

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему Конструювання приводу головного руху круглошліфувального
верстату для забезпечення технологічного процесу виготовлення
деталі "Вал КС6В 47.627"

Виконав: студент 4 курсу, групи МВ-41

напряму підготовки (спеціальності) 133 –

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Студент

(підпис)

Чайківський В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Шанайда В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту Чайківському Віталію Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання приводу головного руху круглошліфувального верстату для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі "Вал КС6В 47.627"

Керівник роботи Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-45.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; базовий технологічний процес виготовлення деталі; паспорт верстата мод. ЗМ151Ф3; складальні креслення основних вузлів верстата.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі.
Аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі.
Провести аналіз схем формотворення. Обґрунтування раціонального маршруту оброблення деталі. Розрахунок режимів оброблення. Конструкторська частина: Кінематичний розрахунок верстата; конструювання коробки швидкостей. Розробити заходи БЖД та основ охорони праці.

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

Креслення деталі – 1 арк. ф.А2; Передня бабка верстата – 1 арк. ф.А1;
Аналіз схем формотворення – 1 арк. ф.А1; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф.А1;
Коробка швидкостей – 1 арк. ф.А1; Шліфувальна бабка верстата – 1 арк. ф.А1;

АНОТАЦІЯ

Конструювання приводу головного руху круглошліфувального верстату для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі "Вал КС6В 47.627": робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – галузеве машинобудування/ кер. В.В. Шанайда. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій; кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин, група МВ-41: ТНТУ, 2026.

У кваліфікаційній роботі виконано комплекс технологічних розрахунків для забезпечення виконання технологічного процесу механічної обробки деталі "Вал КС6В 47.627". Проведено аналіз схем формоутворення для виконання технологічних операцій механічної обробки. Здійснено комплекс кінематичних та конструктивних розрахунків при конструюванні приводу головного руху круглошліфувального верстата. Висвітлено питання з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

ANOTATION

Design of the main drive of a cylindrical grinding machine to ensure the manufacturing process of the part "Shaft KS6B 47.627": qualification work for obtaining a bachelor's degree: spec. 133 - branch mechanical engineering / supervizer V.V. Shanaida. Ternopil: Faculty of Mechanical Engineering, Structures and Technologies; Department of Machine Tool, Tool and Machine Design, group MV-41: TNTU, 2026.

In the qualification work, a complex of technological calculations was performed to ensure the implementation of the technological process of mechanical processing of the part "Shaft KS6B 47.627". The analysis of forming schemes for the execution of technological operations of mechanical processing was carried out. A complex of kinematic and structural calculations was carried out during the design of the drive of the main movement of the circular grinding machine. The issue of life safety and the basics of labor protection is highlighted.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ		
Розроб.		Чайківський					
Перевір.		Шанайда					
Реценз.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав. каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						4	1
					ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		

ВСТУП

Сучасне машинобудування ставить надзвичайно високі вимоги до якості оброблення деталей. Особливе місце серед них займають вали як базові елементи більшості механізмів і машин. Від точності їх виготовлення залежать надійність, довговічність та ефективність роботи всього обладнання в цілому.

Круглошліфувальні верстати є одним із найпоширеніших видів технологічного устаткування в металообробній промисловості. Їх застосовують для фінішного оброблення циліндричних та конічних поверхонь деталей типу вал. Завдяки цим верстатам досягаються мінімальні відхилення від заданої форми, необхідна шорсткість поверхні, висока точність розмірів та інші параметри, яких неможливо отримати іншими методами механічного оброблення.

Актуальність теми зумовлена декількома чинниками. По-перше, обсяги виробництва точних деталей для автомобілебудування, авіаційної та енергетичної галузей постійно зростають. По-друге, підвищення вимог до якості продукції спонукає виробників впроваджувати досконаліші методи оброблення. По-третє, розвиток систем автоматичного керування та числового програмного керування (ЧПК) відкриває нові можливості для оптимізації кінематики верстатів і підвищення їх продуктивності.

Кінематика круглошліфувального верстата є основою для розуміння принципів його роботи. Вона визначає характер і узгодженість рухів усіх виконавчих органів, що беруть участь у процесі шліфування. Правильно спроектована кінематична схема забезпечує необхідні режими різання, рівномірне знімання припуску та стабільну якість обробленої поверхні.

Основними рухами при круглому зовнішньому шліфуванні є: обертання шліфувального круга (головний рух різання), обертання заготовки навколо власної осі (колова подача), позовжнє переміщення заготовки вздовж осі (поздовжня

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Арк.	Акрупів
Розроб.		Чайківський						
Перевір.		Шанайда					7	2
Реценз.						ТНТУ, ФМТ		
Н. Контр.		Кобельник				каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.		Крупа						

подача) та поперечне переміщення шліфувальної бабки (подача на глибину). Взаємозв'язок цих рухів, їхні кінематичні параметри та принципи передачі обертального моменту становлять ключові питання аналізу верстата.

Виробництво валів охоплює широкий спектр галузей. Ступінчасті вали коробок передач, шпинделі металорізальних верстатів, колінчасті вали двигунів внутрішнього згоряння, ротори електричних машин. Усі ці деталі проходять операцію шліфування. Тому глибоке розуміння кінематики відповідного обладнання є необхідною умовою для інженера-технолога, конструктора та технічного фахівця у галузі машинобудування.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідити та детально проаналізувати кінематику круглошліфувального верстата, визначити основні кінематичні ланцюги, розрахувати швидкості та передаточні відношення, а також встановити взаємозв'язок між кінематичними параметрами та якісними характеристиками обробленої поверхні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: вивчити конструкцію та принцип дії круглошліфувального верстата; скласти та проаналізувати його кінематичну схему; визначити кінематичні ланцюги головного руху, руху подачі та допоміжних рухів; виконати кінематичні розрахунки для заданих режимів шліфування; оцінити вплив кінематичних параметрів на точність і продуктивність оброблення.

Об'єктом вивчення є круглошліфувальний верстат як технологічна система. Предметом вивчення виступає його кінематична схема та окремі виконавчі органи, що забезпечують процес шліфування циліндричних поверхонь валів.

Практичне значення роботи полягає у систематизації теоретичних відомостей та формуванні методичної бази для розрахунку і аналізу кінематики круглошліфувальних верстатів. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні технологічних процесів шліфування, налагодженні верстатного обладнання, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців машинобудівного профілю.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

З М І С Т

		стор.
	Вступ	7
1.	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1	Загальна характеристика ступінчастих валів	9
1.2	Класифікація та технічні вимоги до ступінчастих валів	9
1.3	Матеріали та способи отримання заготовок	10
1.4	Маршрутний технологічний процес обробки ступінчастих валів	10
1.5	Базування та закріплення ступінчастих валів	11
1.6	Вибір обладнання залежно від типу виробництва	12
1.7	Особливості обробки нежорстких валів	12
1.8	Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника	13
1.8.1	Призначення і технічна характеристика об'єкту виробництва	13
1.8.2	Аналіз технологічності деталі “Вал” КС6В-47.627	14
1.9	Аналіз схем формоутворення для вала зі шліцевими поверхнями та шпонковими пазами	16
1.9.1	Класифікація схем формоутворення	16
1.9.2	Схеми формоутворення циліндричних поверхонь вала	17
1.9.3	Схеми формоутворення шліцевих поверхонь	17
1.9.4	Схеми формоутворення шпонкових пазів	18
1.9.5	Технологічна сумісність схем при комплексній обробці	19
1.10	Висновки за результатами аналітичного аналізу	20

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зміст		
Розробив	Чайківський						
Перевірив	Шанайда						
Рецензент							
Н. контр. Зав. каф.	Кобельник Крупа						
					Літ	Аркуш	Аркушів
					5	2	
					ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41		

2.	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1	Вибір та техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі	21
2.2	Обґрунтування та вибір металообробного обладнання	26
2.3	Розрахунок припусків	29
2.4	Розрахунок режимів різання	37
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	47
3.1	Кінематичний розрахунок приводу верстата	47
3.2	Побудова структурної сітки, графіка чисел обертів для оптимального варіанту	48
3.3	Розробка конструкції приводу та її розрахунок	51
3.3.1	Побудова кінематичної схеми приводу, визначення передавальних відношень, чисел зубів передач	51
3.4	Визначення потужності електродвигуна	53
3.5	Визначення оптимальних крутних моментів	54
3.6	Розрахунок модуля передач та конструктивних параметрів зубчастих коліс	55
3.7	Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжних валів	62
3.8	Розрахунок клинопасової передачі	67
3.9	Підбір підшипників кочення	70
3.10	Система змащування	71
3.11	Опис конструкції і принципу роботи вузла	72
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	74
4.1	Категорійно-понятійний апарат з безпеки життєдіяльності	74
4.2	Розрахунок місцевого освітлення для верстату моделі ЗМ151Ф3	76
	Висновки	80
	Перелік посилань	81
	Додатки	85

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Загальна характеристика ступінчастих валів

Ступінчасті вали є одними з найпоширеніших деталей у машинобудуванні. Вони використовуються в редукторах, коробках швидкостей, шпиндельних вузлах, трансмісіях та багатьох інших механізмах. Висока точність геометричних параметрів, якісні показники поверхні та стабільність механічних властивостей є визначальними вимогами до їх виготовлення. Відповідно, питанням технології обробки ступінчастих валів присвячена значна кількість навчально-методичних та науково-технічних праць.

Актуальним завданням є систематизація даних джерел літератури, які висвітлюють сучасні підходи до класифікації, проектування заготовок, маршрутної технології, базування та вибору обладнання для обробки ступінчастих валів.

1.2. Класифікація та технічні вимоги до ступінчастих валів

У навчально-методичній літературі [13; 15; 17] наводиться розгорнута класифікація валів за такими ознаками:

- за конструктивними особливостями – гладкі, ступінчасті, колінчасті, вали-шестерні, черв'ячні вали;
- за співвідношенням довжини до діаметра – жорсткі ($L/D \leq 12$) та нежорсткі ($L/D > 12$);
- за формою поперечного перерізу – суцільні, пустотілі, зі шліцами, шпонковими пазами, різьбою.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Чайківський			АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрупів
Перевір.		Шанайда						
Реценз.						ТНТУ, ФМТ		
Н. Контр.		Кобельник				каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.		Крупа						

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 8820:2003, основні технічні вимоги до ступінчастих валів включають:

- допуски на діаметри шийок за квалітетами 6 – 7;
- шорсткість поверхонь, що сполучаються, у межах Ra 0,16 – 0,63 мкм;
- радіальне та торцеве биття не більше 0,01– 0,03 мм на 100 мм довжини;
- допуски на відстані між уступами за 8 –10 квалітетами точності.

Як зазначено в окремих навчальних матеріалах [13], дотримання цих вимог забезпечується правильно побудованим технологічним процесом, починаючи з вибору методу отримання заготовки та завершуючи фінішною обробкою.

1.3. Матеріали та способи отримання заготовок

За даними літератури [13; 15; 17] виділяють основні конструкційні матеріали, які використовують для виготовлення ступінчастих валів: вуглецеві сталі 35, 40, 45, 50, леговані сталі 40Х, 45Х, 40ХН, а також окремі марки високоміцного чавуну для малонавантажених валів.

Вибір способу отримання заготовки визначається типом виробництва:

- у дрібносерійному виробництві найчастіше використовують відрізки гарячекатаних або холоднотягнутих прутків [17];
- у серійному та великосерійному виробництві застосовують гаряче штампування, кування, а також сучасні методи, описані в [15]: радіальний обтиск та поперечно-гвинтове прокатування, які забезпечують коефіцієнт використання матеріалу до 0,95 та точність заготовки до 0,02 мм.

Таким чином, раціональний вибір заготовки дозволяє зменшити припуски на механічну обробку та скоротити трудомісткість виготовлення.

1.4. Маршрутний технологічний процес обробки ступінчастих валів

Типовий маршрут обробки ступінчастого валу, який у загальному випадку включає наступні етапи [13; 16; 17; 18]:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Фрезерування торців та зацентрування – створення базових поверхонь для подальшої обробки в центрах [19].
2. Чорнове точіння – видалення основного об'єму металу, формування попереднього профілю [5].
3. Чистове точіння (на токарних верстатах з ЧПУ, гідрокопіювальних напівавтоматах або багаторізцевих верстатах) – забезпечення розмірів за 8–10 квалітетами [5].
4. Обробка шпонкових пазів, шліців, отворів – фрезеруванням, довбанням або простяганням.
5. Нарізання різьби – різцями, мітчиками або фрезами [19, 20, 21].
6. Термічна обробка – покращення, гартування з відпуском для підвищення твердості та зносостійкості (за необхідності).
7. Остаточне шліфування шийок – досягнення точності за 6–7 квалітетом та шорсткості Ra 0,16–0,63 мкм.
8. Контроль – перевірка геометричних параметрів, твердості, наявності дефектів.

Особливу увагу [18] приділено послідовності обробки шийок з урахуванням їх жорсткості. Рекомендується спочатку обробляти більш жорсткі ділянки, а потім – менш жорсткі, що зменшує ймовірність вібрацій та прогинів.

1.5. Базування та закріплення ступінчастих валів

Питання базування деталей типу валів детально розглянуте як у технічній літературі [16], так і в нормативних документах (ДСТУ ГОСТ 14034:2003):

- форми центрових отворів (А, В, Т, F, Н) згідно з ДСТУ ГОСТ 14034:2003;
- види центрів – суцільні, з твердими вставками, обертові;
- поводкові пристрої (повідкові патрони, хомутики) для передачі крутного моменту;
- застосування нерухомих та рухомих люнетів для підвищення жорсткості при обробці нежорстких валів.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як наголошено, базування за центровими отворами є найбільш технологічним [16], оскільки забезпечує стабільність положення осі валу та дозволяє виконувати більшість операцій без перебазування [23].

1.6. Вибір обладнання залежно від типу виробництва

У джерелах навчальної та науково-технічної літератури [13; 17] наводиться чітка градація обладнання залежно від масштабу виробництва:

Тип виробництва	Рекомендоване обладнання
Дрібносерійне	Універсальні токарні та фрезерні верстати
Середньосерійне	Токарні верстати з ЧПУ, гідрокопіювальні напівавтомати
Великосерійне та масове	Токарно-револьверні верстати, багаторізцеві верстати, фрезерно-центрувальні напівавтомати барабанного типу

Автори [13] зазначають, що для обробки валів діаметром до 120 мм у великосерійному виробництві найбільш ефективними є токарно-револьверні верстати, а для валів більшого діаметра – багаторізцеві токарні верстати.

1.7. Особливості обробки нежорстких валів

Окрему увагу в літературі [15; 17] приділено обробці валів з відношенням $L/D > 12$. Для таких деталей рекомендовано:

- використання рухомих та нерухомих люнетів для зменшення прогину;
- проточування та шліфування спеціальних технологічних шийок під люнет;

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зменшення подачі та глибини різання на операціях чорнового точіння;
- застосування верстатів з ЧПУ з можливістю адаптивного керування режимами різання.

Як зазначено в [17], дотримання цих рекомендацій дозволяє мінімізувати похибки форми (конусність, овальність, бочкоподібність) навіть при обробці довгомірних валів.

1.8 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника

1.8.1 Призначення і технічна характеристика об'єкту виробництва

Деталь Вал КС6В-47.627 використовується в редукторі бурякозбирального комбайну КС6В.

Основне призначення деталі Вал КС6В-47.627 - передача обертового руху виконавчим органам агрегату завдяки зубчастим зачепленням зубчастих пар та кульковим підшипникам.

У відповідності із класифікатором ЄСКД [1] деталь Вал КС6В-47.627 відноситься до 71 класу. Даний клас містить наступну номенклатуру деталей: тіла обертання типу кілець, дисків, шківів, блоків, стержнів, втулок, стаканів, колонок, валів, осей, штоків, шпинделів, тощо. Дана деталь входить в третій діапазон по відношенню довжини деталі L до найбільшого зовнішнього діаметру D : $L/D > 2$, що класифікує деталі-тіла обертання як вали.

Основними поверхнями деталі, які мають основне значення для службового призначення деталі, є: дві зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 40k6^{+0,018}_{+0,002}$, Ra1,25, призначенні для посадки зубчастих коліс, а також для базування ущільнень, компенсаційних втулок та кілець, які забезпечують відповідний осьовий натяг в з'єднаннях; дві зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 40k6^{+0,018}_{+0,002}$, Ra1,25, які забезпечують посадку підшипників кочення - технічні пристрої, які підтримують

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вал, фіксують положення вала відносно інших частин редуктора, а також зменшують тертя між двома рухомими і нерухомими частинами механізму, зменшують знос та втрати енергії; шпонкові пази 12P9($\begin{smallmatrix} 0,018 \\ -0,061 \end{smallmatrix}$), Ra6,3 призначені для установки призматичних шпонок, які виконують передачу крутного моменту; шліцева поверхня D8×46a11×54h7×9h9 ГОСТ 1139-80 - призначена для установки шліцевої муфти; два різевих отвори M12-7H - для кріплення кришки редуктора; два отвори Ø5H12 призначені для фіксації кришки редуктора. Всі решта поверхонь є другорядними.

Деталь “Вал” КС6В-47.627 виготовляють з легованої сталі 40Х ГОСТ 4543-71 згідно креслення деталі.

1.8.2 Аналіз технологічності деталі “Вал” КС6В-47.627

Мета виконання аналізу технологічності деталі – встановити можливість зменшення трудомісткості обробки, металомісткості матеріалу у відходи, виявити можливість обробки деталі високопродуктивними методами.

Аналіз виконують двома способами: якісним і кількісним.

Якісна оцінка технологічності:

Конструкція даної деталі “Вал” КС6В-47.627 є достатньо простою і не вимагає спрощення або зміни, навіть при умові зміни типу виробництва.

Матеріалом деталі є легована сталь 40Х ГОСТ 4543-71 , яка відповідає всім технічним вимогам, які висуваються до деталі, та умовам експлуатації даної деталі. Заготовку виготовляють з прокату. Це раціональний метод отримання заготовки виходячи з умов заданого типу виробництва, марки матеріалу деталі, експлуатаційних вимог та конструкції деталі, а також з економічних міркувань.

В конструкції деталі на перших операціях передбачено утворення центрових отворів, які будуть використовуватися на наступних операціях в якості баз. Також

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в якості технологічних баз використовуються зовнішні циліндричні і торцеві поверхні деталі.

Конструкцією та призначенням деталі не передбачено важкодоступних та важкооброблюваних поверхонь, які б вимагали дорогих, складних методів обробки, а відповідно нетехнологічних поверхонь.

Всі поверхні деталі зручні і доступні для контролю.

Деталь “Вал” КС6В-47.627 є жорсткою.

При виготовленні деталі можливо використовувати високопродуктивне спеціалізоване та спеціальне обладнання та оснащення.

Аналізуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що дана деталь є технологічною.

Кількісна оцінка технологічності:

Кількісну оцінку технологічності виробу можна провести за оцінкою величин наступних показників: трудомісткості, технологічної собівартості, точності обробки, шорсткості, коефіцієнту використання матеріалу, коефіцієнту уніфікації конструктивних елементів.

Зрівнювальна оцінка технологічності конструкції деталі по трудомісткості і по технологічній собівартості може бути проведена лише після розробки і нормування технологічного процесу.

Технологічність конструкції деталі по коефіцієнту використання матеріалу остаточно можна провести після вибору способу отримання заготовки і розрахунку припусків на обробку. Тому на даному етапі оцінки технологічного процесу слід виконувати оцінку технологічності лише за двома показниками: коефіцієнту шорсткості, коефіцієнту уніфікації конструктивних елементів.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9 Аналіз схем формоутворення для вала зі шліцевими поверхнями та шпонковими пазами

Вал із шліцевими поверхнями та шпонковими пазами належить до типових деталей типу "тіла обертання" з додатковими елементами для передачі крутного моменту. Формоутворення таких деталей передбачає поєднання різних методів обробки: отримання гладких циліндричних поверхонь, шліців (прямобічних, евольвентних або трикутних) та шпонкових пазів (зазвичай призматичних чи сегментних).

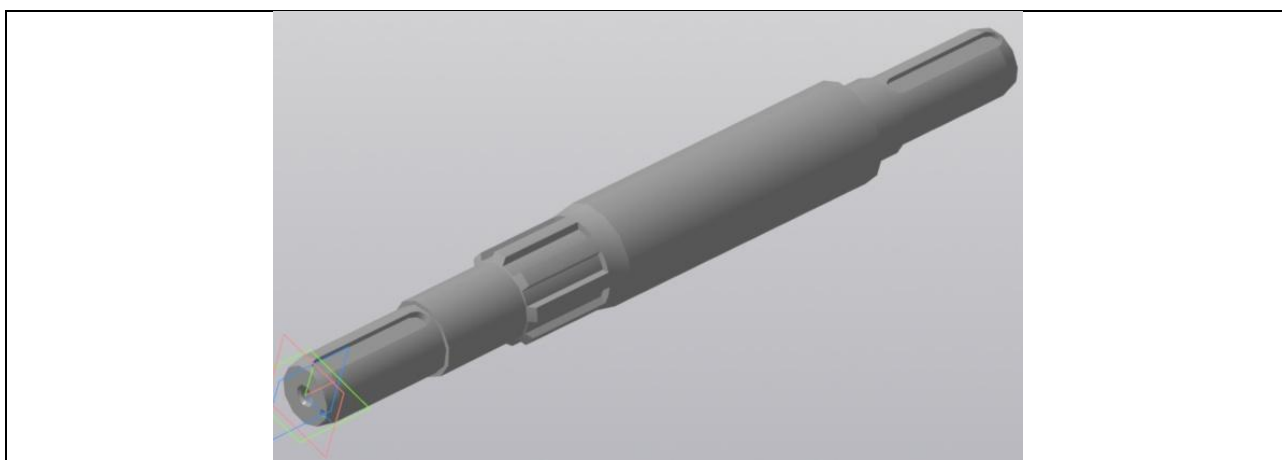


Рисунок 1.1 – модель деталі Вал КС6В-47.627

1.9.1 Класифікація схем формоутворення

За теоретичною класифікацією розрізняють чотири основні схеми формоутворення:

- метод копіювання – форма поверхні повністю відтворюється формою різальної кромки інструменту.
- метод сліду – профіль утворюється як слід руху точки або лінії інструменту.
- метод обкату – формоутворення відбувається за рахунок відносного обкочування інструменту та заготовки (застосовується для зубчастих та шліцевих валів).
- метод дотику – поєднання обертання заготовки та руху подачі.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9.2 Схеми формоутворення циліндричних поверхонь вала

Гладкі шийки вала формуються переважно методом сліду при поздовжньому точінні: різальна кромка різця (точка або лінія) утворює твірну, а обертання заготовки – направляючу лінію. Для підвищення точності можливе застосування копіювальних схем при багаторізцевій обробці.

1.9.3 Схеми формоутворення шліцевих поверхонь

Шліци можуть бути отримані декількома способами, кожен з яких реалізує певну кінематичну схему:

Метод обробки	Схема формоутворення	Особливості
Фрезерування шліців дисковими або пальцевими фрезами	Копіювання + сліду	Профіль фрези відповідає западині, обертання заготовки – періодичне ділення (схема сліду)
Шліцефрезерування обкатуванням (черв'ячними фрезами)	Обкатування	Інструмент має рейковий профіль, формоутворення – за методом обкату зуба; висока продуктивність та точність
Протягування шліців	Копіювання (послідовне)	Профіль западини відтворюється підйомом зубів протяжки; висока точність, але обмеження за довжиною

Шліценакочування	Пластичне деформування (схема накочування)	Утворення виступів за рахунок вдавлювання роликів; схема близька до обкатування без зняття стружки
------------------	--	--

Для дрібно- та середньосерійного виробництва доцільне фрезерування обкатуванням; для масового – протягування або накочування. Схема обкатування забезпечує найбільш точний профіль та плавність роботи.

1.9.4 Схеми формоутворення шпонкових пазів

Шпонкові пази на валу (зазвичай відкриті або закриті) можна формувати різними інструментами:

Тип паза	Інструмент	Схема формоутворення	Пояснення
Відкритий (на кінці)	Дискова фреза	Копіювання	Профіль паза відповідає профілю фрези, заглиблення – радіальна подача
Закритий (на середині)	Кінцева фреза (пальцева)	Слідове формоутворення	Форма утворюється рухом фрези по складній траєкторії (поздовжньо-поперечне фрезерування)

Будь-який	Шпонкова протяжка (на спец. верстатах)	Копіювання (профільне)	Шляхом послідовного знімання припуску кожним зубом
-----------	--	---------------------------	--

Додатково можливе довбання шпонкових пазів (на довбальних верстатах) – формоутворення методом сліду зі зворотно-поступальним рухом різця.

1.9.5 Технологічна сумісність схем при комплексній обробці

Оскільки вал має кілька різнотипних поверхонь, необхідно забезпечити базування та сумісність схем формоутворення в єдиному технологічному процесі.

Рекомендована послідовність:

1. Попередня обробка циліндричних поверхонь (метод сліду) – на центрах або в патроні.
2. Фрезерування шліців (метод обкату або копіювання) – з використанням тих самих базових центрів.
3. Фрезерування шпонкових пазів – після шліців (для уникнення деформації кромки). Схема формоутворення методом сліду кінцевою фрезою з орієнтацією паза відносно шліців.
4. Чистове шліфування шийок (за потреби) – метод сліду з малою подачею.

Шпонкові пази доцільно обробляти за один установ з базуванням за шліци або за центрові отвори. При використанні методу обкату для шліців не рекомендовано перевстановлювати вал до завершення чистової обробки, щоб зберегти співвісність.

Таким чином, спираючись на результати проведеного аналізу ми дійшли наступних висновків:

1. Для шліцевих поверхонь вала найбільш технологічно обґрунтованою є метод обкату (черв'ячно-шліцевими фрезами), що забезпечує високу точність та

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивність при серійному виробництві.

2. Для відкритих шпонкових пазів раціональним буде метод копіювання дисковими фрезами; для закритих – метод сліду шляхом формоутворення пальцевими кінцевими фрезами.
3. При суміщенні схем необхідно дотримуватись принципу єдності баз та мінімізації перевстановлень. Витримувати наступну послідовність обробки: обробка гладких шийок → нарізання шліців → нарізання шпонкових пазів → виконання чистової обробки.
4. Подальший аналіз доцільно проводити з використанням методу енергоємності процесів або з використанням програмного моделювання (CAD/CAM).

1.10. Висновки за результатами аналітичного аналізу

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє зробити наступні висновки:

1. Технологічний процес обробки ступінчастих валів є "типовим" і добре опрацьованим у навчально-методичній літературі. Він включає етапи від вибору заготовки до фінішної обробки та контролю.
2. Вибір методу отримання заготовки, верстатного обладнання та різального інструменту залежить від типу виробництва (дрібносерійне, середньосерійне, великосерійне/масове).
3. Для забезпечення високої точності (особливо для валів з відношенням $L/D > 12$) критичними є питання раціонального базування (переважно в центрах) та забезпечення жорсткості технологічної системи (застосування люнетів, раціональний вибір режимів різання).
4. Сучасні методи отримання заготовок (радіальний обтиск, поперечно-гвинтове прокатування) дозволяють значно зменшити припуски та трудомісткість механічної обробки.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір та техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі

Аналіз базового технологічного процесу виконуємо та оформляємо звітну таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Аналіз базового технологічного процесу

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
1	2	3
005 Фрезерно - центрувальна	Фрезерно- центрувальний верстат мод. МР-76М	Універсальне збірно- розбірне пристосування із базуванням по зовнішній циліндричній поверхні на призми з упором в торець з ручним затиском
010-025 Токарно-гвинторізна з ЧПК	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК мод. 16К20Ф3	Патрон токарний повідковий D= 200 ГОСТ 2571-71 Центр обертовий КМ5 ГОСТ 8742-75
030 Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний верстат мод. 692Р	Універсальне збірно- розбірне пристосування з базуванням по зовнішній циліндричній поверхні на призми з упором в торець з ручним затиском
035 Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний верстат мод. 692Р	Універсальне збірно- розбірне пристосування з базуванням по зовнішній циліндричній поверхні на призми з упором в торець з ручним затиском
040 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний верстат мод. 5350	Центр 7032-0029 КМ4 ГОСТ 13214-79 Центр А-І-5-Н ГОСТ 8742-75 Хомутик 7107-0039 ГОСТ 2578-70

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чайківський				ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Шанайда							
Реценз.								
Н. Контр.	Кобельник					ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.	Крупа							

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3
045-055 Радіально-свердлильна	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55	Універсальне збірно-розбірне пристосування із базуванням на призми з ручним затиском
060-080 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат мод. 3Б151	Центр 7032-0032 КМ4 ГОСТ 13214-79 Хомутик 7107-0066 ГОСТ 16488-70

Враховуючи те, що базове підприємство працює в умовах серійного виробництва, проаналізувавши вищенаведене, можемо зробити висновки, про те, що при проектуванні даного технологічного процесу обробки деталі “Вал” витримані технологічні характеристики даного типу виробництва, а саме:

- застосування універсального збірно-розбірного, спеціалізованого технологічного оснащення;
- застосування універсального, частково автоматизованого обладнання, що характерно для середньосерійного типу виробництва;
- при вимірюванні і контролі поверхонь деталі використовується універсальний вимірювальний інструмент, калібри, шаблони;
- при обробці поверхонь деталі використовується універсальний різальний інструмент;
- концентрація операцій даного технологічного процесу відповідає базовому типу виробництва.

Для підвищення економічності, продуктивності та ефективності обробки даної деталі в проектний технологічний процес вносимо наступні зміни:

- впровадження в технологічний процес значно дешевшого, відповідно економічнішого методу отримання заготовки - прокату;
- токарна обробка поверхонь, буде проводитись на токарних копіювальних напівавтоматах замість універсальних токарно-гвинторізних верстатів з ЧПК мод. 16К20Ф3;

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконується заміна універсального радіально-свердлильного верстату мод. 2Н55 на спеціальний вертикально-свердлильний напівавтомат мод. 2Н150А, обробка на якому виконується в автоматичному циклі;
- відповідно, із зміною обладнання відбудеться зміна технологічного оснащення та різального інструменту на продуктивніше, зокрема - застосування комбінованого осевого інструменту при обробці отвору під різь.

Першочергово розглядають початкові етапи проектування технологічного процесу механічної обробки деталі. Обґрунтовується необхідність побудови маршруту обробки як основи для подальшої розробки повної технології.

1. Визначення маршруту обробки. Перед розробкою повного технологічного процесу механічної обробки деталі необхідно сформулювати послідовність технологічних операцій, які виконуються над її поверхнями, так званий маршрут обробки.

2. Вибір методів обробки поверхонь. Складання маршруту передбачає попереднє визначення можливих технологічних методів обробки кожної окремої поверхні деталі. Зазначений вибір здійснюється з урахуванням таких факторів:

- характер і точність вихідної заготовки;
- габаритні розміри заготовки;
- необхідні точність та якість готової деталі;
- тип виробництва (одиничне, серійне, масове);
- інші технологічні обмеження.

3. Альтернативність маршрутів. Як правило, для досягнення однакових кінцевих параметрів деталі існує кілька альтернативних варіантів методів обробки. При цьому кількість технологічних переходів для кожної поверхні може суттєво відрізнятись залежно від обраного варіанту.

4. Критерій оптимальності. Перевага надається тому маршруту, який забезпечує найкоротший технологічний шлях для досягнення заданих:

- геометричних розмірів;
- точності обробки;
- параметрів шорсткості поверхні.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншими словами, доцільно мінімізувати кількість технологічних переходів за умови виконання всіх технічних вимог до деталі.

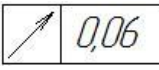
5. Технологічна сумісність. Запропоновані варіанти маршрутів обробки окремих поверхонь повинні бути перевірені на технологічну сумісність, а також на можливість їх реалізації для обробки інших поверхонь протягом одного встановлення деталі (без перевстановлення).

Вибір методів і маршрутів обробки можна рекомендувати по наступній загальній схемі:

1. визначають поверхні заготовки, які підлягають обробці.
2. потім для кожної з поверхонь намічають можливі методи і стадії обробки, які забезпечують виконання технічних вимог до цих поверхонь, згідно таблиць економічної точності, що приводяться в додатках.

Алгоритм вирішення поставлених завдань зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. - Методи і маршрути обробки поверхонь деталі

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1,16	Горцева поверхня 498 _{-0,3}	11	Ra 25	Фрезерування напівчистове	
2, 15	Фаска зовнішня 6 × 15°	14	Ra 25	Точіння чорнове	
3,14	Зовнішня циліндрична поверхня Ø39,9h14 (-0,62)	14	Ra 25	Точіння чорнове	
4,13	Зовнішня циліндрична поверхня Ø40k6 ^(+0,018/+0,002) 	6	Ra 1,25	1. Чорнове точіння 2. Напівчистове точіння 3. Напівчистове шліфування 4. Чистове кругле шліф-ня з уст-ю в центрах	1. Чорнове точіння 2. Напівчистове точіння 3. Чистове точіння 4. Тонке точіння при поздовжній подачі

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.1.

17,18	Отвір Ø 10,2H14 ^(+0,36)	14	Ra 25	Свердління	
19,20	Різьба M12-7H l = 32	13	Ra 12,5	Нарізання різи мітчиком	
21,22	Внутрішня фаска 1,6x45°	14	Ra 25	Зенкування	
23,24	Отвір Ø5H12 ^(+0,12) , l = 32	12	Ra 25	Свердління по кондуктору	

Керуючись принципами сталості баз, суміщення баз та технологічної сумісності, а також враховуючи тип виробництва, що впливає на концентрацію чи диференціацію операцій, вибираємо оптимальний варіант маршруту обробки деталі. Структуру маршруту вибираємо паралельно з видами обладнання.

2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

При виборі оптимального варіанту пристосування повинні враховуватись: технічні вимоги на виготовлення деталі, кількість оброблюваних деталей, необхідна продуктивність, вимоги техніки безпеки та промислової санітарії, затрати на виготовлення пристосування [2, 23, 24].

Таблиця 2.3 - Вибір обладнання та оснащення

№ операції	Назва операції	Назва і модель верстату	Пристосування
1	2	3	4
005	Фрезерно-відрізна	Круглопилний верстат мод. 8Г642	Спеціальне пристосування з базуванням заготовки на призму із упором в торець з пневмозатиском
010	Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний верстат мод. 2Г942.04	Спеціальне пристосування з базуванням заготовки на призму із упором в торець з пневмозатиском

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

1	2	3	4
015	Токарно-копіювальна	Токарно-копіювальний напівавтомат мод. 1712	Спеціальний повідковий патрон (несамоцентрівний) самозатискний Центр обертовий КМ5 ДСТУ ГОСТ 8748:2005 Люнет з комплекту
020	Токарно-копіювальна	Токарно-копіювальний напівавтомат мод. 1712	Спеціальний повідковий патрон (несамоцентрівний) самозатискний Центр обертовий КМ5 ДСТУ ГОСТ 8748:2005 Люнет з комплекту
025	Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат мод. 692М	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
030	Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний напівавтомат мод. 692М	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
035	Шліцефрезерна	Шліцефрезерний напівавтомат мод. 5350	Спеціальний повідковий патрон (несамоцентрівний) самозатискний Центр обертовий КМ5 ДСТУ ГОСТ 8748:2005
040	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування - кондуктор із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4
045	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування - кондуктор із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
050	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
055	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
060	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
065	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний спеціальний напівавтомат мод. 2Н150А	Спеціальне пристосування із базуванням циліндричною поверхнею на призми з упором в торець з пневмозатиском
070-090	Кругло шліфувальна	Круглошліфувальний напівавтомат мод. 3М151Ф2	Спеціальний повідковий патрон (несамоцентрівний) самозатискний Центр упорний КМЗ ГОСТ 18260-72
095	Контроль		Стіл контролера

2.3. Розрахунок припусків

Припуски визначають дуже важливі в технології параметри - проміжні розміри, які фігурують в технологічній документації і в залежності від яких підбираються різучі і вимірювальні інструменти, проектується оснащення, назначаються режими різання і норми часу [2, 23].

Визначення міжопераційних та проміжних припусків на обробку в проекті слід виконувати двома способами:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Розрахунково-аналітичним методом на одну точну поверхню деталі.
2. Табличним методом - на всі інші оброблювані поверхні.

Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків дозволяє більш точно визначити величину припуску і застосовується при розрахунках у велико - серійному та масовому виробництвах. В основу методу покладено розрахунок мінімальних (Z_{imin}) операційних, проміжних припусків таких, що при їх знятті повністю усувались дефекти якісного складу поверхневого шару попередніх операцій, а також похибки установок заготовок, що виникають на виконуваних переходах. Ці припуски розраховують на основі аналізу конкретних факторів тех. процесу, що впливають на їх формування, з використанням нормативних матеріалів.

Мінімальні операційні, проміжні припуски при розрахунково-аналітичному методі визначаємо за формулою:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot \left(R_{zi-i} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right).$$

де $2Z_{imin}$ - мінімальний припуск на діаметр при переході, що виконується (індекс i);

Z_{zi-1} - шорсткість попереднього переходу (попереднього стану заготовки перед переходом, що виконується), мкм;

T_{i-1} - товщина дефектного шару попереднього стану заготовки перед переходом, що виконується (ливарна кірка, наклеп при штампуванні або куванні, знеуглецьований шар, залишкові напруження, тощо), мкм;

ρ_{i-1} - сумарні значення просторових відхилень попереднього стану перед переходом, що виконується, мкм;

ε_{i-1} - похибка установки заготовки на переході, що виконується, мкм.

Такий розрахунок проводимо для зовнішньої циліндричної поверхні $\emptyset 40k6^{+0,018}_{+0,002}$; Ra 1,25.

Технологічні переходи обробки цієї поверхні наступні:

1. Чорнове точіння h14.
2. Напівчистове точіння h11.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

$R_{zi} = 100$ мкм, $T_i = 50$ мкм. після напівчистового точіння. Просторові відхилення при напівчистовому шліфуванні визначаємо за формулою:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot K_y,$$

де K_y - коефіцієнт уточнення; після чорнового точіння $K_y = 0,05$.

$$\rho_2 = 409 \cdot 0,06 = 24,5 \text{ мкм.}$$

Для шліфування напівчистового:

$R_{zi} = 20$ мкм, $T_i = 30$ мкм. після напівчистового точіння.

Просторові відхилення при напівчистовому шліфуванні визначаємо за формулою:

$$\rho_3 = \rho_2 \cdot K_y,$$

де K_y - коефіцієнт уточнення; після напівчистового точіння $K_y = 0,05$.

$$\rho_3 = 24,5 \cdot 0,05 = 1,225 \text{ мкм.}$$

Для шліфування чистового:

$R_{z4} = 10$ мкм, $T_4 = 20$ мкм після напівчистового шліфування.

Значенням просторового відхилення на даному переході нехтуємо, так як воно є дуже малим.

Визначити мінімальні припуски для кожного переходу. Так як похибка установки на всіх переходах дорівнює нулю, тоді формула буде мати наступний вигляд:

$$2Z_{1\min} = 2(R_{zi-1} + T_{1-i} + \rho_{i-1}).$$

1. Для чорнового точіння:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot (160 + 250 + 250) = 2 \cdot 660 = 1320 \text{ мкм.}$$

2. Для напівчистового точіння:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (100 + 50 + 24,5) = 2 \cdot 174,5 = 349 \text{ мкм.}$$

3. Для напівчистового шліфування:

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (20 + 30 + 1,225) = 2 \cdot 51,225 = 102,45 \text{ мкм.}$$

4. Для чистового шліфування:

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (10 + 20) = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мкм.}$$

Визначити розрахункові розміри для переходів за формулами:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Для чистового шліфування:

$$d_{p4} = d_{\text{min.деталі}} = 40 + 0,002 = 40,002 \text{ мм.}$$

2. Для напівчистового шліфування:

$$d_{p3} = d_{p4} + 2Z_{4\text{min.}} = 40,002 + 0,060 = 40,062 \text{ мм.}$$

3. Для напівчистового точіння:

$$d_{p2} = d_{p3} + 2Z_{3\text{min.}} = 40,062 + 0,102 = 40,164 \text{ мм.}$$

4. Для чорнового точіння:

$$d_{p1} = d_{p2} + 2Z_{2\text{min.}} = 40,164 + 0,349 = 40,513 \text{ мм.}$$

5. Для заготовки:

$$d_{p\text{заг.}} = d_{p1} + 2Z_{1\text{min.}} = 40,513 + 1,32 = 41,833 \text{ мм.}$$

Визначаємо допуски для переходів за даними таблиць ЄСДП [24].

Заготовка (прокат $d = 60$ мм звичайної точності прокатки) $\rightarrow \delta_{\text{заг.}} = 1,6$ мм.

1. Точіння чорнове h14 $\rightarrow \delta_1 = 0,62$ мм.

2. Точіння напівчистове h11 $\rightarrow \delta_1 = 0,16$ мм.

3. Шліфування напівчистове h8 $\rightarrow \delta_2 = 0,039$ мм.

4. Шліфування чистове k6 $\rightarrow \delta_3 = 0,016$ мм.

Визначаємо граничні розміри $d_{\text{min.}i}$ по переходам, округлюючи розрахункові розміри в сторону збільшення припуску. Округлення проводять до того ж знаку десяткового дробу, з яким є допуск на розмір відповідного переходу.

Для шліфування чистового: $d_{\text{min.}4} = 40,002$ мм.

Для шліфування напівчистового: $d_{\text{min.}3} = 40,062$ мм.

Для точіння напівчистового: $d_{\text{min.}2} = 40,16$ мм.

Для точіння чорнового: $d_{\text{min.}1} = 40,51$ мм.

Для заготовки: $d_{\text{min.}заг.} = 41,83$ мм.

Визначаємо граничні розміри $d_{\text{max.}i}$ по переходах за формулою:

$$d_{\text{max.}i} = d_{\text{min.}i} + \delta_i.$$

Для шліфування чистового: $d_{\text{max.}4} = 40,002 + 0,016 = 40,018$ мм.

Для шліфування напівчистового: $d_{\text{max.}3} = 40,062 + 0,039 = 40,101$ мм.

Для точіння напівчистового: $d_{\text{max.}2} = 40,16 + 0,16 = 40,32$ мм.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для точіння чорнового: $d_{\max.1} = 40,51 + 0,62 = 41,13$ мм.

Для заготовки: $d_{\max.заг} = 41,83 + 1,6 = 43,43$ мм.

Визначаємо розрахункові граничні значення припусків $2Z_{i \min}$, $2Z_{i \max}$ для кожного переходу із врахуванням округлених значень граничних розмірів за формулами:

$$2Z_{i \max} = d_{\max.i-1} - d_{\max.i} \quad 2Z_{i \min} = d_{\min.i-1} - d_{\min.i}$$

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1 \max} = 43,43 - 41,13 = 2,3 \text{ мм.} \quad 2Z_{1 \min} = 41,83 - 40,51 = 1,32 \text{ мм.}$$

Для точіння напівчистового:

$$2Z_{2 \max} = 41,13 - 40,32 = 0,81 \text{ мм.} \quad 2Z_{2 \min} = 40,51 - 40,16 = 0,35 \text{ мм.}$$

Для шліфування напівчистового:

$$2Z_{3 \max} = 40,32 - 40,101 = 0,219 \text{ мм.} \quad 2Z_{3 \min} = 40,16 - 40,062 = 0,098 \text{ мм.}$$

Для шліфування чистового:

$$2Z_{4 \max} = 40,101 - 40,018 = 0,083 \text{ мм.} \quad 2Z_{4 \min} = 40,062 - 40,002 = 0,06 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальні припуски за формулами:

$$2Z_{заг. \max.} = \Sigma 2Z_{i \max} = 2,3 + 0,81 + 0,219 + 0,083 = 3,412 \text{ мм.}$$

$$2Z_{заг. \min.} = \Sigma 2Z_{i \min} = 1,32 + 0,35 + 0,098 + 0,06 = 1,828 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальний номінальний припуск $2Z_{заг. \text{ ном}}$ та номінальний розмір заготовки $d_{заг. \text{ ном}}$ за формулами:

$$2Z_{заг. \text{ ном.}} = 2Z_{заг. \min.} - e_{i \text{ заготовки}} - e_{i \text{ деталі}};$$

$$d_{заг. \text{ ном.}} = d_{\text{ ном.}} + 2Z_{заг. \text{ ном.}}$$

де $e_{i \text{ заготовки}}$ - нижнє граничне відхилення розміру заготовки;

$e_{i \text{ деталі}}$ - нижнє граничне відхилення розміру деталі;

$d_{\text{ ном.}}$ - номінальний розмір деталі по кресленню.

Відповідно:

$$2Z_{заг. \text{ ном.}} = 1,828 - (-0,5) - 0,002 = 2,33 \text{ мм};$$

$$d_{заг. \text{ ном.}} = 40 + 2,33 = 42,33 \text{ мм.} \text{ Приймаємо } d_{заг. \text{ ном.}} = 42,33 \text{ мм.}$$

Перевіряємо правильність проведених розрахунків за формулами:

$$2Z_{i \min} - 2Z_{i \max} = \delta_{di-1} - \delta_{di}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для чорнового точіння: $2,3 - 1,32 = 1,6 - 0,62$ мм.

Для напівчистового точіння: $0,81 - 0,35 = 0,62 - 0,16$ мм.

Для шліфування напівчистового: $0,219 - 0,098 = 0,16 - 0,039$ мм.

Для шліфування чистового: $0,083 - 0,06 = 0,039 - 0,016$ мм.

Висновок: Розрахунки проведені вірно.

Заносимо всі визначені величини в розрахункову таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахункові припуски і граничні розміри на механічну обробку поверхні 40к6

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 40k6$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\max}$, мм	Розрахунковий розмір d_{ri} , мм	Допуск δ_d , мм	Граничні розміри, мм		Розрахункові граничні припуски, мм	
	R_z	T	P	ϵ_y				d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{i\min}$	$2Z_{i\max}$
Заготовка (звичайної точності прокатки)	160	250	409			41,833	1,6	41,83	43,43		
Точіння чорнове h14	100	50	24,5	0	1320	40,513	0,62	40,51	41,13	1,32	2,3
Точіння напівчистове h11	20	30	1,225	0	349	40,164	0,16	40,16	40,32	0,35	0,81
Шліфування напівчистове h8	10	20	—	0	102,45	40,062	0,039	40,062	40,101	0,098	0,219
Шліфування чистове k6	5	—	—	0	60	40,002	0,016	40,002	40,018	0,06	0,083
Загальний припуск										1,828	3,412

Побудуємо схему графічного розташування припусків та допусків для поверхні $\varnothing 40k6$ (рис. 2.1).

2_{Z2max} точіння чорного 2,3 мм

2_{Z2min} точіння чорного 1,32 мм

2_{Z2max} точіння напівчистого 0,81 мм

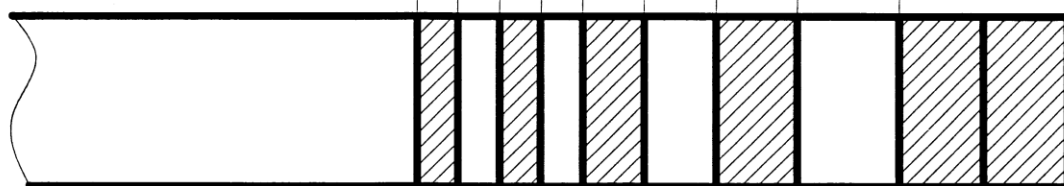
2_{Z2min} точіння напівчистого 0,35 мм

2_{Z3max} шліфування напівчистого 0,219 мм

2_{Z3min} шліфування напівчистого 0,098

2_{Z4max} шліфування чистого 0,083 мм

2_{Z4min} шліфування чистого 0,06 мм



δd шліфування чистого 0,016 мм

d_{min} шліфування чистого 40,002 мм

d_{max} шліфування чистого 40,018 мм

δd шліфування напівчистого 0,039 мм

d_{min} шліфування напівчистого 40,062 мм

d_{max} шліфування напівчистого 40,101 мм

δd точіння напівчистого 0,16 мм

d_{min} точіння напівчистого 40,16 мм

d_{max} точіння напівчистого 40,32 мм

δd точіння чорного 0,62 мм

d_{min} точіння чорного 40,51 мм

d_{max} точіння чорного 41,13 мм

δd заготовки 1,6 мм

d_{min} заготовки 41,83 мм

$d_{ном.}$ заготовки 42,33 мм

d_{max} заготовки 43,43 мм

Рисунок 2.1 - Схема графічного розташування припусків та допусків на обробку поверхні $\varnothing 40k6$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Арк.

2.4. Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання виконуємо наступними методами:

1) розрахунково-аналітичним методом - для 2-х технологічних переходів 015 операції (перехід 2).

2) табличним методом - для решти переходів та операцій.

015 Операція Токарно-копіювальна

Перехід 2.

Точити попередньо поверхні 4, 7 з попередньою підрізкою торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$, $l = 85$; $\varnothing 53,06h14_{(-0,74)}$, $l = 107,2_{-0,87}$ послідовно з копіювального супорта по копіру Матеріал різальної частини - твердий сплав Т5К10.

Ріжучий інструмент: різець токарний прохідний упорний, Т5К10, $\varphi=90^\circ$; 20 × 16 ДСТУ ГОСТ 18877:2003

1. Визначаємо глибину різання:

Для поверхні 4 $t_1 = 5$ мм.

Для поверхні 7 $t_2 = 3,47$ мм.

Режими різання будемо назначати для обробки поверхні 4 з розміром $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$, так як глибина різання на цьому відрізку найбільша.

2. Визначаємо довжину робочого ходу копіювального супорта:

$$L_{р.х.} = l_{різ1} + l_{різ2} + l_{різ3} + l_2 + l_{дод.}$$

де $l_{різ1}$, $l_{різ2}$, $l_{різ3}$ - довжина різання на всіх ділянках, мм;

l_2 - величина підводу, врізання та перебігу інструменту, мм;

$l_{дод.}$ - додаткова довжина ходу, яка викликана конфігурацією копіра, мм.

$l_{різ1} = 85$ мм, $l_{різ2} = 1,53$ мм, $l_{різ3} = 22,2$ мм,

$l_2 = 0$ мм;

$l_{дод.} = 20$ мм;

$L_{р.х.} = 85 + 1,53 + 22,2 + 0 + 20 = 128,73$ мм.

3. Визначаємо подачу супорта на оберт шпинделя:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для копіювального супорта $S_{от} = 0,8$ мм/об [23, 24].

$$S_o = S_{от} \cdot K_s = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ мм/об,}$$

де $S_{от}$ - табличне значення подачі, мм/об;

K_s - поправочний коефіцієнт на подачу, який залежить від умов обробки,

$K_s = 0,8$ при обробці преривчастої ступінчастої поверхні.

4. Визначаємо період стійкості інструменту в хвилинах машинної роботи верстата:

$$T_m = 60 \text{ хв;}$$

5. Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де T - стійкість різання, хв;

t - глибина різання, мм;

S - подача різання, мм/об;

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv};$$

K_{mv} - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки;

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

K_{iv} - поправочний коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента;

C_v - коефіцієнт, який впливає на швидкість різання;

x, y, m - показники степені.

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$$

$\sigma_B = 980$ МПа; $K_r = 1,0$; $n_v = 1,0$.

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{980} \right)^{1,0} = 0,765$$

$K_{nv} = 0,9$ - для прокату; $K_{iv} = 0,65$ для марки матеріалу Т5К10;

$C_v = 350$; $x = 0,15$; $y = 0,35$; $m = 0,20$;

$$K_v = 0,765 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,45;$$

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,64^{0,35}} \cdot 0,45 = 63,6 \text{ м/хв.}$$

						КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

6. Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 63,6}{\pi \cdot 50} = 405 \text{ хв}^{-1}.$$

7. Приймаємо по паспорту верстата частоту обертання шпинделя: $n_d = 400 \text{ хв}^{-1}$.

8. Коректуємо швидкість різання за формулою:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n_d}{1000} = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 400}{1000} = 62,8 \text{ м/хв.}$$

9. Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p;$$

де t - глибина різання, мм;

S - подача різання, мм/об;

V - швидкість різання, м/хв;

K_p - поправочний коефіцієнт, який враховує фактичні умови різання;

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp};$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n; K_{mp} = \left(\frac{980}{750}\right)^{0,75} = 1,22; K_{fp} = 0,89; K_{yp} = 1,0; K_{lp} = 1,0; K_{rp} = 0,93;$$

$$K_p = 1,22 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,0;$$

$$C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = 0,15;$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,64^{0,75} \cdot 62,8^{-0,15} \cdot 1,0 = 5751 \text{ Н}$$

10. Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{5751 \cdot 62,8}{1020 \cdot 60} = 5,9 \text{ кВт.}$$

11. Перевіряємо, чи достатня потужність приводу верстата для обробки деталі на даному переході. Необхідно, щоб:

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{шп}}, \text{ кВт}; N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta, \text{ кВт};$$

де N_d - потужність приводу головного руху верстата мод. 1712 - 10 кВт;

η - к.к.д. верстата, $\eta = 0,8$.

$$N_{\text{шп}} = 10 \cdot 0,8 = 8,0 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{різ}} = 5,9 \text{ кВт} < N_{\text{шп}} = 8,0 \text{ кВт}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Визначаємо основний час за формулою:

$$T_0 = \frac{L_{p.x.}}{S_0 \cdot n} = \frac{128,73}{0,64 \cdot 400} = 0,5 \text{ хв.}$$

Розрахунок режимів різання на всі решта операції та переходи не приводимо, а результати розрахунків зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5. - Зведена таблиця режимів різання

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L мм	i	T _m , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _m , мм/хв	T _o , хв	N. кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Фрезерно-відрізна										
Відрізати заготовку, витримуючи розмір 502±0,75	2,0	100	1	500	0,035 мм/ зуб	21	34	—	1,89	0,26
010 Фрезерно-центрувальна										
Перехід 1 Фрезерувати торці 1, 16, витримуючи розмір 498 _{-0,03} одночасно	2,0	162	1	120	1,5	500	250	—	0,22	2,72
Перехід 2 Свердлити два центрові отвори 25, 26, витримуючи розміри Ø6,3; l= 8,0 одночасно	3,15	16	1	150	0,03	900	12,2	—	0,6	1,06

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Продовження таблиці 2.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015 Токарно-копіювальна										
Перехід 1 Точити попередньо поверхні 4, 7 з попередньою підрізкою торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$, $l = 85$; $\varnothing 53,06h14_{(-0,74)}$, $l = 107,2_{-0,87}$ послідовно з копіювального супорта по копіру	5,0	128,73	1	60	0,64	400	62,8	—	0,5	5,9
Перехід 2 Точити попередньо поверхні 4, 7, витримуючи розміри $\varnothing 41,13h14_{(-0,74)}$, $l = 85$; $\varnothing 46,12h14_{(-0,62)}$, $l = 107,2_{-0,87}$ послідовно з копіювального супорта по копіру; точити фаску 2 витримуючи розмір $8,3 \times$ 15° з поперечного супорта одночасно	4,435 (коп. суп.)	130,9	1	60	0,6	510	65,86	—	0,43	6,6
	2,2 (поп. суп.)	4,0	1	60	0,15		141,75			
Перехід 3 Точити остаточно поверхні 3,4, 7 з попередньою підрізкою торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$, $l = 16$; $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$, $l = 85$; $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$, $l = 108,4_{-0,35}$ послідовно з копіювального супорта по копіру	0,615	131,1	1	60	0,5	1250	156,6	—	0,21	—

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Продовження таблиці 2.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
020 Токарно-копіювальна										
Перехід 1 Точити попередньо поверхні 13, 12, 10а з підрізкою торця, витримуючи розміри $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$, $l = 84$; $\varnothing 53,06h14_{(-0,74)}$, $l = 140$; $\varnothing 55,75M4_{(-0,74)}$.	5,0	213,7	1	60	0,64	400	62,8	—	0,83	5,9
Перехід 2 Точити попередньо поверхні 13,12, витримуючи розміри $\varnothing 41,13h14_{(-0,62)}$, $l = 84$; $\varnothing 46,12h14_{(-0,62)}$, $l = 140$ попередньо з копіювального супорта по копіру; точити фаски 15, 11, витримуючи розміри $8,3 \times 15^\circ$; $3,1 \times 30^\circ$ з поперечного супорта одночасно	4,435 (коп. суп.)	162,5	1	60	0,6	510	65,86	—	0,53	6,6
	2,2 (поп. суп.)	7,0	1	60	0,15		141,75			
Перехід 3 Точити остаточно поверхні 14, 13, 12, 10а з підрізкою торця, витримуючи розміри $\varnothing 39,9h14_{(-0,62)}$, $l = 16$; $\varnothing 40,32h11_{(-0,16)}$, $l = 84$; $\varnothing 45,3h11_{(-0,16)}$, $l = 140$; $\varnothing 54,95h11_{(-0,19)}$, $l = 192_{-0,3}$ послідовно з копіювального супорта по копіру	0,615	219,5	1	60	0,5	1250	156,6	—	0,35	—

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.5.

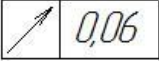
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 025 Шпонковофрезерна										
Фрезерувати шпонковий паз 5, витримуючи розмір $12P9\left(\begin{smallmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{smallmatrix}\right) 5^{+0,2}, 1=80^{+0,2}$	0,2	68	25	60	0,6 мм/ зуб	375	13,89	450	3,75	0,86
Операція 030 Шпонковофрезерна										
Фрезерувати шпонковий паз 6, витримуючи розмір $12P9\left(\begin{smallmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{smallmatrix}\right) 5^{+0,2}, 1=80^{+0,2}$	0,2	68	25	60	0,6 мм/ зуб	375	13,89	450	3,75	0,86
Операція 035 Шліцефрезерна										
Фрезерувати шліці 10, витримуючи розмір $9h9(-0,036), \varnothing 46a11\left(\begin{smallmatrix} -0,32 \\ -0,48 \end{smallmatrix}\right)$	4,0	80	8	280	0,63	80	25,1	—	12,7	1,58
Операція 040 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 23, витримуючи розмір $\varnothing 5H12\left(\begin{smallmatrix} +0,12 \\ \end{smallmatrix}\right), 1 = 8, 15\pm 0,2$	2,5	11	1	15	0,08	400	6,3	—	0,35	0,67
Операція 045 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 24, витримуючи розмір $\varnothing 5H12\left(\begin{smallmatrix} +0,12 \\ \end{smallmatrix}\right), 1 = 8, 15\pm 0,2$	2,5	11	1	15	0,08	400	6,3	—	0,35	0,67
Операція 050 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 17 під різь і зенкувати фаску 21, витримуючи розмір $\varnothing 10,2H14\left(\begin{smallmatrix} 0,36 \\ \end{smallmatrix}\right), 1 = 48, 1,6 \times 45^\circ$	5,1	54	1	20	0,08	250	7,9	—	2,7	1,32

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.5.

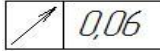
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 055 Вертикально - свердлильна										
Свердлити отвір 18 під різь і зенкувати фаску 22, витримуючи розмір $\varnothing 10,2H14^{(+0,36)}$, $l = 48$, $1,6 \times 45^\circ$	5,1	54	1	20	0,08	250	7,9	—	2,7	1,32
Операція 060 Вертикально - свердлильна										
Нарізати різь 19, витримуючи розмір M12-7H; $l = 32$	1,515	75	1	30	1,75	100	3,77	—	0,45	0,6
Операція 065 Вертикально - свердлильна										
Нарізати різь 20, витримуючи розмір M12-7H; $l = 32$	1,515	75	1	30	1,75	100	3,77	—	0,45	0,6
Операція 070 Круглошліфувальна										
Перехід 1 Шліфувати попередньо поверхню 7 з шліфуванням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 45,08h8_{(0,039)}$; $l = 109_{-0,3}$ 	0,11	24	1	—	$S_{\Pi} = 0,025$ мм/об $S_0 = 24$ мм/об	106	$V_{s.кол.} = 12$ м/хв $V_{s.позд.} = 3$ м/хв	—	0,05	3,3
Перехід 2 Шліфувати остаточно поверхню 7, витримуючи розміри $\varnothing 45k6_{(+0,018, +0,002)}$, $l = 109_{-0,3}$	0,04	22	1	—	$S_{\Pi} = 0,005$ мм/об $S_0 = 16$ мм/об	212	$V_{s.кол.} = 30$ м/хв $V_{s.позд.} = 5$ м/хв	—	0,08	—

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

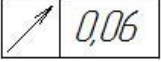
Продовження таблиці 2.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 075 Круглошліфувальна										
Перехід 1 Шліфувати попередньо поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 40,101h8(-0,039)$; $1 = 85$	0,1095	69	1	—	$S_{II} =$ $=0,025$ мм/об $S_0 = 24$ мм/об	95	$V_{s.кол.} =$ $=12$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=3$ м/хв	—	0,16	2,8
Перехід 2 Шліфувати остаточно поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 40k6(+0,018)$ $(+0,002)$, $1 = 85$; 	0,0415	69	1	—	$S_{II} =$ $=0,005$ мм/об $S_0 = 16$ мм/об	240	$V_{s.кол.} =$ $=30$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=5$ м/хв	—	0,21	—
Операція 080 Круглошліфувальна										
Перехід 1 Шліфувати попередньо поверхню 10а, витримуючи розміри $\varnothing 54,45h8(-0,046)$; $1 = 192-0,3$	0,25	52	1	—	$S_{II} =$ $=0,025$ мм/об $S_0 = 24$ мм/об	70	$V_{s.кол.} =$ $=12$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=3$ м/хв	—	0,37	8,1
Перехід 2 Шліфувати остаточно поверхню 10а, витримуючи розміри 0 $\varnothing 54h7(-0,03)$; $1 = 192-0,3$	0,225	52	1	—	$S_{II} =$ $=0,005$ мм/об $S_0 = 16$ мм/об	177	$V_{s.кол.} =$ $=30$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=5$ м/хв	—	1,16	—
Операція 085 Круглошліфувальна										
Перехід 1 Шліфувати попередньо поверхні 12, витримуючи розміри $\varnothing 45,08h8(-0,039)$; $1 = 140$	0,11	56	1	—	$S_{II} =$ $=0,025$ мм/об $S_0 = 24$ мм/об	106	$V_{s.кол.} =$ $=12$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=3$ м/хв	—	0,12	3,3
Перехід 2 Шліфувати остаточно поверхню 12, витримуючи розміри $\varnothing 40k6(+0,018)$ $(+0,002)$, $1 = 140$	0,04	54	1	—	$S_{II} =$ $=0,005$ мм/об $S_0 = 16$ мм/об	212	$V_{s.кол.} =$ $=30$ м/хв $V_{s.позд.} =$ $=5$ м/хв	—	0,18	—

Арк.

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Операція 090 Круглошліфувальна										
Перехід 2 Шліфувати попередньо поверхню 13, витримуючи розміри $\varnothing 40,101h8(-0,039)$; 1 = 84	0,1095	68	1	—	$S_{\Pi} = 0,025$ мм/об $S_0 = 24$ мм/об	95	$V_{s.кол.} = 12$ м/хв $V_{s.позд.} = 3$ м/хв	—	0,16	2,8
Перехід 3 Шліфувати остаточно поверхню 13, витримуючи розміри $\varnothing 40k6(+0,018, +0,002)$, 1 = 84 	0,0415	68	1	—	$S_{\Pi} = 0,005$ мм/об $S_0 = 16$ мм/об	240	$V_{s.кол.} = 30$ м/хв $V_{s.позд.} = 5$ м/хв	—	0,21	—

За результатами виконання технологічної частини кваліфікаційної роботи проведено аналіз базового технологічного процесу; здійснено обґрунтування вибору металообробного обладнання; розраховано величини припусків для забезпечення механічної обробки; встановлено параметри режимів різання по операціях та перевірено умови їх працездатності.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Кінематичний розрахунок приводу верстата

Діапазон регулювання для коробки швидкостей чи коробки подач для забезпечення головного руху чи руху подач визначають за формулою [25]:

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}},$$

де: $n_{\max} = 2500$ об/хв. – максимальна частота обертання, об/хв.;

$n_{\min} = 1460$ об/хв. – мінімальна частота обертання, об/хв.

Отже,

$$R = \frac{2500}{1460} = 1,71$$

Визначаємо кількість ступеней для частот обертання [25]:

$$z = 1 + \frac{\lg R}{\lg \varphi},$$

де: R – діапазон регулювання;

φ - знаменник геометричного ряду, приймаємо $\varphi = 1,12$.

$$Z = 1 + \frac{\lg 1,71}{\lg 1,12} = 5,7$$

Отримане значення округлюємо до 6.

Маючи значення числа Z складаємо структурну формулу, яку записують так:

$$Z = P_{1(x_1)} \cdot P_{2(x_2)} \cdot P_{3(x_3)} \cdot \dots$$

де P_1, P_2, P_3 – числа, котрі вказують на кількість передач у кожній незалежній групі.

x_1, x_2, x_3 – характеристики незалежних груп.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чайківський				КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Шанайда							
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник							
Зав. каф.	Крупа							

Для коробки швидкостей з кількістю ступеней $z=6$ запропоновано такий варіант структурної формули:

$$z=3_1 \cdot 2_3$$

Для забезпечення мінімальних габаритів коробки швидкостей необхідно забезпечити виконання умов:

$$1) P_1 > P_2 > P_3 \dots$$

$$2) x_1 < x_2 < x_3 \dots$$

Інша умова для оптимізації структури коробки швидкостей чи подач у верстатобудуванні є певні границі значень для передаточних відношень:

$$\frac{1}{4} \leq U \leq 2;$$

Запропонований варіант задовольняє всі умови.

3.2 Побудова структурної сітки, графіка чисел обертів для оптимального варіанту

Структурну сітку будують в логарифмічній шкалі i з інтервалом горизонтальних ліній $\lg \varphi$ стосовно числа Z та вертикальних ліній, кількість яких рівна числу незалежних груп.

Структурна сітка буде мати наступний вигляд, представлений на рис.3.1.

Із графіка визначаємо передаточні відношення:

$$i_1 = \varphi^0; i_2 = \varphi; i_3 = \varphi^2; i_4 = \varphi^3; i_5 = \varphi^4; i_6 = \varphi^5.$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

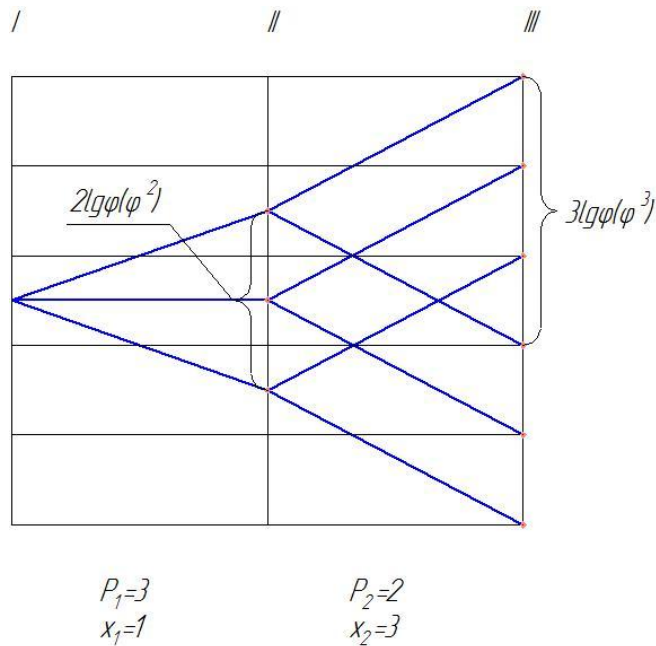


Рисунок 3.1 - Структурна сітка коробки швидкостей

Графік чисел обертів будують відповідно до кінематичної схеми привода. Кожному валу у приводі головного руху відповідає вертикальна пряма на графіку. На горизонтальних прямих, які розташовані з однаковими інтервалами між собою, отримуємо значення чисел обертів, які будуть передані через цей вал. Включення наявної передачі для визначених чисел обертів на ведучому та веденому валах на графіку продемонстровано променем, який з'єднує відмітки самих обертів на лініях валів.

Побудова графіка частот обертів проходить у наступній послідовності.

Визначають загальне передаточне відношення [25]:

$$U_{заг} = \frac{n_{max}}{n_{ел.об.}} = \frac{2573}{1460} = 1,76.$$

Розбивку отриманого передаточного відношення $U_{заг}$ по групах проводять наступним чином:

$$U_{заг} = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 \cdot \dots \cdot U_n,$$

де U_1, U_2, U_3 – передаточні відношення стосовно кожної групи.

Для даного варіанту: $1,76 = 1,26 \cdot 1,41$.

Провівши аналіз передаточних відношень для кожної групи, встановлюємо кількість клітинок для перетину променем на графіку частот обертання:

$$1,26 = 1,12^2 = \varphi^2; \Rightarrow Y=2;$$

$$1,41 = 1,12^3 = \varphi^3; \Rightarrow Y=3.$$

Спираючись на отримані дані будемо графік для чисел обертів.

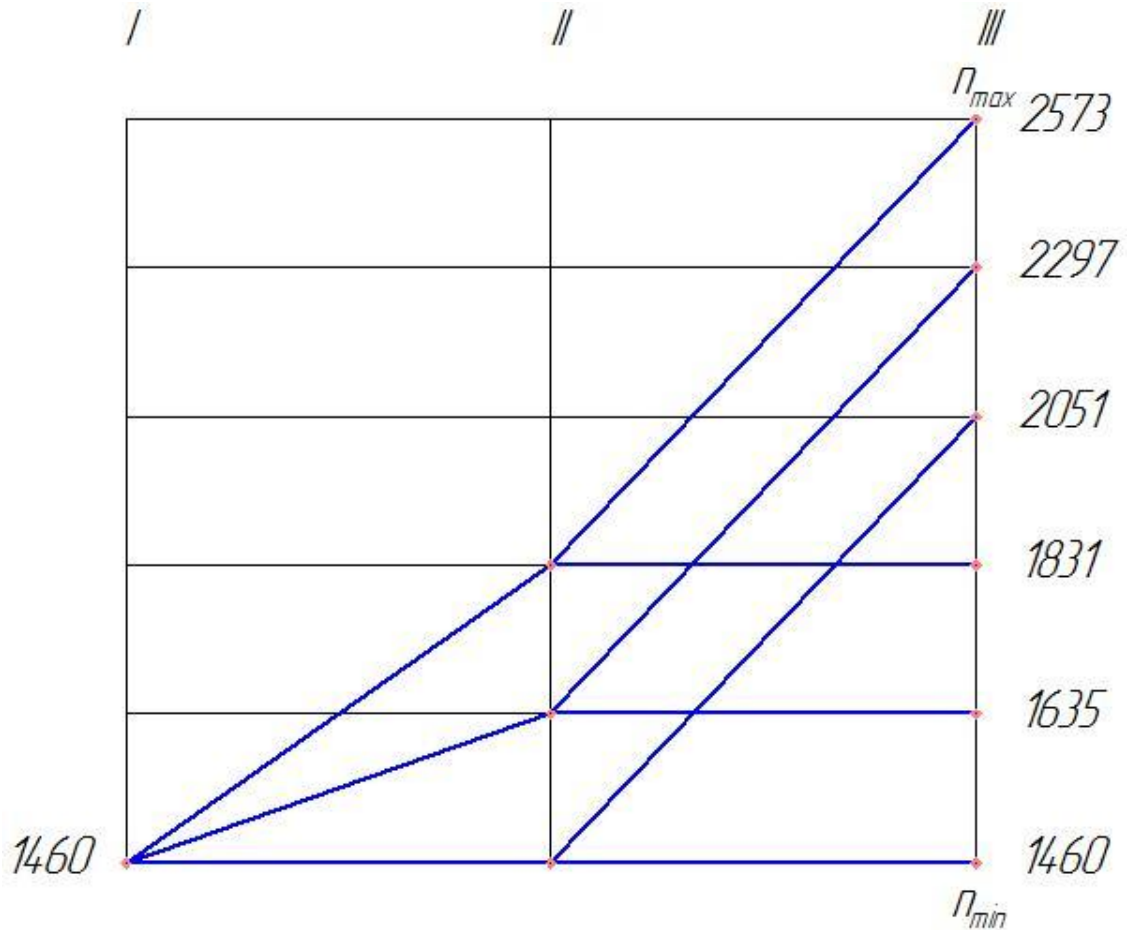


Рисунок 3.2 - Графік чисел обертів

Маючи графік чисел обертів неважко представити кінематичну схему приводу головного руху.

Сформована кінематична схема дозволяє аналізувати розташування груп рухомих і нерухомих коліс і скласти певну уяву про можливу компоновку приводу.

3.3. Розробка конструкції приводу та її розрахунок

3.3.1 Побудова кінематичної схеми приводу, визначення передавальних відношень, чисел зубів передач

Кінематична схема приводу головного руху круглошліфувального верстата:

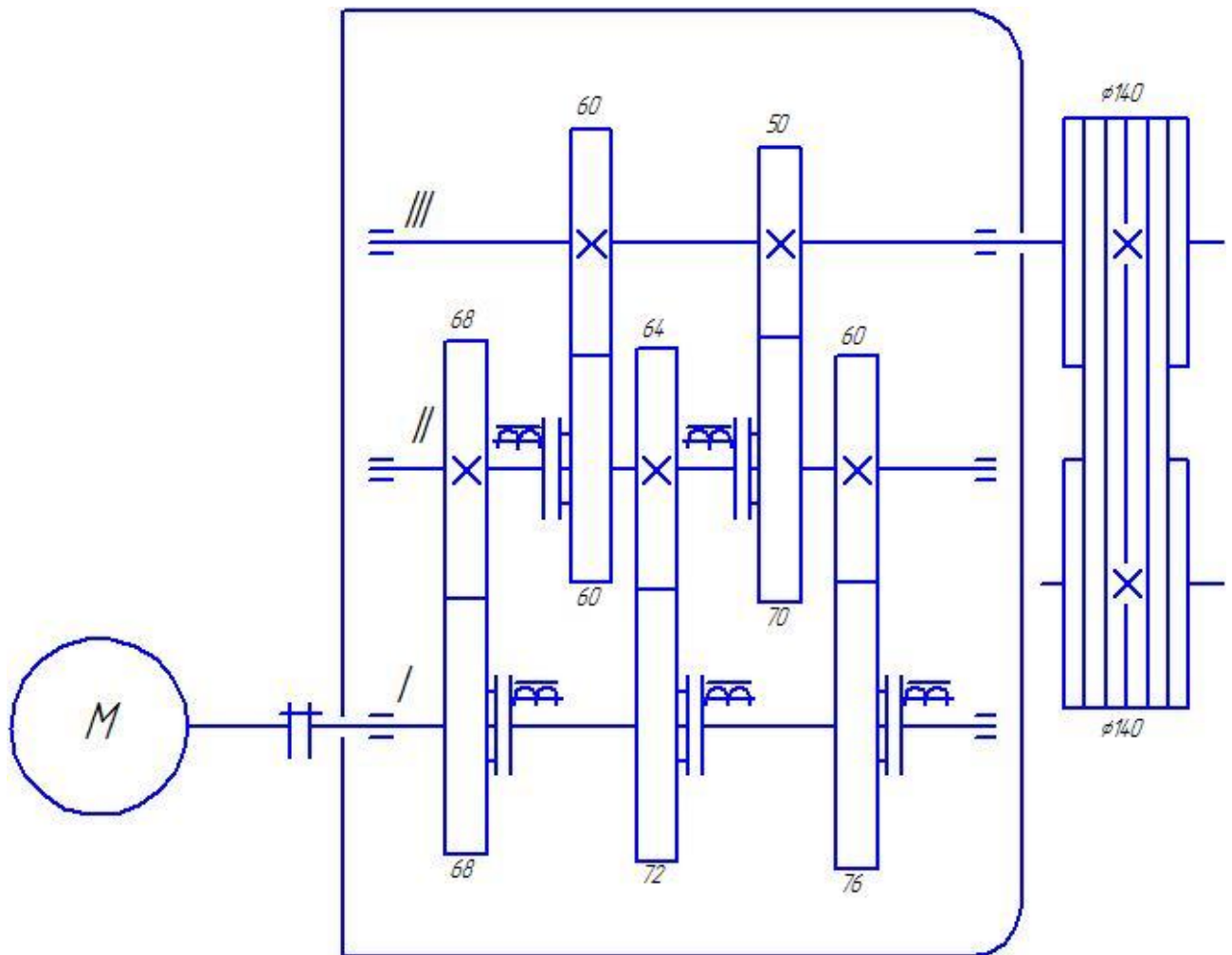


Рисунок 3.3 - Кінематична схема коробки швидкостей

За графіком чисел обертів визначаємо передаточні відношення для окремих пар зубчастих коліс. У понижувальних передачах передаточне відношення $U = \frac{1}{\varphi^x}$

де x -число клітинок структурного поля, на яке опустився промінь відповідної

						КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

передачі. Для прискорювальних передач $U = \varphi^x$, де x – число клітинок, на яке має піднятися промінь передачі.

Визначаємо передаточні відношення кожної конкретної передачі:

$$U_1^I = \frac{Z_1}{Z_2} = \varphi^0 = 1; U_1^{II} = \frac{Z_3}{Z_4} = \varphi^1 = 1,12; U_1^{III} = \frac{Z_5}{Z_6} = \varphi^2 = 1,26;$$

$$U_2^I = \frac{Z_7}{Z_8} = \varphi^0 = 1; U_2^{II} = \frac{Z_9}{Z_{10}} = \varphi^3 = 1,41$$

Маючи розрахункові значення передаточних відношень для кожної незалежної групи, визначаємо числа зубів для всіх зубчастих коліс які входять до цієї групи. Важливо зауважити, що модуль зубчастих коліс в межах групи має бути однаковий і міжосьова відстань незмінною.

Таблиця 3.1 - Числа зубів окремих зубчастих коліс

U	U_1^I	U_1^{II}	U_1^{III}	U_2^I	U_2^{II}
$\frac{Z_i}{Z_i + 1}$	$\frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_3}{Z_4}$	$\frac{Z_5}{Z_6}$	$\frac{Z_7}{Z_8}$	$\frac{Z_9}{Z_{10}}$
Значення	$\frac{68}{68}$	$\frac{72}{64}$	$\frac{76}{60}$	$\frac{60}{60}$	$\frac{70}{50}$
$\sum Z$	136			120	

Визначаємо фактичне передаточне відношення (max):

$$U_{\varphi.\max} = \frac{76}{60} \cdot \frac{70}{50} = \frac{1,77}{1};$$

Визначаємо відхилення фактичного передаточного відношення від номінального:

$$\Delta = \frac{U_{\text{ном}} \cdot U_{\varphi.\max}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{1,77 - 1,76}{1,77} \cdot 100\% = 0,6\%$$

Таке відхилення менше за допустиме (5%). Можна стверджувати, що розрахунок чисел зубів для передач виконано правильно.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Визначення потужності електродвигуна

Визначаємо ефективну потужність шліфування з врахуванням найважчого режиму роботи [25]:

$$N_e = C_N \cdot v_k^r \cdot S^y \cdot t^x \cdot d^q,$$

де $C_N = 1,3$; $r = 0,75$; $x = 0,85$; $y = 0,7$; $q = 0$

$$N_e = 1,3 \cdot 50^{0,75} \cdot 0,01^{0,7} \cdot 24^{0,85} \cdot 54^0 = 8,2 \text{ кВт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta}$$

де η – ккд приводу верстата;

$$\eta = \prod_{i=1}^n \eta_i$$

де, η_i - ККД елементів приводу, на яких враховуються втрати.

$$\eta = \eta_{n.n.} \cdot \eta_{n.з.}^2 \cdot \eta_n^3$$

$\eta_{n.n.} = 0,97$ – пасової передачі;

$\eta_{n.з.} = 0,97$ – зубчастої передачі;

$\eta_n = 0,995$ – підшипників;

$$\eta = 0,97 \cdot 0,97^2 \cdot 0,995^3 = 0,9$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{8,2}{0,9} = 9,11 \text{ кВт}$$

Приймаємо електродвигун типу: АО-52-4 [24].

Номінальна потужність: $N_n = 10 \text{ кВт}$;

Номінальне число обертів: $n_n = 1460 \text{ об/хв.}$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Визначення оптимальних крутних моментів

Розрахунок крутного моменту для кожного з валів у кінематичному ланцюзі приводу проводять за формулою:

$$T_{np} = 9550 \frac{N_{дв.} \cdot \eta}{n_{розр.}},$$

де η - ККД механізму від електродвигуна до розрахункового вала;

$$\eta = \eta_n^\alpha \cdot \eta_3^\alpha \cdot \eta_{н.н.}^\alpha$$

$$\eta_1 = 1$$

$$\eta_2 = 0,995 \cdot 0,97 = 0,965$$

$$\eta_3 = 0,995^2 \cdot 0,97^2 = 0,93$$

$$\eta_{ун} = 0,995^3 \cdot 0,97^2 \cdot 0,97 = 0,9$$

$n_{розр.}$ - частота обертання заданого валу, об/хв.

Розраховуємо найбільший крутний момент (на валу двигуна):

$$T_{дв} = 9550 \frac{10 \cdot 1}{1460} = 65,4 Нм$$

Розраховуємо крутний момент у коробці передач на вхідному валу:

$$T_{np.1} = 9550 \frac{10 \cdot 1}{1460} = 65,4 Нм$$

Розраховуємо крутний момент у коробці передач на другому валу:

$$T_{np.2} = 9550 \frac{10 \cdot 0,965}{1460} = 63,1 Нм$$

Розраховуємо крутний момент у коробці передач на третьому валу:

$$T_{np.3} = 9550 \frac{10 \cdot 0,93}{1460} = 60,8 Нм$$

Розрахунковий крутний момент на шпинделі:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{np.un} = 9550 \frac{10 \cdot 0,9}{1460} = 58,8 \text{ Нм}$$

Кутові швидкості по валах у кінематичному ланцюзі:

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

де n – частота обертання відповідного валу, об/хв.

Таким чином у коробці передач кутова швидкість вхідного валу:

$$\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1460}{30} = 152,8 \frac{1}{c}$$

Розрахункова кутова швидкість у коробці швидкостей на другому валу:

$$\omega_2 = \frac{3,14 \cdot 1831}{30} = 191,6 \frac{1}{c}$$

Розрахункова кутова швидкість у коробці швидкостей на третьому валу:

$$\omega_3 = \frac{3,14 \cdot 2573}{30} = 269,3 \frac{1}{c}$$

3.6 Розрахунок модуля передач та конструктивних параметрів зубчастих коліс

Розрахунок ведемо для найбільш навантаженої передачі коробки швидкостей.

Розрахунок модуля прямозубого зачеплення

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крутний момент на шестерні $T_1 := 65.4 \text{ Нм}$
 Допустимі контактні напруги $\sigma := 600 \text{ МПа}$
 Число зубів шестерні $z_1 := 68$
 Число зубів колеса $z_2 := 68$
 Кількість обертів шесерні $n := 1460 \text{ Об/хв}$
 Ступінь точності зубчатої передачі
 рекомендован(б ... 8) $st := 7$

Коефіцієнт, котрий враховує форму спряжених
 поверхонь зубів

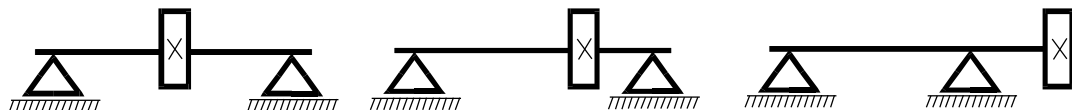
$$z_n := 1.76$$

Відношення ширини вінця шестерні до початкового діаметра
 рекомендовано призначати для коробок швидкостей в межах (0,2 ...
 0,4)

Вкажіть значення цього коефіцієнта

$$\psi_{bd} := 0.3$$

У залежності від розміщення зубчатої передачі відносно опор
 розглянуть три поіменовані варіанти розміщення зубчастого колеса



Kod = 1

Kod = 2

Kod = 3

Вкажіть код розміщення передачі
відносно опор

$$\text{kod} := 2$$

Коефіцієнт торцювого перекриття

$$\varepsilon\alpha := 1.88 - 3.2 \cdot \left(\frac{1}{z1} + \frac{1}{z2} \right)$$

Коефіцієнт, котрий враховує сумарну довжину контактних ліній

$$z\varepsilon := \sqrt{\frac{4 - \varepsilon\alpha}{3}}$$

Визначаємо передаточне число прямозубої передачі ($u > 1$)

$$u_r := \frac{z1}{z2} \quad u := \text{if} \left(u_r < 1, \frac{1}{u_r}, u_r \right) \quad u_n := u + 1$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині
вінця з умови забезпечення контактної міцності зубів

$$Kh\beta1 := 0.915 + 0.0588 \cdot \psi_{bd} + 0.799 \cdot \psi_{bd}^2 - 0.554 \cdot \psi_{bd}^3 + 0.17 \cdot \text{kod}$$

$$Kh\beta2 := 0.283 \cdot \psi_{bd} \cdot \text{kod}^2 + 0.0933 \cdot \psi_{bd}^2 \cdot \text{kod} - 0.0474 \cdot \text{kod}^2 - 0.684 \cdot \psi_{bd} \cdot \text{kod}$$

$$Kh\beta := Kh\beta1 + Kh\beta2$$

Оптимізація коефіцієнту динамічності передачі

$$K := 1 \quad K_{hv} := K, K + 0.001 \dots K + 1$$

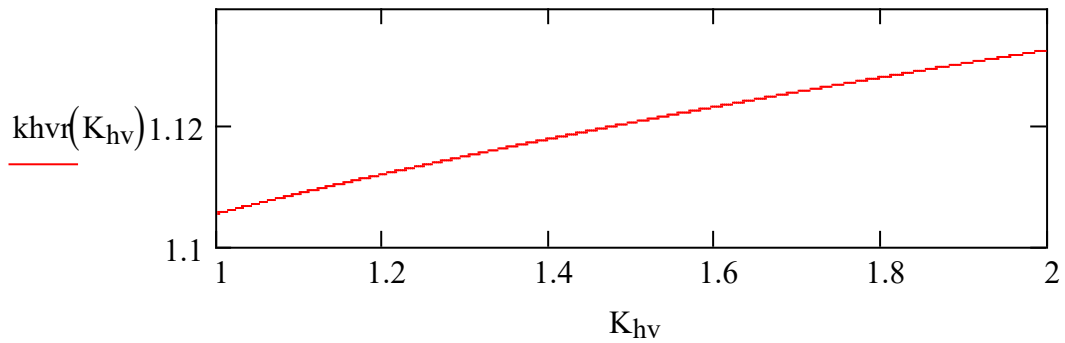
$$dw1(K_{hv}) := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot z_n^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot u_n \cdot K_{hv} \cdot Kh\beta}{\psi_{bd} \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

$$mh(K_{hv}) := \frac{dw1(K_{hv})}{z1} \quad v(K_{hv}) := \pi \cdot dw1(K_{hv}) \cdot \frac{n}{60000}$$

$$aw(K_{hv}) := (z1 + z2) \cdot \frac{mh(K_{hv})}{2}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

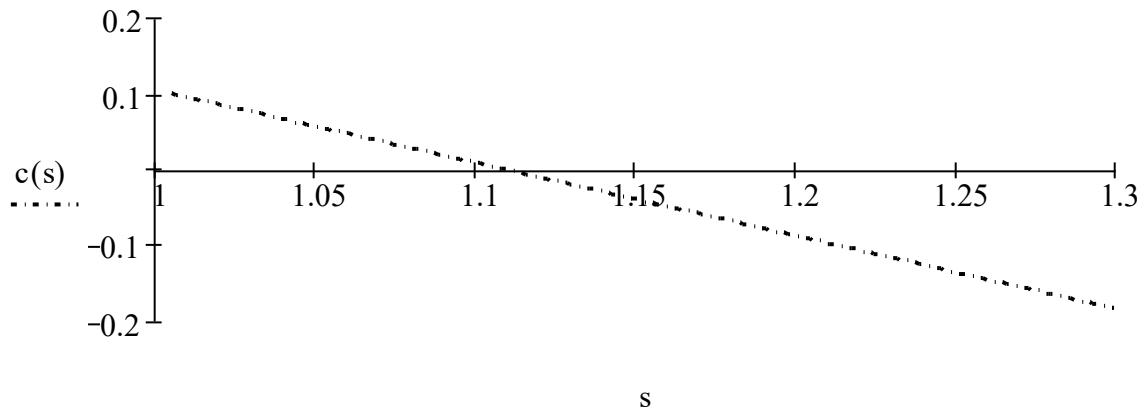
$$\text{khvr}(K_{\text{hv}}) := 0.98 + 0.014 \cdot v(K_{\text{hv}}) + (\text{st} - 6) \cdot 0.02 + \frac{(3 \cdot \text{aw}(K_{\text{hv}}))}{(u \cdot 10000)}$$



a := 1.006, 1.0061.. 1.2

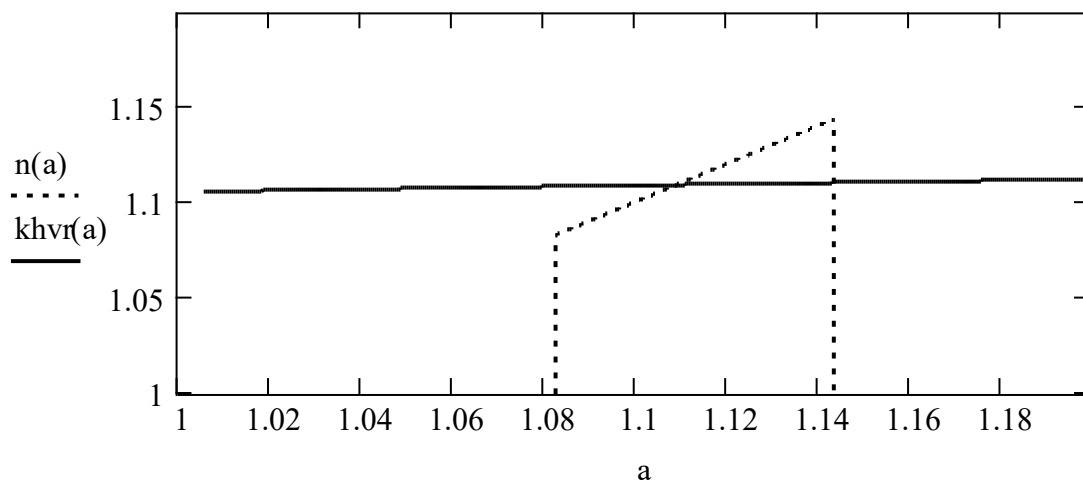
sp := 1.005 s := sp, (sp + 0.001).. 1.3

c(s) := khvr(s) - s z(s) := 0



s := sp Khv := root(c(s), s) Khv = 1.109

e(b) := khvr(b) - Khv e(Khv) = -1.188×10^{-4} n(a) := if[(|e(a)|) < 0.001, a, 0]



$$e(1.035) = -2.596 \times 10^{-3} \quad e(1.11) = -8.545 \times 10^{-5} \quad e(1.16) = 1.526 \times 10^{-3}$$

Діаметр шестерні по умові контактної міцності

$$dw1 := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot un \cdot Khv \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

Максимально допустимий модуль по контактних напругах

$$mhr := \frac{dw1}{z1} \quad \begin{array}{l} dw1 = 79.478 \\ mhr = 1.169 \end{array}$$

Коефіцієнт модуля, для прямозубих передач $km := 14$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення згинної міцності зубів

$$Kf\beta1 := 0.759 + 1.081 \cdot \psi bd - 0.985 \cdot \psi bd^2 + 0.423 \cdot \psi bd^3 + 0.232 \cdot kod$$

$$Kf\beta2 := 0.380 \cdot \psi bd \cdot kod^2 + 0.313 \cdot \psi bd^2 \cdot kod - 0.0549 \cdot kod^2 - 1.022 \cdot \psi bd \cdot kod$$

$$Kf\beta := Kf\beta1 + Kf\beta2$$

Коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні

$$Yf := 3.518 + \frac{6.0}{z1 - 10} - \frac{0.11}{z1 - 16} + (z1 - 60) \cdot 0.00034$$

Допустимі напруги по згину $\sigma_f := 200$ МПа

Мінімально допустимий модуль по напругах згину

$$mf := km \cdot \sqrt{\frac{T1 \cdot Kf\beta \cdot Yf}{z1^2 \cdot \psi bd \cdot \sigma_f}}$$

РЕЗУЛЬТАТИ

розрахунковий модуль з умови забезпечення допустимих напруг при згині зуба

$$mf = 0.439 \quad \text{mm}$$

розрахунковий модуль з умови забезпечення контактної міцності зуба

$$mhr = 1.169 \quad \text{mm}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q := 0..4 \quad m_q := \quad qq := 5..7 \quad r := 8 \quad qqq := r..13 \quad j := 0..13$$

1
1.25
1.75
2
2.5

$$m_{qq} := m_4 + \frac{qq - 4}{2}$$

$$qr(qqq) := \text{if}[r \neq qqq, (qqq - r) + 1, 1]$$

$$m_{qqq} := m_7 + 2 \cdot qr(qqq) \quad \text{mod}_j := m_j$$

$$mr1(j) := \text{if}(mf < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0) \quad mr2(j) := \text{if}(mhr < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0)$$

$$m(j) := \text{if}(mr1(j) \neq 0, \text{if}(mr2(j) \neq 0, mr2(j), 0), 0)$$

$$mr1(j) =$$

1
1.25
1.75
2
2.5
3
3.5
4
6
8
10
12
14
16

$$mr2(j) =$$

0
1.25
1.75
2
2.5
3
3.5
4
6
8
10
12
14
16

$$m(j) =$$

0
1.25
1.75
2
2.5
3
3.5
4
6
8
10
12
14
16

З проведених розрахунків видно, що найменше розрахункове значення модуля прямозубого зубчастого зачеплення становить $m = 1.17$ мм. Рекомендовано підбирати значення модуля з першого ряду нормальних значень. Тому для всіх зубчатих коліс між I і II валами приймаємо $m=2$ мм.

Аналогічно проводимо розрахунки модуля зубчастих коліс між II і III валами. В результаті чого отримуємо $m=2(1,31)$ мм.

Міжосьові відстані між валами знаходимо з одержаного модуля.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_1 = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{2(68 + 68)}{2} = 136 \text{ мм}$$

$$A_2 = \frac{m(Z_7 + Z_8)}{2} = \frac{2(60 + 60)}{2} = 120 \text{ мм}$$

Конструювання параметрів зубчастих коліс представимо для одної пари коліс коробки швидкостей.

Ділильний діаметр шестерні Z_1 : $d_1 = m \cdot z_1 = 136 \text{ мм}$.

Діаметр виступів зубів шестерні Z_1 : $d_{a1} = d_1 + 2m = 140 \text{ мм}$.

Діаметр впадин зубів шестерні Z_1 : $d_{f1} = d_1 - 2,4m = 131,2 \text{ мм}$.

Ширина вінця шестерні Z_1 : $b_1 = b_2 + (2 \dots 4) \text{ мм} = 43,8 \text{ мм}$.

Ділильний діаметр колеса Z_2 : $d_2 = m \cdot z_2 = 136 \text{ мм}$.

Діаметр виступів зубів колеса Z_2 : $d_{a2} = d_2 + 2m = 140 \text{ мм}$.

Діаметр впадин зубів колеса Z_2 : $d_{f2} = d_2 - 2,4m = 131,2 \text{ мм}$.

Ширина вінця колеса Z_2 : $b_2 = \psi_a \cdot a_w = 40,8 \text{ мм}$.

Зводимо конструктивні параметри всіх зубчастих коліс в таблицю.

Таблиця 3.2. Конструктивні параметри всіх зубчастих коліс

Зубчате колесо	Діаметр, мм			Ширина вінця колеса, мм
	ділильний	виступів	впадин	
Z_1	$d_1 = 136$	$d_{a1} = 140$	$d_{f1} = 131,2$	$b_1 = 43,8$
Z_2	$d_2 = 136$	$d_{a2} = 140$	$d_{f2} = 131,2$	$b_2 = 40,8$
Z_3	$d_3 = 144$	$d_{a3} = 148$	$d_{f3} = 139,2$	$b_3 = 43,8$
Z_4	$d_4 = 128$	$d_{a4} = 132$	$d_{f4} = 123,2$	$b_4 = 40,8$
Z_5	$d_5 = 152$	$d_{a5} = 156$	$d_{f5} = 147,2$	$b_5 = 43,8$
Z_6	$d_6 = 120$	$d_{a6} = 124$	$d_{f6} = 115,2$	$b_6 = 40,8$
Z_7	$d_7 = 120$	$d_{a7} = 124$	$d_{f7} = 115,2$	$b_7 = 39$

Зубчате колесо	Діаметр			Ширина вінця колеса
	ділильний	виступів	впадин	
Z_8	$d_8=120$	$d_{a8}=124$	$d_{f8}=115,2$	$b_8=36$
Z_9	$d_9=140$	$d_{a9}=144$	$d_{f9}=135,2$	$b_9=39$
Z_{10}	$d_{10}=100$	$d_{a10}=104$	$d_{f10}=95,2$	$b_{10}=36$

3.7 Орієнтовний розрахунок конструктивних параметрів проміжних валів

Орієнтований розрахунок конструктивних параметрів проміжних валів приводу полягає у визначенні мінімальних діаметрів. Виходячи з досвіду мінімальні діаметри слід визначати із умови забезпечення міцності валу на кручення при занижених допустимими напруженнями. Діаметри валів з умови забезпечення міцності на кручення, попередньо, визначимо для перерізів цих валів під зубчастими колесами. В цих перерізах одночасно діють як крутний так і згинний моменти. Діаметри валів у цих перерізах розраховуємо при занижених допустимих напруженнях.

$[\tau] = 20$ МПа – для тихохідних валів, $[\tau] = 12$ МПа – для швидкохідних валів [26, 27].

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}}$$

Розрахунковий крутний момент на вхідному валу коробки передач становить:

$$T_{np.1} = 9550 \frac{10 \cdot 1}{1460} = 65,4 \text{ Нм}$$

Розрахунковий крутний момент на другому валу коробки передач становить:

$$T_{np.2} = 9550 \frac{10 \cdot 0,965}{1460} = 63,1 \text{ Нм}$$

Розрахунковий крутний момент на третьому валу коробки передач становить:

$$T_{np.3} = 9550 \frac{10 \cdot 0,93}{1460} = 60,8 \text{ Нм}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий діаметр першого вала

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{65,4 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 20}} = 25 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр другого вала

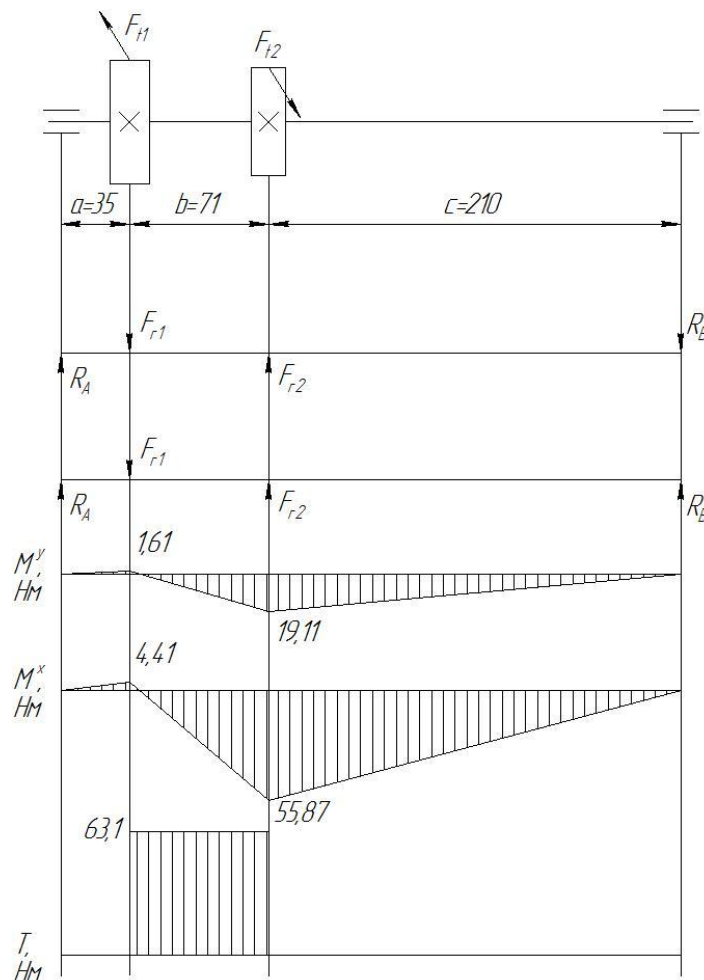
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{63,1 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 20}} = 25 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр третього вала.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{60,8 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 12}} = 29 \text{ мм}$$

Також проводимо розрахунок для проміжного вала коробки швидкостей. Розрахунок ведемо за значеннями при яких буде передано найбільший крутний момент.

Розрахункова схема валу:



Вал виготовляють із сталі 45 (ДСТУ 7809:2015):

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ				

$$\sigma_6 = 610 \text{ Мпа}$$

$$\sigma_2 = 610 \text{ Мпа}$$

Першочергово слід провести розрахунок на статичну міцність, при сумісній дії згиних навантажень та кручення. Крутний момент, який передють через вал, рівний: $T=63,1\text{Нм}$.

Колова сила, яка діє в зубчастому зачепленні:

$$F_t = \frac{2T}{d}, \text{ де } d - \text{діаметр ділительного кола, м.}$$

Колова сила F_{t1} у першому зачепленні буде:

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot 63,1}{0,136} = 928 \text{ Н}$$

У другому другого зачепленні:

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot 63,1}{0,12} = 1052 \text{ Н}$$

Радіальна сила, яка виникає в зубчастому зачепленні:

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha,$$

де α - кутнормального зачеплення, $\alpha=20^\circ$.

$$\text{Отже, } F_{r1} = 928 \cdot \text{tg} 20 = 338 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = 1052 \cdot \text{tg} 20 = 383 \text{ Н}$$

Для визначення реакцій в опорах формуємо рівняння рівноваги:

а) для вертикальної площини:

Опорні реакції:

$$\sum M_A = 0;$$

$$F_{r1} \cdot a - F_{r2} \cdot (a+b) + R_b \cdot (a+b+c) = 0;$$

$$R_b = \frac{383 \cdot 106 - 338 \cdot 35}{316} = 91 \text{ Н}$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$R_a \cdot (a+b+c) - F_{r1} \cdot (b+c) + F_{r2} \cdot c = 0;$$

$$R_a = \frac{338 \cdot 281 - 383 \cdot 210}{316} = 46 \text{ Н}$$

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum F_Y = 0;$$

$$R_a - F_{r1} + F_{r2} - R_b = 0;$$

$$46 - 338 + 383 - 91 = 0.$$

а) для горизонтальної площини:

Опорні реакції:

$$\sum M_A = 0;$$

$$F_{t1} \cdot a - F_{t2} (a + b) + R_b (a + b + c) = 0;$$

$$R_b = \frac{1052 \cdot 106 - 928 \cdot 35}{316} = 250H$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$R_a (a + b + c) - F_{t1} (b + c) + F_{t2} \cdot c = 0;$$

$$R_a = \frac{928 \cdot 281 - 1052 \cdot 210}{316} = 126H$$

$$\sum F_Y = 0;$$

$$R_a - F_{t1} + F_{t2} - R_b = 0;$$

$$126 - 928 + 1052 - 250 = 0.$$

Згинні моменти у вертикальній площині становлять:

$$M'_1 = R'_a \cdot a = 1,61Hm$$

$$M'_2 = R'_b \cdot c = -19,11Hm$$

Згинні моменти у горизонтальній площині становлять:

$$M''_1 = R''_a \cdot a = 4,41Hm$$

$$M''_2 = R''_b \cdot c = -52,5Hm$$

Сумарний згинний момент, який утворений у перерізі I-I становить:

$$M_{w1} = \sqrt{1,61^2 + 4,41^2} = 4,69 \text{ Нм}$$

Сумарний згинний момент, який утворений у перерізі II-II становить:

$$M_{w2} = \sqrt{19,11^2 + 52,5^2} = 55,87 \text{ Нм}$$

Для подальших розрахунків приймаємо згинний момент $M = 55,87 \text{ Нм}$.

Еквівалентний момент, який приймаємо для розрахунку валу:

$$M_{екв} = \sqrt{M^2 + T^2}$$

$$M_{екв} = \sqrt{55,87^2 + 63,1^2} = 84,28Hm$$

Визначаємо діаметр вала в досліджуваному перерізі:

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{екв}}{[\sigma_{зг}]}}$$

де $[\sigma_{зг}] = 85$ МПа – допустиме напруження згину.

$$\text{Отже, } d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 84,28 \cdot 10^3}{85}} = 21,5 \text{ мм}$$

Згідно даних ряду нормальних значень приймаємо значення діаметру для вала - 25 мм.

Розрахунок проєктного вала за критерієм забезпечення жорсткості проводять з умови:

$$y \leq [y]$$

де y – розрахунковий прогин валу, мм;

$[y]$ – допустиме значення прогину, мм.

$[y]$ визначають з формули: $[y] = 0,0002l$,

де l – відстань між опорами, мм.

В цьому випадку $l = 316$ мм. Отже, $[y] = 0,063$ мм.

Величину прогину валу прийнято визначати по середині міжопорної відстані.

В данному випадку прогин становить:

$$y = \frac{F_{r2} \cdot (a+b)^2 \cdot c^2}{3 \cdot E \cdot J \cdot l}$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності матеріалу

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \text{ – осьовий момент інерції перерізу валу, мм}^4$$

$$J = \frac{3,14 \cdot 25^4}{64} = 19165 \text{ мм}^4$$

$$\text{Отже, } y = \frac{383 \cdot (35 + 71)^2 \cdot 210^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 19165 \cdot 316} = 0,0497 \text{ мм}$$

$y < [y]$. Отже умова жорсткості виконується.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.8 Розрахунок клинопасової передачі

1. Вибираємо січення паса.

Вибір січення паса відбувається в залежності від потужності, яка передається ведучим шківом (P , кВт) і його частоти обертання (n , об/хв.)

Приймаємо січення паса Б.[27]

2. Вибираємо мінімальне значення для діаметру ведучого шківа d_{1min} , мм.

Його вибір відбувається в залежності від крутного моменту (T , Н·м) і вибраного січення ремня.

Приймаємо $d_{1min}=125$ мм.

3. Задаємо розрахунковим діаметром ведучого шківа d_1 , мм.

В цілях підвищення строку служби пасів рекомендовано використовувати ведучі шківди діаметром d_1 на 1...2 позиції вище від d_{1min} .

Приймаємо $d_1=140$ мм.

4. Визначаємо діаметр веденого шківа d_2 , мм:

$$d_2 = d_1 \cdot u(1 - \varepsilon)$$

де u – передаточне число передачі,

ε - коефіцієнт ковзання, $\varepsilon=0,01$.

$$d_2 = 140 \cdot 1 \cdot (1 - 0,01) = 138,6 \text{ мм.}$$

Отримане значення d_2 заокруглюємо до найближчого стандартного.

Приймаємо $d_2=140$ мм.

5. Визначаємо фактичне передаточне число u_ϕ і перевіряємо його відхилення Δu від заданого u :

$$u_\phi = \frac{d_2}{d_1(1 - \varepsilon)} = \frac{140}{140(1 - 0,01)} = 1,01;$$

$$\Delta u = \frac{|u_\phi - u|}{u} \cdot 100\% = \frac{|1,01 - 1|}{1} \cdot 100\% = 1\% \leq 3\%;$$

6. Визначаємо орієнтовану міжосьову відстань a , мм:

$$a \geq 0,55(d_1 + d_2) + h(H) = 0,55 \cdot (140 + 140) + 10,5 = 164,5 \text{ мм}$$

						КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де $h(H)$ – висота січення клинового паса, $h(H)=10,5\text{мм}$.

7. Визначити розрахункову довжину паса l , мм:

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a} = 2 \cdot 164,5 + \frac{3,14}{2}(140 + 140) + \frac{(140 + 140)^2}{4 \cdot 165,4} = 888 \text{ мм.}$$

Значення l округлюють до найближчого стандартного.

Приймаємо $l=900$ мм [27].

8. Проводимо розрахунок уточненого значення міжосьової відстані з врахуванням стандартної довжини паса:

$$a = \frac{1}{8} \left[2l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{(2l - \pi(d_2 + d_1))^2 - 8(d_2 - d_1)^2} \right] =$$
$$= \frac{1}{8} \left[2 \cdot 900 - \pi(140 + 140) + \sqrt{(2 \cdot 900 - \pi(140 + 140))^2 - 8(140 - 140)^2} \right] = 173,6 \approx 174 \text{ мм}$$

Технологічно, для монтажу передачі слід передбачити можливість зменшення a на $0,01l$ з метою легкого надягання паса на шків, а для виконання натягу ременів доцільно забезпечити можливість приросту a на $0,025l$.

9. Визначаємо кут обхвату пасом ведучого шківа α_1 , град:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^\circ$$

Кут α_1 повинен бути $\geq 120^\circ$.

10. Визначити швидкість паса v , м/с:

$$v = \pi d_1 n_1 / (60 \cdot 10^3) = 3,14 \cdot 140 \cdot 2573 / (60 \cdot 10^3) = 18,8 \leq [v], \text{ м/с}$$

де d_1 і n_1 – діаметр ведучого шківа, (мм) та частота його обертання, об/хв.;
[v] – рекомендоване значення швидкості, м/с; [v]=25 м/с – для клинових пасів [27].

11. Визначаємо частоту пробігів паса U , с^{-1} :

$$U = l/v = 2/18,8 = 20,8 \text{ с}^{-1} \leq [U],$$

де [U]=30 с^{-1} – допустима частота пробігів.

Відношення $U \leq [U]$ умовно демонструє довговічність експлуатації пасової передачі і виконання цього відношення свідчить про дотримання періоду експлуатації передачі – 10000...50000 год.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

σ_n – напруження згину, Н/мм²;

$$\sigma_n = E_n \frac{h}{d_1} = 80 \frac{10,5}{140} = 6 \text{ Н/мм}^2.$$

Де $E_n=80/\text{мм}^2$ – модуль пружності при згині для прорезинених пасів; h – висота січення клинового паса.

$$\sigma_v = \rho v^2 \cdot 10^{-6} = 1300 \cdot 18,8^2 \cdot 10^{-6} = 0,5 \text{ Н/мм}^2 \text{ – напруження від відцентрових сил.}$$

Тут ρ – густина матеріалу ременя, кг/м³.

$[\sigma]_p$ – допустиме напруження розтягу, Н/мм², $[\sigma]_p = 10 \text{ Н/мм}^2$.

$$\sigma_{max} = 1,4 + 6 + 0,5 = 7,9 \text{ Н/мм}^2 \leq [\sigma]_p = 10 \text{ Н/мм}^2$$

Отже розрахунок пасової передачі проведено правильно.

Зведемо конструктивні параметри пасової передачі в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Конструктивні параметри пасової передачі

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Тип ременя	Клинопасовий	Число пробігів паса U , с ⁻¹	20,8
Січення ременя	Б	Діаметр ведучого шківа d_1 , мм	140
Кількість пасів z	4	Діаметр веденого шківа d_2 , мм	140
Міжосьова відстань a , мм	174	Максимальне напруження σ_{max} , Н/мм ²	7,9
Довжина пасів l , мм	900	Початкове напруження паса F_o , Н	126
Кут обхвату ведучого шківа α , град.	120°	Сила тиску паса на вал F_{on} , Н	1008

3.9 Підбір підшипників кочення

По ДСТУ ГОСТ 8338:2014 приймаємо радіальний шариковий однорядний

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштуванням дроселя. Як тільки круг торкнеться торця шліфованого виробу, шпindel призупиняється, а втулка 4 продовжує рухатись. За рахунок цього в торцевому гідростатичному підшипнику шпинделя виникає перепад тиску.

Перепад фіксується мембранним блоком, змонтованим на задній стінці корпусу шліфувальної бабки. Після контакту круга з торцем оброблюваного виробу форсована подача шпинделя припиняється. Після закінчення торцевого шліфування шпindel під дією пружин 6 повертається у вихідне положення.

Обертання шпинделя шліфувальної бабки через клинопасову передачу і автоматичну коробку швидкостей здійснюється електродвигуном змінного струму.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Категорійно-понятійний апарат з безпеки життєдіяльності

1. Базові категорії [28]

- Безпека життєдіяльності - інтегральна наукова та навчальна дисципліна, що досліджує закономірності виникнення небезпек, механізми їх попередження та способи захисту людини, суспільства й довкілля.
- Небезпека - потенційна або реальна загроза життю, здоров'ю, майну чи навколишньому середовищу, що може спричинити негативні наслідки.
- Ризик - ймовірність настання небезпечної події та величина можливих втрат; кількісна характеристика небезпеки.
- Захист - сукупність організаційних, технічних та правових заходів, спрямованих на зменшення або усунення впливу небезпек.

2. Людина та середовище

- Життєдіяльність - процес існування та функціонування людини у соціальному, виробничому й природному середовищі.
- Фактори середовища - природні (клімат, геологія, біосфера), техногенні (виробництво, транспорт, енергетика), соціальні (економіка, політика, культура).
- Система «людина - середовище» - взаємодія індивіда з природними та штучними умовами, що визначає рівень його безпеки.

3. Класифікація небезпек

- Природні небезпеки - стихійні лиха (землетруси, повені, урагани).
- Техногенні небезпеки - аварії на виробництві, транспортні катастрофи, пожежі, вибухи.
- Соціальні небезпеки - війни, тероризм, злочинність, інформаційні загрози.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чайківський				БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Окіпний							
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник							
Зав. каф.	Крупа							

- Екологічні небезпеки - забруднення довкілля, деградація природних ресурсів.

4. Основні поняття захисту

- Цивільний захист - державна система заходів щодо запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.
- Охорона праці - комплекс правових, соціально-економічних, організаційних та технічних заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників.
- Технічна безпека - стан виробничих систем, що виключає аварії та шкоду для персоналу.
- Екологічна безпека - стан захищеності довкілля та населення від негативного впливу господарської діяльності.

5. Методологічні категорії

- Аналіз небезпек - системне виявлення джерел ризику та оцінка їхнього впливу.
- Моніторинг - постійне спостереження за станом середовища та умовами життєдіяльності.
- Прогнозування - наукове передбачення можливих небезпечних ситуацій.
- Менеджмент безпеки - управління ризиками, планування та реалізація заходів захисту.

6. Правові та нормативні аспекти

- Нормативна база - закони, стандарти (ДСТУ, ISO), інструкції та правила, що регламентують безпеку.
- Відповідальність - юридичні та моральні наслідки порушення вимог безпеки.
- Культура безпеки - система цінностей, знань і навичок, що забезпечує свідоме ставлення до ризиків.

7. Освітній та професійний вимір

- Компетентність у сфері безпеки - інтеграція знань, умінь та навичок, необхідних для прийняття рішень у небезпечних ситуаціях.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Професійна підготовка - формування у майбутніх фахівців здатності діяти відповідально та ефективно в умовах ризику.
- Інноваційні технології безпеки - використання сучасних інформаційних систем, автоматизованих датчиків, роботизованих комплексів для моніторингу та захисту.

4.2. Розрахунок місцевого освітлення для верстату моделі 3М151Ф3

Для виконання точного розрахунку за точковим методом в типовому цеху, я візьму до уваги необхідні вхідні дані (розміри робочої зони, висоту підвісу) та нормативні вимоги до освітлення [29].

Для проведення розрахунку необхідно враховувати такі параметри:

Висота робочої зони деталі (h): Висота центру шпинделя верстата, для якого здійснюється розрахунок. Відсутність даних для моделі 3М151Ф3 компенсуємо аналогічною моделлю 3М151 (універсальний круглошліфувальний верстат з горизонтальним шпинделем). Для прикладу розрахунку приймаємо $h = 1,25$ м (враховуючи популярні моделі та типову висоту обробки).

Відстань від світильника до робочої зони (l) - це величина, яку ми обираємо, виходячи з умов зручності та безпеки. Для розрахунку приймемо $l = 0,6$ м.

Кут нахилу світильника (α): Приймаємо, що світловий потік спрямований перпендикулярно до поверхні деталі, тобто $\alpha = 0^\circ$.

Коефіцієнт запасу (K_3): Коефіцієнт, що враховує зниження освітленості через старіння ламп та забруднення світильників. Для верстатних робіт у виробничих приміщеннях приймають $K_3 = 1,5$.

Розрахунок місцевого освітлення виконується на основі наступних нормативних документів:

ДБН В.2.5-28:2018: Основний документ, що встановлює вимоги до природного та штучного освітлення будівель і споруд.

НПАОП 0.00-1.30-01: Правила охорони праці, які встановлюють вимоги до місцевого стаціонарного освітлення на верстатах.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норми освітленості залежать від розряду зорової роботи:

III розряд: для робіт високої точності (найменший об'єкт розрізнення 0,3-0,5 мм) – нормована освітленість (E_n) становить 500 лк.

IV розряд: для робіт середньої точності (найменший об'єкт розрізнення 0,5-1,0 мм) – $E_n = 300$ лк.

Для подальшого розрахунку приймаємо $E_n = 500$ лк.

Розрахунок місцевого освітлення

Розрахунок місцевого освітлення виконується за формулою точного методу розрахунку освітлення:

$$E = (I * \cos^3(\alpha)) / (K_3 * h^2)$$

Параметр «сила світла (I)» не входить у підсумкову формулу після її перетворення для визначення світлового потоку (див. крок 4).

де: E – освітленість в контрольній точці, лк;

I – сила світла джерела в напрямку до точки, кд;

α – кут між нормаллю до освітлюваної поверхні та напрямком падіння променя;

K_3 – коефіцієнт запасу;

h – висота розташування світильника над освітлюваною поверхнею (розрахункова висота), м.

Покроковий розрахунок

1. Визначаємо нормовану освітленість: $E = 500$ лк.

2. Визначаємо розрахункову висоту (h): $h = 1,25$ м.

3. Визначаємо коефіцієнт запасу (K_3): $K_3 = 1,5$.

4. Розраховуємо необхідну силу світла (I) за формулою:

$$I = (E * h^2 * K_3) / \cos^3(\alpha)$$

Підставляємо значення (при $\alpha = 0^\circ$, $\cos^3(0^\circ) = 1$):

$$I = (500 \text{ лк} * (1,25 \text{ м})^2 * 1,5) / 1 = 500 * 1,5625 * 1,5 = 1171,875 \text{ кд}$$

Сила світла (I) – це просторова щільність світлового потоку.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Визначаємо необхідний світловий потік лампи (Фл): Світловий потік лампи залежить від кута, під яким вона випромінює світло (від типу лампи та світильника). Для приблизного розрахунку використовуємо формулу: $\Phi_l = I * \omega$, де ω – міра тілесного кута. Для світильників з лампами розжарювання, які мають косинець яскравості 40° , можна скористатися емпіричним співвідношенням: $\Phi_l \approx I * 12,57 / 1,1$ (враховує, що лампа випромінює в тілесний кут 4π). Отримуємо:

$$\Phi_l \approx I * 12,57 / 1,1 \approx 1171,875 \text{ кд} * 11,43 \approx 13394 \text{ лм}$$

Важливо: Світловий потік навіть дуже потужної лампи розжарювання (наприклад, 500 Вт) рідко перевищує 10000 лм. Це свідчить про те, що у випадках, коли потрібна дуже висока освітленість (500 лк) на великій відстані (1,25 м), лампа розжарювання може бути не найкращим вибором.

Вибір моделі світильника

Для місцевого освітлення верстата 3М151Ф3 рекомендується використовувати спеціалізовані світлодіодні (LED) світильники на гнучкому кронштейні. Вони забезпечують високу освітленість, низьке енергоспоживання та довговічність.

Приклад моделі, яка може забезпечити необхідний рівень освітленості за таких умов:

Тип: Світлодіодний промисловий світильник для місцевого освітлення на верстатах.

Світловий потік (Фл): ~ 3000 лм (що значно менше за розраховані 13394 лм).

Розміри робочої зони: для зручності приймемо 0,5 м x 0,5 м.

Розрахункова висота підвісу (h): 0,4 м (що значно ближче до зони обробки).

Повторний розрахунок для цієї моделі:

1. $E = 500$ лк (дотримуємося тієї ж норми).
2. $h = 0,4$ м (значно менша відстань до деталі).
3. $K_3 = 1,5$.
4. Розраховуємо необхідну силу світла (I):

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ

$$I = (500 \text{ лк} * (0,4 \text{ м})^2 * 1,5) / 1 = 500 * 0,16 * 1,5 = 120 \text{ кд}$$

5. Оцінюємо необхідний світловий потік (Фл): Використовуючи те саме емпіричне співвідношення:

$$\Phi_{\text{л}} \approx I * 12,57 / 1,1 \approx 120 \text{ кд} * 11,43 \approx 1371 \text{ лм}$$

Висновок: Світлодіодний світильник зі світловим потоком 3000 лм, встановлений на висоті 0,4 м, з великим запасом забезпечить нормативну освітленість для робіт III розряду точності (500 лк) та буде значно енергоефективнішим.

Вимоги до електробезпеки місцевого освітлення

Для місцевого стаціонарного освітлення верстаків та верстатів прийнято використовувати світильники з лампами розжарювання. Згідно з правилами охорони праці, напруга для світильників місцевого освітлення у виробничих приміщеннях з підвищеною небезпекою (до яких належать механічні цехи) не повинна перевищувати 42 В. У сухих приміщеннях без підвищеної небезпеки допускається напруга до 220 В. Сучасні LED-світильники часто працюють від безпечної напруги 12 В або 24 В через вбудований драйвер, що є додатковою перевагою.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Технологічний процес обробки ступінчастих валів є "типовим" і добре опрацьованим у навчально-методичній літературі. Він включає етапи від вибору заготовки до фінішної обробки та контролю.
2. Вибір методу отримання заготовки, верстатного обладнання та різального інструменту залежить від типу виробництва (дрібносерійне, середньосерійне, великосерійне/масове).
3. Проведено аналіз схем формоутворення для забезпечення процесу механічної обробки деталі типу "Вал".
4. Для забезпечення високої точності (особливо для валів з відношенням $L/D > 12$) критичними є питання раціонального базування (переважно в центрах) та забезпечення жорсткості технологічної системи (застосування люнетів, раціональний вибір режимів різання).
5. Сучасні методи отримання заготовок (радіальний обтиск, поперечно-гвинтове прокатування) дозволяють значно зменшити припуски та трудомісткість механічної обробки.
6. За результатами виконання технологічної частини кваліфікаційної роботи проведено аналіз базового технологічного процесу; здійснено обґрунтування вибору металообробного обладнання; розраховано величини припусків для забезпечення механічної обробки; встановлено параметри режимів різання по операціях та перевірено умови їх працездатності.
7. Проведено комплекс кінематичних та конструктивних розрахунків: кінематичний розрахунок приводу головного руху круглошліфувального верстата; конструктивні розрахунки валів коробки швидкостей; розрахунок клинопасової передачі у приводі головного руху верстата.
8. Опрацьовано питання безпеки життєдіяльності та питання з основ охорони праці.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ										
					ВИСНОВКИ										
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата											
Розроб.		Чайківський									Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.		Шанайда											2		
Реценз.											ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41				
Н. Контр.		Кобельник													
Зав. каф.		Крупа													

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
2. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадця Ю. В., 2025. – 308 с.
3. Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Склярів Р. А. Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання. *Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. 2021. 436с., С. 157-159.*
4. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій. *Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.*
5. Zubovetska, N. T., Redko, R. H., Chetverzhuk, T. I., Skliarov, R. A., & Shanayda, V. V. (2025). Experimental study of the process of boring machine parts using a cutter equipped with tensor sensors. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, (1(58), 88–96. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1\(58\)-88-96](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2025-1(58)-88-96)
6. Кривий П.Д. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 3 (47). – / Галузь науки: технічні - С.199 - 206.
7. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Прогнозування технічних характеристик металорізальних верстатів з використанням нейронних мереж. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXIII*

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Чайківський					4		
Перевір.	Шанайда							
Реценз.								
Н. Контр.	Кобельник					ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.	Крупа							

Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. 264 с., С. 252.

8. Склярів Р. А., Гагалюк А. В. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. *Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року.* — Т. : ТНТУ, 2019. – 212 с. (Машинознавство та машинобудування). - С. 34.
9. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Використання багатofункціонального пакету Mathcad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. *Збірник тез XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (5 – 6 грудня 2012 р.). У 2Т. Т.2 Матеріалознавство та машинобудування.* Тернопіль: ТНТУ, 2012. 143 с., С. 69.
10. Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Склярів Р. А. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. *Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71.* 363 с., С. 322-329.
11. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Специфіка методики оптимального проектування для технічних систем. *Динаміка, міцність і надійність сільськогоспод. машин: Пр. I-ї Міжнародної наук.-техн. конф. (DSR AM-I), 4-7 жовтня 2004 р., Тернопіль : ТДТУ, 2004.* С. 551-554.
12. Stashkiv M., Pidgurskyi I., Pidluzhnyi O., Pidgurskyi M., Levkovych M., Skliarov R., Mushak A. Analysis of the stress-strain state of the vehicle frame by finite element method. *Scientific Journal of TNTU.* Ternopil : TNTU, 2022. Vol 108. No 4. P. 89–102.
13. Лекція 6. Технологія обробки ступінчастих валів [Електронний ресурс] / Луцький національний технічний університет. – Режим доступу: <https://elib.lutsk-ntu.com.ua> (дата звернення: 23.05.2026).

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Технологія та схеми обробки ступінчастого валу [Електронний ресурс] / Profosvita. – Режим доступу: <https://profosvita.com.ua> (дата звернення: 23.05.2026).
15. Лекція 3. Технологія виготовлення гладких і ступінчастих валів [Електронний ресурс] / Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net> (дата звернення: 24.04.2026).
16. Обробка деталей у центрах [Електронний ресурс] / BukLib.net. – Режим доступу: <https://buklib.net> (дата звернення: 24.04.2026).
17. Технологія виготовлення деталей типу валів [Електронний ресурс] / Stud.com.ua. – Режим доступу: <https://stud.com.ua> (дата звернення: 24.04.2026).
18. Тема 1.11 Типові технологічні процеси виготовлення деталей машин [Електронний ресурс] / Studfile. – Режим доступу: <https://studfile.net> (дата звернення: 24.04.2026).
19. Шанайда В., Скляр Р., Редько О. Аналіз геометричної моделі процесу фрезерування внутрішніх замкових різей. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2014. № 2. С. 144-150.
20. Шанайда В. В., Скляр Р. А. Особливості формоутворення геометричного профілю внутрішніх замкових різей бурових колон. *Збірник тез XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (5–6 грудня 2012 р.)*. У 2т. Т.2 Матеріалознавство та машинобудування. Тернопіль: ТНТУ, 2012. 143 с, С. 79.
21. Шанайда В. В., Скляр Р. А. Дослідження впливу геометрії зубів мітчика на силові параметри у процесі різенарізання. *Обладнання і технології сучасного машинобудування : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої пам'яті заслуженого винахідника України академіка АН вищої школи України, доктора технічних наук, професора Нагорняка Степана Григоровича (Україна, м. Тернопіль, 11-12 травня 2017 р.)*. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 188 с., С.168-169.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Орищук Р.М., Чернявський І.В., Шанайда В.В. Дослідження точності позиціювання деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В. О. Залога, О. В. Івченко.* – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 183 с. – С.63-66.
23. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
24. Кухарський О.М., Кушак І.В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування” . - Тернопіль, 2001. - 96 с.
25. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 6,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 86 с.
26. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І., Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А.,2022. 220 с.
27. Гевко Р.Б., Хомик Н.І., Жаровський О.С., Довбуш Т.А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання: навчальний посібник до лабораторних робіт Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
28. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності. Підручник, 2-е видання, Центр учбової літератури, 2020. 448 с.
29. Москальова В.М. Основи охорони праці. – К.: ВД „Професіонал”, 2005. 671 с.

					КРБ 22-050.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		