плаваючою точкою
    std::cout << std::fixed << std::setprecision(6);

    // --- Оголошення змінних для введення даних ---
    double R, f, d_H;           // Для формули (2.1)
    double K, K_ad, ad_val, gamma; // Для формули (2.2) (ad_val, щоб уникнути конфлікту з
    "ad" у деяких контекстах)
    double mu, v_H, rho;        // Для формули (2.3)
    double n;                   // Для формули (2.4)
    double D_H;                 // Для формули (2.5)
    double D_min, X_max;        // Для формули (2.6) і (2.7)

    // --- Оголошення змінних для результатів розрахунків ---
    double P;                   // Результат формули (2.1)
    double h_min;               // Результат формули (2.2)
    double Ak;                  // Результат формули (2.3)
    double omega;               // Результат формули (2.4)
    double S_min;               // Результат формули (2.5)
    double S_max;               // Результат формули (2.6)
    double S_opt;               // Результат формули (2.7)

    std::cout << "Програми розрахунку характеристик підшипника ковзання\n\n";

    // --- Введення даних для Формули (2.1) ---
    std::cout << "--- Дані для Формули (2.1) - Середній питомий тиск ---\n";
    std::cout << "Введіть значення R: ";
    std::cin >> R;
    std::cout << "Введіть значення f: ";
    std::cin >> f;
    std::cout << "Введіть значення d_H: ";
    std::cin >> d_H;
    std::cout << "\n";

    // --- Введення даних для Формули (2.2) ---
    std::cout << "--- Дані для Формули (2.2) - Допустима мінімальна товщина мастильного шару --
    \n";

```

```

std::cout << "Введіть значення K: ";
std::cin >> K;
std::cout << "Введіть значення K_ad: ";
std::cin >> K_ad;
std::cout << "Введіть значення ad: ";
std::cin >> ad_val; // Використовуємо ad_val, щоб уникнути конфлікту з ключовим словом "ad"
(якщо є)
std::cout << "Введіть значення gamma (Y): ";
std::cin >> gamma;
std::cout << "\n";

// --- Введення даних для Формули (2.3) ---
std::cout << "--- Дані для Формули (2.3) - Коефіцієнт Ak ---\n";
std::cout << "Введіть значення mu (вязкість): ";
std::cin >> mu;
// d_H вже введено для (2.1)
std::cout << "Введіть значення v_H: ";
std::cin >> v_H;
std::cout << "Введіть значення rho (густина): ";
std::cin >> rho;
std::cout << "\n";

// --- Введення даних для Формули (2.4) ---
std::cout << "--- Дані для Формули (2.4) - Кутова швидкість валу ---\n";
std::cout << "Введіть значення n: ";
std::cin >> n;
std::cout << "\n";

// --- Введення даних для Формули (2.5) ---
std::cout << "--- Дані для Формули (2.5) - Мінімальний граничний зазор ---\n";
std::cout << "Введіть значення D_H: ";
std::cin >> D_H;
std::cout << "\n";

// --- Введення даних для Формул (2.6) та (2.7) ---
std::cout << "--- Дані для Формул (2.6) та (2.7) - Максимальний та Оптимальний зазори ---\n";
std::cout << "Введіть значення D_min: ";
std::cin >> D_min;
std::cout << "Введіть значення X_max: ";
std::cin >> X_max;
std::cout << "\n";

// --- Розрахунки ---

// Формула (2.1)
if (f * d_H * d_H != 0) { // Перевірка ділення на нуль
    P = R / (f * d_H * d_H);
} else {
    P = 0.0; // Або інше значення, що вказує на помилку
    std::cout << "Помилка: Ділення на нуль при розрахунку P (Формула 2.1)!\n";
}

```

```

// Формула (2.2)
h_min = K * (4 * K_ad + 4 * ad_val + gamma);

// Формула (2.3) - Використовує h_min з (2.2) та d_H з (2.1)
if (d_H * v_H * rho != 0) { // Перевірка ділення на нуль
    Ak = (2 * h_min * mu) / (d_H * v_H * rho);
} else {
    Ak = 0.0; // Або інше значення, що вказує на помилку
    std::cout << "Помилка: Ділення на нуль при розрахунку Ak (Формула 2.3)!\n";
}

// Формула (2.4)
omega = (M_PI * n) / 30.0;

// Формула (2.5)
S_min = 2.837 * D_H;

// Формули (2.6) та (2.7) - Обидві однакові
if (1 - X_max != 0) { // Перевірка ділення на нуль
    S_max = (S_min * (1 - 2 * D_min / (1 - X_max))) / (1 - X_max);
    S_opt = S_max; // Оскільки формули ідентичні
} else {
    S_max = 0.0;
    S_opt = 0.0;
    std::cout << "Помилка: Ділення на нуль при розрахунку S_max/S_opt (Формули 2.6/2.7)!\n";
}

// --- Виведення результатів ---
std::cout << "\n--- Результати розрахунків ---\n";
std::cout << "1. Середній питомий тиск P (Формула 2.1): " << P << "\n";
std::cout << "2. Допустима мінімальна товщина мастильного шару [h_min] (Формула 2.2): " <<
h_min << "\n";
std::cout << "3. Коефіцієнт Ak (Формула 2.3): " << Ak << "\n";
std::cout << "4. Кутова швидкість валу omega (Формула 2.4): " << omega << "\n";
std::cout << "5. Мінімальний граничний зазор [S_min] (Формула 2.5): " << S_min << "\n";
std::cout << "6. Максимальний граничний зазор [S_max] (Формула 2.6): " << S_max << "\n";
std::cout << "7. Оптимальний зазор S_opt (Формула 2.7): " << S_opt << "\n";

std::cout << "\nРозрахунок завершено.\n";

return 0;
}

```

ДОДАТОК Г2

«Розрахунок імовірносних зазорів та натягів в перехідній посадці»

```
#include <iostream> // Для вводу/виводу даних
#include <cmath> // Для математичних функцій, таких як sqrt (корінь квадратний) та erf
(функція помилок)
#include <iomanip> // Для форматування виводу (наприклад, встановлення точності)
// Функція для обчислення  $\Phi(Z)$  - CDF стандартного нормального розподілу
//  $\Phi(Z) = 0.5 * (1 + \text{erf}(Z / \sqrt{2}))$ 
double phi(double z) {
    return 0.5 * (1.0 + std::erf(z / std::sqrt(2.0)));
}
int main() {
    // Вхідні змінні, які буде вводити користувач
    double ES, EI; // Верхнє та нижнє відхилення отвору
    double es, ei; // Верхнє та нижнє відхилення валу

    // Змінні для зберігання обчислених значень
    double TD, Td; // Допуски для отвору та валу
    double N_max, N_min; // Максимальний та мінімальний натяги
    double N_m; // Середній натяг
    double sigma_N; // Середнє квадратичне відхилення натягу
    double Z; // Границя інтегрування
    double P_n, P_s; // Ймовірність отримання натягів та зазорів
    double P_n_percent, P_s_percent; // Процент з'єднання
    double N_prime_max; // Максимальний ймовірний натяг
    double S_max; // Максимальний ймовірний зазор
    // Введення даних користувачем
    std::cout << "Введіть верхнє відхилення отвору ES (мм): ";
    std::cin >> ES;
    std::cout << "Введіть нижнє відхилення отвору EI (мм): ";
    std::cin >> EI;
    std::cout << "Введіть верхнє відхилення валу es (мм): ";
    std::cin >> es;
    std::cout << "Введіть нижнє відхилення валу ei (мм): ";
    std::cin >> ei;

    // Встановлення точності виводу для double
    std::cout << std::fixed << std::setprecision(6);

    std::cout << "\n--- Результати обчислень ---\n";

    // 1. Допуски для отвору та валу
    TD = ES - EI;
    std::cout << "Допуск отвору TD = ES - EI = " << TD << " мм\n";
    Td = es - ei;
    std::cout << "Допуск валу Td = es - ei = " << Td << " мм\n";

    // 2. Максимальний та мінімальний натяги
    // Інтерпретуємо N_max як ES - ei
    N_max = ES - ei;
    std::cout << "Максимальний натяг N_max = ES - ei = " << N_max << " мм\n";
```

```

// Інтерпретуємо N_min як EI - es
N_min = EI - es;
std::cout << "Мінімальний натяг N_min = EI - es = " << N_min << " мм\n";

// 3. Середній натяг
N_m = (N_max + N_min) / 2.0;
std::cout << "Середній натяг N_m = (N_max + N_min) / 2 = " << N_m << " мм\n";

// 4. Середнє квадратичне відхилення натягу (зазору)
// Перевірка на від'ємні значення під коренем, хоча T_D^2 та T_d^2 завжди невід'ємні
if (TD*TD + Td*Td < 0) {
    std::cerr << "Помилка: Від'ємне значення під коренем для sigma_N.\n";
    return 1; // Завершити програму з помилкою
}
sigma_N = (1.0 / 6.0) * std::sqrt(TD*TD + Td*Td);
std::cout << "Середнє квадратичне відхилення натягу sigma_N = (1/6) * sqrt(TD^2 + Td^2) = "
<< sigma_N << " мм\n";

// 5. Границі інтегрування при N=0
// Перевірка на ділення на нуль
if (sigma_N == 0) {
    std::cerr << "Помилка: Ділення на нуль при обчисленні Z (sigma_N дорівнює 0).\n";
    return 1; // Завершити програму з помилкою
}
Z = -N_m / sigma_N;
std::cout << "Границя інтегрування Z = -N_m / sigma_N = " << Z << "\n";

// 6. Ймовірність отримання натягів і зазорів
double phi_Z = phi(Z); // Обчислюємо Φ(Z)
std::cout << "Значення Φ(Z) = " << phi_Z << "\n";

P_n = 0.5 - phi_Z;
std::cout << "Ймовірність отримання натягу P_n = 0.5 - Φ(Z) = " << P_n << "\n";
P_s = 1.0 - P_n;
std::cout << "Ймовірність отримання зазору P_s = 1 - P_n = " << P_s << "\n";

// 7. Процент з'єднання з натягом
P_n_percent = P_n * 100.0;
std::cout << "Процент з'єднання з натягом P_n% = P_n * 100 = " << P_n_percent << " %\n";
// 8. Процент з'єднання з зазором
P_s_percent = P_s * 100.0;
std::cout << "Процент з'єднання з зазором P_s% = P_s * 100 = " << P_s_percent << " %\n";
// 9. Максимальний ймовірний натяг
N_prime_max = N_m + 3.0 * sigma_N;
std::cout << "Максимальний ймовірний натяг N'_max = N_m + 3*sigma_N = " << N_prime_max
<< " мм\n";
// 10. Максимальний ймовірний зазор
S_max = 3.0 * sigma_N - N_m;
std::cout << "Максимальний ймовірний зазор S_max = 3*sigma_N - N_m = " << S_max << "
мм\n";
return 0; // Успішне завершення програми
}

```

ДОДАТОК ГЗ

Визначення значення допусків при розрахунку розмірних ланцюгів

```
#include <iostream> // Для вводу/виводу даних (std::cout, std::cin)
#include <vector> // Для використання динамічних масивів (std::vector)
#include <algorithm> // Для використання std::upper_bound
// Функція для пошуку індексу розміру (рядка таблиці).
// Працює подібно до функції MATCH в Excel з match_type=1 (знайти найбільше значення, менше
або рівне lookup_value).
// Повертає 0-базований індекс або -1 у випадку помилки (якщо розмір менший за найменший у
списку).
int findSizeIndex(int size, const std::vector<int>& sizes) {
    // std::upper_bound повертає ітератор на перший елемент, який більший за 'size'.
    // Щоб знайти "менше або рівне", нам потрібно відступити на один елемент назад.
    auto it = std::upper_bound(sizes.begin(), sizes.end(), size);

    if (it == sizes.begin()) {
        // Якщо 'size' менший за найменший елемент у 'sizes',
        // це означає, що відповідного розміру немає в таблиці згідно з правилом "менше або рівне".
        return -1; // Повертаємо -1 для позначення помилки
    }

    // Зменшуємо ітератор, щоб він вказував на найбільший елемент, який менший або рівний 'size'.
    --it;
    // Обчислюємо 0-базований індекс.
    return std::distance(sizes.begin(), it);
}

// Функція для пошуку індексу квалітету (стовпця таблиці).
// Працює подібно до функції MATCH в Excel з match_type=0 (знайти точний збіг).
// Повертає 0-базований індекс або -1, якщо квалітет не знайдено.
int findGradeIndex(int grade, const std::vector<int>& grades) {
    for (size_t i = 0; i < grades.size(); ++i) {
        if (grades[i] == grade) {
            return i; // Знайдено, повертаємо 0-базований індекс
        }
    }
    return -1; // Квалітет не знайдено
}

int main() {
    // Визначаємо список розмірів (Розміри) з таблиці Excel
    std::vector<int> sizes = {6, 10, 18, 30, 50, 80, 120, 180, 250, 315, 400};

    // Визначаємо список квалітетів (Квалітети) з таблиці Excel
    std::vector<int> grades = {5, 6, 7, 8, 9, 10, 11};

    // Визначаємо таблицю значень допусків (Значення допусків)
    // Рядки відповідають розмірам, стовпці - квалітетам
    std::vector<std::vector<int>> tolerances = {
        {5, 6, 7, 8, 9, 10, 11}, // Для Розміру 6
```

```

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

int inputSize; // Змінна для введення розміру користувачем
int inputGrade; // Змінна для введення квалітету користувачем

// Запит розміру у користувача
std::cout << "Введіть розмір: ";
std::cin >> inputSize;

// Запит квалітету у користувача
std::cout << "Введіть квалітет: ";
std::cin >> inputGrade;

// Шукаємо індекс рядка за введеним розміром
int rowIndex = findSizeIndex(inputSize, sizes);

// Шукаємо індекс стовпця за введеним квалітетом
int colIndex = findGradeIndex(inputGrade, grades);

// Перевіряємо, чи були знайдені коректні індекси
if (rowIndex == -1) {
    std::cout << "Помилка: Розмір " << inputSize << " знаходиться поза діапазоном таблиці  
(менше найменшого розміру)." << std::endl;
} else if (colIndex == -1) {
    std::cout << "Помилка: Квалітет " << inputGrade << " не знайдено в таблиці." << std::endl;
} else {
    // Якщо індекси коректні, отримуємо значення допуску з таблиці
    // Додаткова перевірка меж для безпеки, хоча логіка findSizeIndex та findGradeIndex має її  
забезпечити
    if (rowIndex < tolerances.size() && colIndex < tolerances[rowIndex].size()) {
        int toleranceValue = tolerances[rowIndex][colIndex];
        std::cout << "Значення допуску: " << toleranceValue << std::endl;
    } else {
        // Цей випадок має бути рідкісним, якщо логіка індексації правильна.
        std::cout << "Помилка: Неможливо знайти допуск. Внутрішня помилка індексації." <<
std::endl;
    }
}

return 0; // Завершення програми
}

```