

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата з ЧПК для забезпечення обробки валів великих типорозмірів

Виконав: студент	4	курсу групи	МВ-41
спеціальності			
	133 «Галузеве машинобудування»		
	(шифр і назва спеціальності)		
		(підпис)	Чайківський Д.М.
			(прізвище та ініціали)
Керівник		(підпис)	Лещук Р.Я.
			(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		(підпис)	Кобельник В.Р.
			(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		(підпис)	Крупа В.В.
			(прізвище та ініціали)
Рецензент		(підпис)	Гупка А.Б.
			(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

« » (підпис) Крупа В.В. (прізвище та ініціали)
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 Дмитру Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного
верстата з ЧПК для забезпечення обробки валів великих типорозмірів

Керівник роботи Лещук Роман Ярославович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » 01 2026 року № 4/7-45

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Вал»

Характеристики верстатів-аналогів

Річна програма випуску N=1000 шт.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ 1. Характеристика токарних верстатів-аналогів

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ Кінематичний розрахунок верстату

Конструювання вузла верстату

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

Інструментальні налагодження – 1 ф.А1

Виконавчі механізми верстата – 2 ф.А1.

Пристосування верстатне – 1 ф.А1.

Контрольне пристосування – 1 ф.А1.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,	к.т.н., доцент Окіпний І.Б.		
основи охорони праці			
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Кобельник В.Р.		

[illegible]

(підпис)

Чайківський Д.М.

(прізвище та ініціали)

_____ Лещук Р.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чайківський Д.М. Розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата з ЧПК для забезпечення обробки валів великих типорозмірів. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; Тернопіль, 2026 р.

Chaykivsky D. Calculation and design of the main drive of a CNC lathe for machining large-sized shafts. 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2026.

В роботі представлено аналіз верстатів-аналогів, призначення і сфера застосування базового верстата, основні технічні дані і пристрої верстата, розроблений прогресивний технологічний процес обробки деталі – «Вал», спроектовано привід головного руху та коробка швидкостей проектного верстата. У розділі охорони праці проведений аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Ключові слова: верстат, точіння, привід головного руху, коробка швидкостей.

The work presents an analysis of similar machine tools, the purpose and scope of application of the basic machine tool, the main technical data and device of the machine tool, a progressive technological process for processing the part - "Shaft" is developed, the main motion drive and gearbox of the designed machine tool are designed. In the section on labor protection, an analysis of dangerous and harmful production factors is carried out.

Keywords: machine tool, turning, main motion drive, gearbox.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Аналіз конструкцій та компоновок токарних верстатів-аналогів	6
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Призначення і характеристика заданого виробу.	15
2.2 Аналіз конструкції заданого виробу на технологічність.....	17
2.3 Обґрунтування програми випуску і типу виробництва.....	20
2.4 Проектування маршрутного технологічного процесу.....	21
2.5 Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів.....	23
2.6 Розрахунок режимів різання.....	32
2.7 Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.....	37
2.8 Розрахунок і проектування спеціального пристосування.....	40
2.9 Розрахунок і проектування контрольного пристосування.....	43
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1. Вибір вхідних параметрів для проектування.....	47
3.2 Кінематичний розрахунок головного привода.....	56
3.3. Розрахунок приводу.....	59
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	94
ВИСНОВКИ.....	101
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	102
ДОДАТКИ.....	105

					КРБ 22-051.00.00.000				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Чайківський			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Лещук							
Консульт.						ТНТУ, зр. МВ-41			
Н. Контр.		Кобельник							
Зав.каф.		Крупа							

ВСТУП

В даний час токарні верстати знаходять застосування в багатьох галузях промисловості. При проектуванні верстатів токарної групи найбільш актуальними питаннями є підвищення продуктивності, універсальності і точності таких верстатів.

У переважній більшості випадків верстати використовуються як для чорнової обробки, так і для чистової. Це обумовлено умовами роботи верстатів, високою вартістю і нераціональністю змісту окремих верстатів для чорнової і для чистової обробки. Ці умови сприяють посиленню вимог до точності, продуктивності та універсальності обладнання.

Основні завдання, що стоять перед верстатобудуванням - значне підвищення продуктивності праці і рівня автоматизації в машинобудуванні, задоволення безперервно зростаючих вимог до точності обробки, підвищення надійності верстатів.

До числа тенденцій розвитку верстатів з ЧПК відносять: концентрацію операцій при одному встановленні, автоматичну зміну інструментів, скорочення числа розточувальних інструментів за рахунок введення поперечного переміщення супортів і перетворення верстатів в контурні, перехід на системи управління на інтегральних елементах, розширення можливостей корекції програми на радіус і довжину інструменту, на швидкість і подачу без переробки програми, застосування центральної системи управління для групи верстатів.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз конструкцій та компоновок токарних верстатів-аналогів

Верстатобудування своєю продукцією забезпечує машинобудівні заводи засобами виробництва. Тому особливу увагу слід приділяти системному підходу, розробці єдиного стратегічного плану його розвитку для задоволення сучасних потреб машинобудування. Розробка окремих, навіть дуже досконалих верстатів не дасть очікуваного економічного ефекту, так як в сучасних умовах нові верстати уже на етапі розробки повинні ставати частиною гнучких виробничих ділянок, а ті частиною виробничих систем, які включають в себе роботів та допоміжне обладнання. Тому модернізація чи розробка нових верстатів повинна передбачати створення сучасного цифрового, інтегрованого технологічного середовища на всіх виробництвах комплектуючих та готової продукції, так як вони знаходяться в єдиній системі.

За останні 60 років технологічний уклад машинобудівних виробництв переріс з універсальних верстатів, пройшовши етапи спеціальних, з числовим програмним керуванням (ЧПК) і нині базується на обробних центрах та технологічних комплексах; інструмент замість універсального використовується як системи спеціального та унікального інструменту; керування від людини передано інтегрованим інформаційним системам тощо.

За вихідним даними на роботу проведемо аналіз та вибір токарних верстатів-аналогів.

Спеціальний токарний верстат з ЧПК моделі РТ700Ф3.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

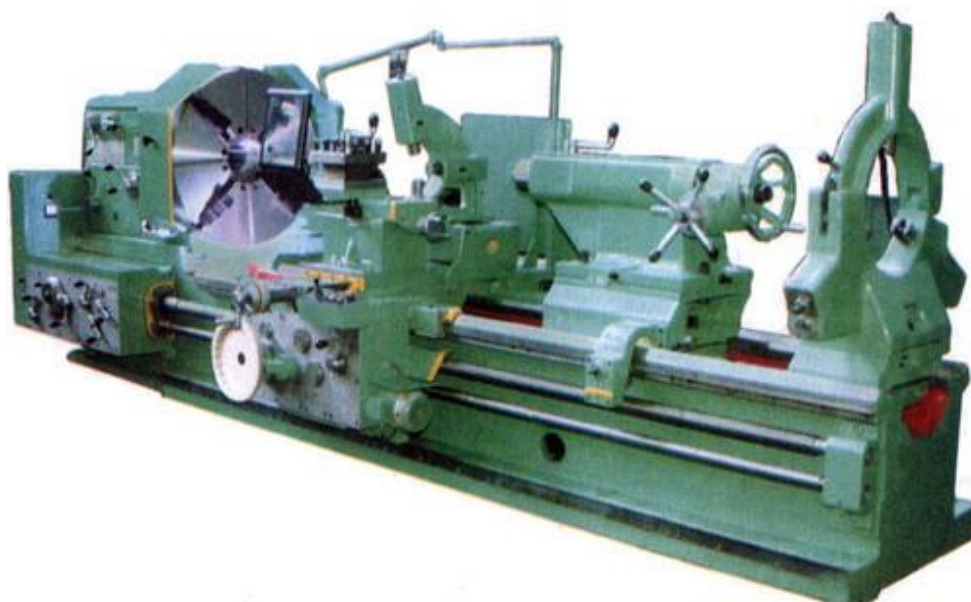


Рисунок 1.1 – Металорізальний верстат моделі РТ700Ф3

Верстат призначений для обробки циліндричних, конічних і фасонних поверхонь деталей із чорних і кольорових металів по автоматичному циклі.

Основні дані:

Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:

над станиною.....1000

над супортом.....600

Найбільший діаметр прутка,

в отворі шпинделя, мм80

Найбільший довжина обточування, мм300

Висота центрів, мм.....500

Число обертів шпинделя у хвилину.....5-500

Число керованих осей координат (усього/одночасно)...../2

Межі подач, мм/хв:

поздовжніх.....0-1200

поперечних.....0-600

Величина прискорених переміщень супорта, м/хв:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поздовжніх.....	1,2
поперечних.....	0,6
Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт.....	2
Габарит верстата (довжина х ширина х висота), мм.....	5825x2100x1760
Вага верстата, кг.....	11500

Токарний центровий верстат зі ЧПУ моделі 1А660Ф3.

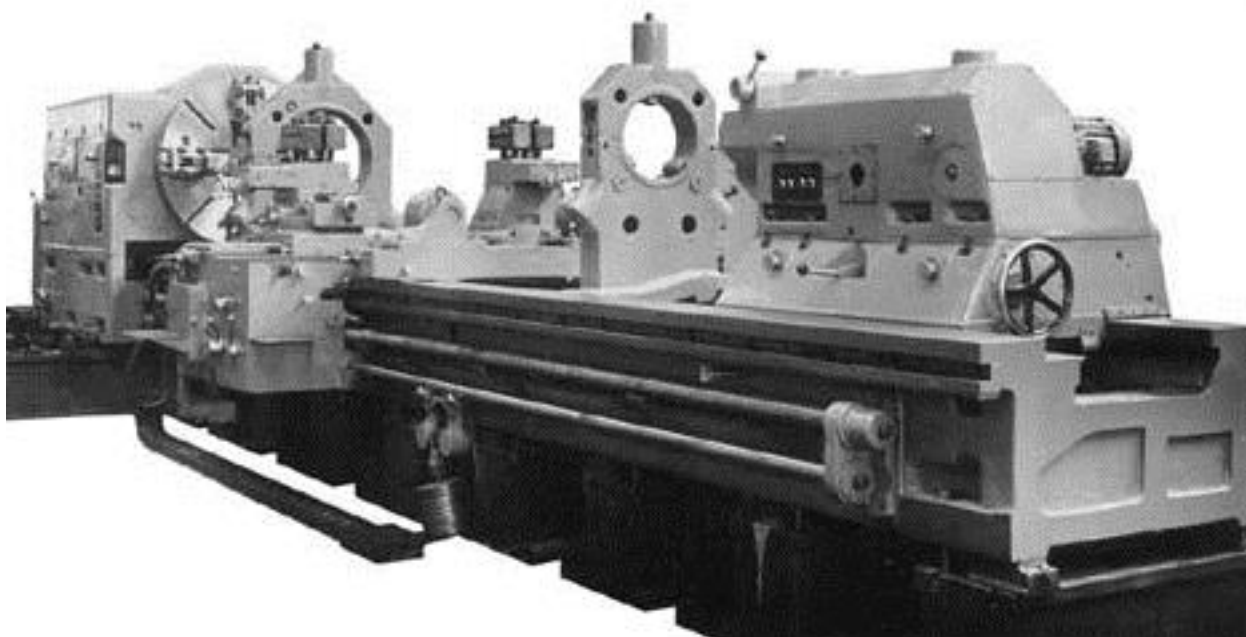


Рисунок 1.2 – Металорізальний верстат моделі 1А660Ф3

Верстат призначений для обточування в центрах деталей із криволінійним контуром по заданій програмі. Верстат обладнаний одним або двома хрестовими супортами. Клас точності верстата П.

Основні дані:

Найбільші розміри оброблюваної деталі, мм:

 діаметр (над станиною/над супортом).....1250/800

 довжина6000

Число обертів шпинделя у хвилину.....1,6-200

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Число керованих осей координат (усього/одночасно).....3/2

Кількість інструмент.....1

Тип привода подачі по осях координат

Тиристорний з регулюванням

Потужність привода подач, кВт:

ET3C1-Г.....

ET3C2-Г.....

Межі робочих подач по осях координат, мм/хв

X.....0-500

Y.....0-1000

Число шаблів подач по осях координат X,Y.....12

Швидкість швидкого переміщення по осях координат, мм/хв

X.....000

Y.....2000

Найбільше переміщення по осях координат, мм

X.....800

Y.....5000

Токарний верстат з ЧПК моделі 16K50 Ф3

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3. – Металорізальний верстат моделі 16K50Ф3

Верстат призначений для обточування і розточування виробів типу валів і втулок із циліндричною й фасонною поверхнями по замкнутому автоматичному циклі в один або кілька проходів з автоматичною зміною інструмента.

Областю раціонального використання верстата є дрібносерійне й серійне виробництво.

Достатній діапазон чисел обертів шпинделя і подач, наявність на верстаті поворотної чотирьох- або шестипозиційної (за замовленням) різцевої головки з швидкозмінними блоками й необхідною кількістю інструмента зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів дозволяють ефективно використати верстат при обробці виробів з різних матеріалів.

Забезпечується швидке переналагодження верстата, в основному це визначається в зміні програмоносія і різального інструменту.

Верстат виготовляється по класу точності II і дозволяє обробляти деталі по 2-3-му класам точності.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На верстаті передбачається одержання 6-го класу чистоти обробки поверхонь.

Основні дані:

Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:

над станиною.....500

над супортом.....570

Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм.....000,2800-5000

Найбільша вага оброблюваної деталі, кг.....100

Числа обертів шпинделя у хвилину.....2,5-500

Тип привода подачі. Тиристорний регульований ET3C1-Г

Потужність привода подачі, кВт.....

Число керованих осей координат (усього/одночасно).....2/2

Межі робочих подач по осях координат, мм/хв

X.....0-500

Y.....0-1000

Число подач - безступеневе регульоване

Швидкість швидкого переміщення по осях координат, мм/хв

X.....2400

Y.....4800

Найбільше переміщення по осях координат, мм

X.....600

Y.....1800

Потужність електродвигуна привода головного руху.....10

Вага верстата, кг.....1000

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Токарний верстат з ЧПК _ТС16А16Ф3Ф3 фірми “СтаноМашКомплекс”.
Загальний вид верстата наведений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 - Верстат ТС16А16Ф3Ф

Основні технічні характеристики верстата мод. ТС16А16Ф3Ф

Максимальний діаметр заготовки, мм: 320

Максимальний діаметр виробу типу диск, мм: 320

Найбільший діаметр обробки над супортом, мм: 160

Максимальна вага заготовки, кг. 130

Діаметр пінолі, мм: 50

Конус пінолі задньої бабки :орзе 4

Тип напрямних X кочення

Тип напрямних Z кочення

Розмір хвостовика різального інструменту 20×20

Максимальне переміщення по осі X, мм 300

Максимальне переміщення по осі Z, мм 350

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система ЧПК Siemens 808 Advanced

Подача, мм/хв: 0,01-800

Габаритні розміри верстата, мм: 1900 x 1350 x 1500

Маса верстата , кг 1200

Токарний верстат з ЧПК GOODWAY серії TS-150 для обробки деталей (GOODWAY) (рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 - Токарний верстат з ЧПК GOODWAY серії TS

Основні технічні характеристики верстата мод. GOODWAY серії TS:

Найбільший діаметр встановлюваного виробу330 мм

Найбільший діаметр обточки200 мм

Стандартний діаметр обточки165 мм

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна довжина обточки290 мм

Максимальна вага заготовки50 кг

Розмір патрона6”

Передній кінець шпинделяA2-5

Отвір у шпинделі41 мм 56 мм

Найбільший діаметр оброблюваного прутка100 мм 200 мм

Вихідна потужність двигуна5,5 / 7,5 кВт

Діапазон швидкостей обертання шпинделя60 - 6000 об/хв

Швидкість швидкого переміщення по осям X/Z24 м/хв

Макс. переміщення по осі X305 мм

Макс. переміщення по осі Y320 мм

Маса верстата1750 кг

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Призначення і характеристика виробу

Габаритні розміри деталі «Вал» Ø 183,31 × 631, сталь 40Х
ДСТУ 4543-71, маса деталі 62.13 кг.

Як деталі для розробки технології виготовлення прийнятий вал-шестерня. Вал-шестерня є деталлю редуктора, він призначений для передачі крутного моменту від шестерні до колеса за допомогою косозубого зачеплення. За класифікацією вал-шестерня відноситься до ступінчастим валів, двостороннім, з центровими отворами, середньої точності, високої жорсткості $L / D = 631 / 183.3 = 3.4$.

Розглянемо всі оброблювані поверхні вала з метою встановлення точності розмірів, якості оброблюваних поверхонь.

Ступінь Ø 100к6 мм, довжиною 95 мм, виготовляється з 6 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 0,8$ мкм. Щодо бази А радіальне биття 0,015 мм, відхилення від прямолінійності 0,01 мм, відхилення від округлості 0,01 На ній розташовані шпонкові пази, висота паза 10 мм. ширина 28Р9 мм, $Ra = 3,2$ мкм.

Ступінь Ø 110к6 мм, довжиною 120 мм, виготовляється з 6 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 0,8$ мкм. Щодо бази А радіальне биття 0,02 мм. На ній розташовані шпонкові пази, висота паза $11 + 0.2$, ширина 32Р9 мм, шорсткість $Ra = 3,2$ мкм.

Ступінь Ø 183,31 мм розташований косозубий вінець, виконаний з кутом нахилу зубів $\beta = 17^\circ$, число зубів $z = 20$, модуль $m = 8$, ступінь точності по ДСТУ 1643 - 81 5 - В. Ширина зубчастого вінця 105 мм, шорсткість - $Ra = 1,6$ мкм, радіальне биття щодо бази А - 0,01 мм.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

Ліворуч і праворуч від зубчастого вінця розташовані шаблі $\varnothing 130$ мм, довжиною 51 мм і 200 мм. Ступінь $\varnothing 110js5$ мм, довжиною 45 мм, виготовляється по 5 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 0,08$ мкм.

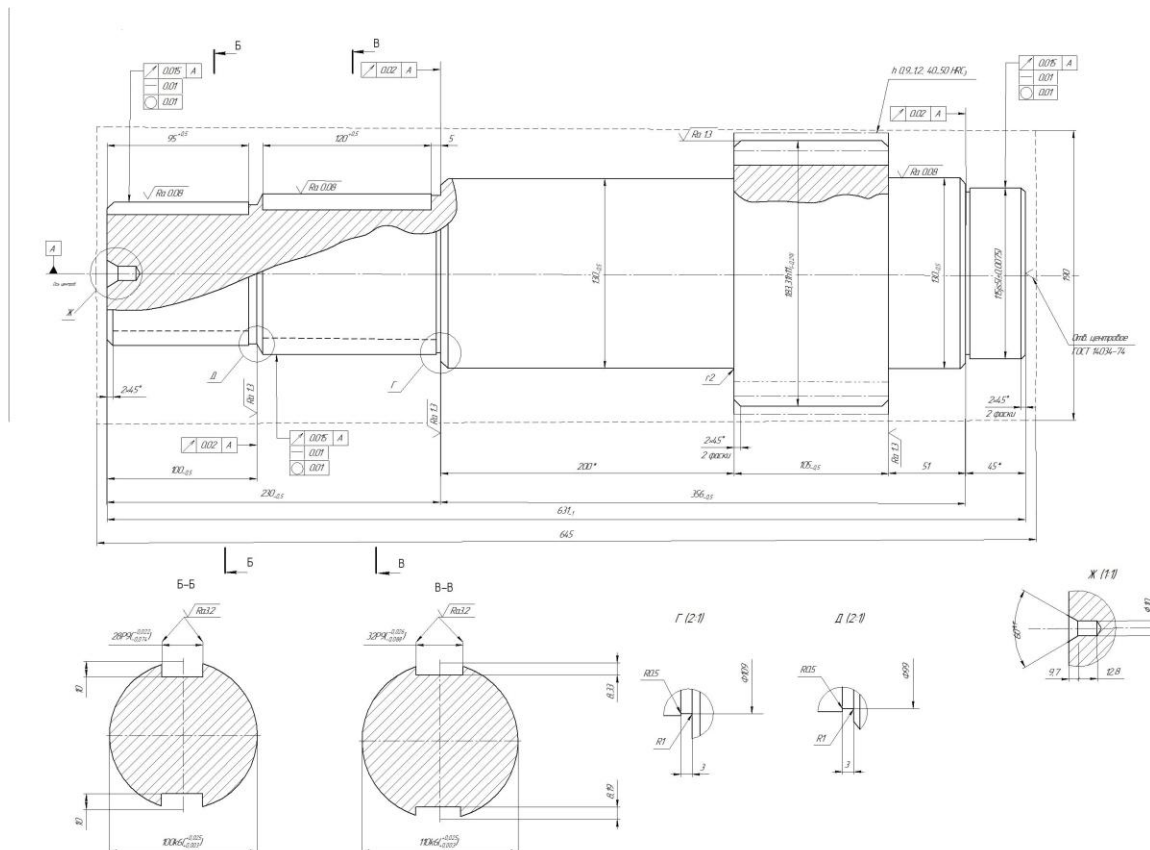


Рисунок 2.1 - Деталь «Вал»

Твердість деталі досягається термічною обробкою-загартуванням, 217 ... 269HB і зуби 40 ... 50 HRC, здійснюється для того щоб підвищити як жорсткість так і збільшити зносостійкість і виконується перед шліфуванням.

До деталі пред'являється безліч точнісних вимог, а також вимоги до шорсткості поверхні.

Технічна характеристика:

Матеріал: Сталь 40Х ДСТУ 4543-71

Модуль осьовий $m = 8$ мм

Число зубів $Z = 20$

Ступінь точності 5-B по ДСТУ 1643-72

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса деталі 62.13кг

Вал виготовляється з легованої сталі 40Х ДСТУ 4543, хімічний склад і механічні властивості приведені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 4543-71.

Матеріал	Вуглець, С, %	Кремній, 31, %	Марганець Мп, %	Сера, 5, %	Фосфор, Р, %	Хром, Сг, %
Сталь40	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,035	0,04	0,8-1,1

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 4543-71.

НВ	σ В , МПа	σ Т, МПа	δ, %	ψ , %
207... 250	1000	800	10	45

2.2 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Основні завдання, які вирішуються при аналізі технологічності виробу, зводяться до можливого підвищення продуктивності праці при механічній обробці, до зниження витрат і скорочення часу на технологічну підготовку виробництва при забезпеченні необхідної якості виробу.

1. Даний вал-шестерня є жорстким, тому що $\frac{l}{d} = 631 / 183.3 = 3.4 < 5$, а це є однією з умов технологічності.

2. Деталь складається зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів: діаметральних і лінійних розмірів, зубчастого вінця. Це сприяє використанню стандартних ріжучих і вимірювальних інструментів. Однак мають місце і більш складні у виготовленні поверхні: косозуба шестерня, що вимагає спеціального ріжучого інструменту, але так само стандартизованого. Двосторонній шпонковий паз дещо ускладнює обробку і вимагає застосування спеціалізованого інструменту.

3. Деталь має точність і шорсткість, які можна отримати стандартним уніфікованим інструментом при стандартному технологічному процесі.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Матеріал заготовки відповідає вимогам технології виготовлення: при виготовленні немає необхідності застосовувати складні технологічні процеси виготовлення деталі; для зберігання матеріалу немає необхідності створювати певні умови зберігання і транспортування. Шорсткість базових поверхонь задовольняє вимогам точності установки деталі, її обробки і контролю. Деталь симетрична відносно своєї вісі.

6. На деталі є канавки для вільного виходу ріжучого інструменту і фаски, причому всі ці елементи є уніфікованими, що сприяє підвищенню технологічності конструкції деталі.

7. Всі оброблювані поверхні мають вільний підведення і відведення різального інструменту, за винятком паза, який є закритим. Для його обробки можна використовувати тільки кінцеву фрезу.

8. Всі шорсткості, позначені на кресленні, відповідають даним квалітетам точності, а це також є однією з умов технологічності.

10. Точність деталі - середня, точними поверхнями є Ø 100k6 мм, Ra = 0,8 мкм, 28P9 мм, Ø 110k6 мм, Ra = 0,8 мкм; 32P9мм; Ø 110js5 мм, Ra = 0,8 мкм; а також бічні і внутрішні поверхні зубів. Для досягнення високого класу точності і низькою шорсткості необхідно задіяти шліфування. Досягнення необхідної точності розмірів, а також необхідної шорсткості і допустимих просторових відхилень і геометричних похибок не викликають труднощів при обробці деталі на стандартному обладнанні.

Визначимо значення відносних показників технологічності, які повинні прийматися в межах $0 < K < 1,0$.

1.Рівень технологічності по точності обробки

$$K_{y.T\checkmark} = \frac{K_{\delta.T\checkmark}}{K_{T\checkmark}}$$

де $K_{\delta.T\checkmark}, K_{T\checkmark}$ - відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти обробки

Коефіцієнт точності обробки

$$K_{T\checkmark} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $T_{\text{ср}}$ - середній квалітет точності обробки виробу;

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T n_i}{\sum n_i}$$

n_i - число розмірів відповідного квалітету точності;

T - квалітет точності обробки.

$$T_{\text{ср}} = \frac{14 * 2 + 11 * 1 + 9 * 2 + 6 * 2 + 5 * 1}{8} = \frac{74}{8} = 9,3$$

Тоді $K_{T_{\text{ч}}} = 1 - \frac{1}{9,3} = 0,89$

Коефіцієнт точності обробки деталі $k_{m.o.} = 0,91 > 1$, відповідно, деталь є технологічною.

2. Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхні

$$K_{y_{\text{ш}}} = \frac{K_{\text{б.ш}}}{K_{\text{ш}}}$$

$K_{\text{б.ш}}$ $K_{\text{ш}}$ - відповідно базовий та досягнутий коефіцієнт шорсткості поверхні

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} = 1 - \frac{\sum n_{i\text{ш}}}{\sum \text{Ш} n_{i\text{ш}}}$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середня шорсткість поверхні виробу

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш} n_{i\text{ш}}}{\sum n_{i\text{ш}}}$$

Ш - шорсткість поверхні;

$n_{i\text{ш}}$ - число поверхонь відповідної шорсткості.

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{6,3 * 6 + 3,2 * 8 + 1,6 * 4 + 0,8 * 4}{22} = 3,32$$

Тоді

$$K_{y_{\text{ш}}} = 0, \frac{698}{1} = 0,698 < 1$$

Рівень технологічності деталі по трудомісткості і технологічної собівартості остаточно визначається після розробки техпроцесу і отримання необхідних для розрахунку даних з урахуванням зниження трудомісткості

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлення і собівартості деталі, обумовленого тільки зміною конструкції деталі та заготовки, матеріалу і методу отримання.

2.3 Обґрунтування програми випуску і типу виробництва

Річну програму випуску визначають на підставі заданого програмного завдання по формулі:

$$N_r = N_n \times m (1 + a / 100) (1 + b / 100),$$

Де: N_n -програмне завдання випуску виробів на рік;

m - кількість деталей, що йдуть на один виріб;

a - відсоток деталей, що йдуть на запчастини; $a = 0 \dots 10\%$

Приймаємо $a = 3\%$;

b - відсоток технічно неминучих виробничих втрат;

Приймаємо $b = 4\%$.

$$N_r = 5000 \times 1 (1 + 3/100) (1 + 4/100) = 5356 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_r = 5400$ шт.

Тип виробництва на початковому етапі проектування, коли невідомо число обладнання і робочих місць збільшено визначають залежно від програми випуску і маси деталі.

Таблиця 2.3 - Вибір типу виробництва

Тип виробництва	Річна програма випуску N_B , шт		
	важкі, $m > 100 \text{ кг}$	середні, $m = 10 \dots 100 \text{ кг}$	легкі, $m < 10 \text{ кг}$
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5...100	10...200	100...500
Серійне	100...300	200...500	500...5000
Крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
Масове	>1000	>5000	>50000

За таблицею даних річній програмі випуску і масі деталі відповідає масове виробництво.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Проектування маршрутного технологічного процесу

Розробка технологічного процесу є одним з найважливіших етапів підготовки виробництва, так як від неї в значній мірі залежить якість продукції, трудомісткість виробництва і собівартість кінцевої продукції.

Технологічний процес розділимо на етапи - чорнову і чистову обробку. В процесі чорнової обробки знімається основна величина припуску. Чистова обробка призначена для забезпечення заданої точності і якості оброблюваних поверхонь. Операції технологічного процесу виконуються в наступній послідовності:

Складемо маршрут обробки заданого виробу, дамо загальний план обробки деталі, визначимо зміст операцій технологічного процесу і призначимо тип обладнання.

У таблиці 2.4 показаний базовий і розроблений маршрутний технологічний процес.

Таблиця 2.4 - Маршрутний технологічний процес

№	Базовий маршрут	Обладн	№	Розроблений маршрут	Обладн
005	Розмічувальна		005	Фрезерно-центрувальна	МР71М
010	Відрізна		010	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
015	Горизонтально-Розточувальна		015	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
020	Токарна	16K20	020	Термообробка	
025	Маркування		025	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
030	Термообробка		030	Токарна с ЧПК	16K20Ф3
035	Токарна		035	Кругло-шліфувальна	ЗМ151

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

040	Токарна		040	Зубо -фрезерна	5K324A
045	Токарна		045	Термообробка	
050	Маркування		050	Горизонтально-розточувальна	2637Г
055	Кругло-Шліфувальна		055	Кругло-шліфувальна	3М151
060	Зубо-Фрезерна		060	Зубо-шліфувальна	5A841
065	Слюсарна		065	Маркування	
070	Контроль		070	Контроль ОТК	
075	Термообробка		075	Консервація	
080	Токарна				
085	Кругло-Шліфувальна				
090	Зубо -Шліфувальні				
095	Зубо -Шліфувальні				
100	Розмітка				
105	Горизонтально-Розточна				
110	Слюсарна				
115	Термообробка				
120	Центро -Шліфувальна				
125	Кругло-Шліфувальна				
130	Зубо-Шліфувальна				

135	Зубо-Шліфувальна				
140	Маркування				
145	Контроль				
150	Консервація				

При розробці нового техпроцесу були поєднані деякі токарні операції. Токарська обробка в проектованому техпроцесі ведеться не на універсальних токарно-гвинторізних верстатах, а на токарних верстатах з ЧПК.

Це пов'язано перш за все з тим, що збільшений обсяг виробництва даної деталі, а також підвищені вимоги до точності виготовлення деталі. У базовому маршрутному процесі при диференціюванні операцій знижувалася точність виготовлення через перевстановлення заготовки.

Заміна технологічного оснащення: для верстатів з ЧПК спостерігається тенденція до автоматизації деяких видів оснастки. Так, наприклад, ручні затискні пристрої замінені механізованими з пневмоприводом і гідроприводом.

Для токарних операцій застосовуються спеціальні різці для верстатів ЧПК з твердосплавними пластинами T5K10 - чорнова обробка; T15K6 - чистове обробка по ДСТУ 20872-80.

2.5. Розрахунок припусків і міжопераційних розмірів

При проектуванні технологічного процесу механічної обробки допустимо встановити оптимальну величину шару металу, який забезпечує задану точність і якість поверхні. Під припуском розуміється шар металу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей і точності обробленої поверхні.

Знання припусків і допусків на розміри встановлює проміжні і

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_{10} = \frac{T_3}{T_0} = \frac{2,2}{0,015} = 146,7 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_4 = \frac{T_3}{T_0} = \frac{0054}{0,015} = 3,6 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3} = \frac{0,22}{0,054} = 4,1 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{0,35}{0,22} = 1,6 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{T_3}{T_1} = \frac{2,2}{0,35} = 6,3 \text{ мм}$$

2) Просторові відхилення:

$$\Delta_{00} = \sqrt{\Delta_{кор}^2 + \Delta_{см}^2} = \sqrt{0,8834^2 + 1,4^2} = 1,66 \text{ мм}$$

$$\Delta_{кор} = \Delta_{\kappa} \cdot L = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 631 = 883,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

де: Δ_{κ} - кривизна;

$\Delta_{см}$ - відхилення від співвісності;

$$\Delta_{05} = K_y \cdot \Delta_{00} = 0,06 \cdot 1,66 = 0,1 \text{ мм}$$

K_y - коефіцієнт уточнення;

$$\Delta_{10} = (\Delta_{чист}^2 + \Delta_{терм}^2)^{0,5} = (0,004^2 + 0,056^2)^{0,5} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{терм} = \frac{0,001 \cdot n_{\kappa} \cdot L}{0,1 \cdot d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 631}{0,1 \cdot 110 + 0,3} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{чист} = \Delta_{05} \cdot K_y = 0,1 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ мм}$$

$$\Delta_{15} = K_y \cdot \Delta_{10} = 0,02 \cdot 0,056 = 0,00112 \text{ мм}$$

$$\Delta_{20} = K_y \cdot \Delta_{15} = 0,02 \cdot 0,0028 = 0,0000224 \approx 0 \text{ мм}$$

3) Похибка установки:

$$\varepsilon_{05} = (\varepsilon_{рад}^2 + \varepsilon_{ос}^2)^{0,5} = (0,3^2 + 0,2^2)^{0,5} = 0,36 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{10} = 0,25 \cdot T_D = 0,25 \cdot 0,35 = 0,0875 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{15} = 0,25 \cdot 0,22 = 0,055 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{20} = 0$$

4) Мінімальні проміжні припуски визначаються за формулою

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

05 Точіння попереднє	0,05	0,05	0,1	3,6	1,67	4,22	3,87	112,1033	0,35	0	-0,74
10 Точіння остаточне	0,025	0,025	0,056	0,1	0,356	0,926	1,096	111,0072	0,22	0	-0,22
15 Шліфування попереднє	0,01	0,02	0,00112	1,6	0,217	0,491	0,928	110,0792	0,054	0,027	-0,027
20 Шліфування остаточне	0,0025	0,005	0	6,3	0,02724	0,10324	0,07924	109,973	0,022	0,0025	-0,003

8) Питоме відхилення визначається за формулою:

$$\varepsilon_{TO} = \frac{T_i}{T_j};$$

$$\varepsilon_4 = \frac{T_3}{T_0} = \frac{0,054}{0,022} = 2,455 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3} = \frac{0,22}{0,054} = 4,1 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{0,35}{0,22} = 1,6 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_1 = \frac{T_3}{T_1} = \frac{2,2}{0,35} = 6,3 \text{ мм}.$$

9) Просторові відхилення:

$$\Delta_{00} = \sqrt{\Delta_{кор}^2 + \Delta_{см}^2} = \sqrt{0,8834^2 + 1,4^2} = 1,66 \text{ мм};$$

$$\Delta_{кор} = \Delta_{\kappa} \cdot L = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 631 = 883,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

де: Δ_{κ} - кривизна;

$\Delta_{см}$ - відхилення від співвісності;

Δ_{κ} - кривизна.

$$\Delta_{05} = K_y \cdot \Delta_{00} = 0,06 \cdot 1,66 = 0,1 \text{ мм}$$

K_y - коефіцієнт уточнення.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{10} = (\Delta_{\text{чист}}^2 + \Delta_{\text{терм}}^2)^{0,5} = (0,004^2 + 0,056^2)^{0,5} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{терм}} = \frac{0,001 \cdot n_{\kappa} \cdot L}{0,1 \cdot d + 0,3} = \frac{0,001 \cdot 1 \cdot 631}{0,1 \cdot 110 + 0,3} = 0,056 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{чист}} = \Delta_{05} \cdot K_y = 0,1 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ мм}$$

$$\Delta_{15} = K_y \cdot \Delta_{10} = 0,02 \cdot 0,056 = 0,00112 \text{ мм}$$

$$\Delta_{20} = K_y \cdot \Delta_{15} = 0,02 \cdot 0,0028 = 0,0000224 \approx 0 \text{ мм}$$

10) Похибка установки

$$\varepsilon_{05} = (\varepsilon_{\text{рад}}^2 + \varepsilon_{\text{ос}}^2)^{0,5} = (0,3^2 + 0,2^2)^{0,5} = 0,169 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{10} = 0,25 \cdot T_D = 0,25 \cdot 0,35 = 0,0875 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{15} = 0,25 \cdot 0,22 = 0,055 \text{ мм},$$

$\varepsilon_{20} = 0$, тому що попереднє і чистове шліфування виконується з одного установу

11) Мінімальні проміжні припуски визначаються за формулою

$$2 \cdot z_{\min} = 2 \cdot [(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}]$$

$$2 \cdot z_{20 \min} = 2 \cdot [(0,0025 + 0,005) + 0,00112] = 0,02724 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \min} = 2 \cdot [(0,01 + 0,02 + \sqrt{0,056^2 + 0,055^2})] = 0,217 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \min} = 2 \cdot [(0,025 + 0,025) + \sqrt{0,1^2 + 0,0875^2}] = 0,356 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \min} = 2 \cdot [(0,05 + 0,05) + \sqrt{1,66^2 + 0,169^2}] = 1,67 \text{ мм}$$

12) Максимальні проміжні припуски

$$2 \cdot z_{\max} = 2 \cdot z_{\min} + ITD_{i-1} + ITD_i$$

$$2 \cdot z_{20 \max} = 0,02724 + 0,025 + 0,027 = 0,10324 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15 \max} = 0,217 + 0,22 + 0,054 = 0,491 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10 \max} = 0,356 + 0,35 + 0,22 = 0,926 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05 \max} = 1,67 + 2,2 + 0,35 = 4,22 \text{ мм}$$

13) Номінальні міжопераційні припуски

$$2 \cdot z_i = 2 \cdot z_{i \min} + es_i + ei_{i-1}$$

$$2 \cdot z_{20} = 2 \cdot z_{20 \min} + es_{20} + ei_{15} = 0,01724 + 0,0075 - 0,027 = 0,07924 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{15} = 2 \cdot z_{15 \min} + es_{15} + ei_{10} = 0,217 + 0,027 + 0,22 = 0,928 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{10} = 2 \cdot z_{10 \min} + es_{10} + ei_5 = 0,356 + 0 + 0,74 = 0,1096 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z_{05} = 2 \cdot z_{05 \min} + es_{05} + ei_{00} = 1,67 + 0 + 2,2 = 3,87 \text{ мм}$$

14) Операційні розміри:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{20} = D_{\phi} = 110 \pm 0,0075 \text{ мм}$$

$$D_{15} = D_{\phi} + 2 \cdot z_{20} = 110 + 0.05174 = 110.07924 \text{ мм}$$

$$D_{10} = D_{15} + 2 \cdot z_{15} = 110.05174 + 0.928 = 111.00724 \text{ мм}$$

$$D_{05} = D_{10} + 2 \cdot z_{10} = 110.98 + 1.096 = 112.1033 \text{ мм}$$

$$D_{00} = D_{05} + 2 \cdot z_{05} = 112.076 + 3.87 = 115.9733 \text{ мм}$$

$$D_{\phi} = 115.973^{+3,5}_{-1,7} \text{ мм}$$

Розрахунок припусків дослідно-статистичним методом

Для визначення припусків на інші поверхні використовуємо дослідно-статистичний метод, який завдяки простоті і наглядності, можливості нормувати припуски на складні поверхні, отримав в машинобудуванні найбільш широке застосування. Результати розрахунків припусків занесемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Визначення припусків на $\varnothing 100k6$, $L = 100$ мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D, мм		Операційний допуск δ , мм	Припуск Z_i min, мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	6	0,08	100	100	0,022	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	8	1,6	100,1	100.1	0,054	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	10	Rz=40	100,44	100.4	0,14	0,6	0,65
05	12	Rz=60	101,39	101.4	0,35	2,0	2,7

					КРБ 22-051.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Точіння попереднє							
Заготовка	14	Rz=80	104,26	105	0,87	-	-

Проставляємо допуски на всі технічні операції:

$$\delta_{20}=0.022 \text{ мм};$$

$$\delta_{15}=0.054 \text{ мм};$$

$$\delta_{10}=0.14 \text{ мм};$$

$$\delta_{05}=0,35 \text{ мм};$$

$$\delta_{\text{заг}}=0,87 \text{ мм}.$$

Визначаємо міні припуски на кожну операцію:

$$z_{20}^{\min}=0,05 \text{ мм};$$

$$z_{15}^{\min}=0,2 \text{ мм};$$

$$z_{10}^{\min}=0,6 \text{ мм};$$

$$z_{05}^{\min}=2,0 \text{ мм}.$$

Визначаємо розрахунковий розмір кожної операції за формулами:

$$A_i^{\text{расч}} = A_{i+1}^{\text{расч}} + \delta_i + z_{i+1}^{\text{расч}} ;$$

$$A_{15}^{\delta \delta \delta} = A_{20}^{\delta \delta \delta} + \delta_{15} + z_{20}^{\delta \delta \delta} = 110 + 0.054 + 0.05 = 110.1 (\text{і і})$$

$$A_{10}^{\delta \delta \delta} = A_{15}^{\delta \delta \delta} + \delta_{10} + z_{15}^{\delta \delta \delta} = 110.1 + 0.14 + 0.2 = 110.44 (\text{і і})$$

$$A_{05}^{\text{расч}} = A_{10}^{\text{расч}} + \delta_{05} + z_{10}^{\text{расч}} = 100.44 + 0.035 + 0.6 = 111.39 \text{ (мм)}$$

$$A_{\text{заг}}^{\text{расч}} = A_{0,5}^{\text{расч}} + \delta_{\text{заг}} + z_{10}^{\text{расч}} = 101.39 + 0.87 + 2.0 = 114.26 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо скореговані припуски на кожну операцію за формулою:

$$z_i^{\text{прим}} = A_{i-1}^{\text{прим}} - A_i^{\text{прим}} - \delta_{i-1}$$

$$z_{20}^{\text{прим}} = A_{15}^{\text{прим}} - A_{20}^{\text{прим}} - \delta_{15} = 110,1 - 110 - 0,054 = 0,046 (\text{і і})$$

$$z_{15}^{\text{прим}} = A_{10}^{\text{прим}} - A_{15}^{\text{прим}} - \delta_{10} = 110,4 - 110,1 - 0,14 = 0,2 (\text{і і})$$

$$z_{10}^{\text{прим}} = A_{05}^{\text{прим}} - A_{10}^{\text{прим}} - \delta_{05} = 101.4 - 110.4 - 0.35 = 0.65 \text{ (мм)}$$

					КРБ 22-051.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$z_{05}^{прим} = A_{заг}^{прим} - A_{05}^{прим} - \delta_{заг} = 105 - 101.4 - 0.87 = 2.7 \text{ (мм)}.$$

Таблиця 2.8 - Визначення припусків на $\varnothing 130_{-0,5}$, L = 200 мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D,мм		Операційний допуск δ ,мм	Припуск $Z_{i \min}$, мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	5	0,08	130	130	0.015	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	7	1,6	130,09	130,1	0,035	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	9	Rz=40	130,37	130,4	0,087	0,6	0,68
05 Точіння попереднє	11	Rz=60	131,19	131,3	0,22	2,0	2,8
Заготовка	14	Rz=80	134,06	135	0,87	-	-

Таблиця 2.9 – визначення припусків на $\varnothing 183.31h11$, L = 105 мм.

Найменування операції та вид	Квалітет точності	Шорсткість мкм	Операційний розмір D,мм		Операційний допуск δ ,мм	Припуск $Z_{i \min}$,мм	
			Розрахунковий	Прийнятий		Нормативний	скорегований
20 Шліфування остаточне	6	0,08	183,31	183,31	0,029	0,05	0,046
15 Шліфування попереднє	8	1,6	183,43	183,4	0,072	0,2	0,2
10 Точіння остаточне	10	Rz=40	183,82	183,8	0,185	0,6	0,65
05 Точіння	12	Rz=60	184,87	184,9	0,46	2,0	2,7

					КРБ 22-051.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

попереднє							
Заготовка	14	Rz=80	188,027	190	1,15	-	-

2.6 Розрахунок режимів різання

Токарна чорнова обробка Ø 100k6

Матеріал деталі 40X, металорізальний інструмент - різець з пластинами з твердою сплавом перерізом ВхН 40х25, L - 130 мм, марка матеріалу Т15К6, мінімальний припуск на чорнове точіння $z_{\min}^{\text{чорн}} = 3500$ мкм=3,5мм. Допуск на заготовку $\delta_z = 7.2$ мм.

1. Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{z_{\min}^{\text{чорн}}}{2} + \frac{\delta_z}{2} = \frac{3,5}{2} + \frac{7,2}{2} = 5,35 \text{ мм}$$

Подача при чорновому точінні приймається максимально допустимої по потужності обладнання, міцності ріжучої пластини і міцності державки або глибині різання

$t = 5,35$, перетин різця 25х40 і діаметр деталі ($d = 135$ мм, $S = 1$ мм/об).

2. Визначимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T_m \cdot t^x \cdot S^y} K_v = \frac{340 \cdot 0.76}{60^{0.2} \cdot 5.35^{0.15} \cdot 1^{0.45}} = 100.9 \text{ м / мин}$$

де C_v , m , x_v , y_v - показники ступеня, залежать від виду обробки, виду матеріалу деталі і ріжучої частини різця, подачі інструменту.

При $S = 1$ мм/об, при зовнішньому поздовжньому точінні прохідним різцем, матеріалу деталі Сталь 40X і різальної частини різця Т15К6:

$C_v = 340$; $m = 0,2$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$.

K_v - поправочний коефіцієнт;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 0.95 \cdot 0.8 \cdot 1.0 = 0.76$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 100.9}{3.14 \cdot 110} = 221.52 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата:

					КРБ 22-051.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$n = 220 \text{ хв}^{-1}$$

Дійсна швидкість різання:

$$V = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{3.14 * 110 * 220}{1000} = 93,9 \text{ м / хв}.$$

Сила різання:

$$P = 10 C_p * t^x * S^y * V^m * K_p;$$

$$C_p = 300; X=1; y=0,75; m= -0,15.$$

$$P_z = 10 * 300 * 5.35 * 1^{0.75} * 93.9^{-0.15} = 5931 \text{ (Н)}.$$

Потужність:

$$N = \frac{P_z * V}{1020 * 60} = \frac{5931 * 93,9}{1020 * 60} = 9,099 \text{ кВт}.$$

Основний час:

$$T_o = \frac{L * i}{n S} = \frac{135 * 2}{220 * 1} = 1,25 \text{ хв}.$$

де L – довжина обробки;

де L = 135 - довжина оброблюваної поверхні, яка враховує врізання і перебіг різального інструменту;

i = 2- число проходів

Визначимо норму штучного часу Тшт для токарної чорнової операції виконуваної на верстаті 16К20Ф3. Виробництво масове. Розрахунок ведемо за формулою:

$$\begin{aligned} T_{шт} &= T_o + T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{из} + T_{тех} + T_{орг} + T_{от} = \\ &= 1,25 + 5,3 + 0,27 + 0,01 + 0,7 + 0,1 + 0,3 + 0,6 = 8,52 \text{ хв}; \end{aligned}$$

де Т_о – основний час;

Т_{ус} = 5,3 час на установку і зняття деталі;

Т_{зо} = 0,27 час на закріплення і відкріплення деталі;

Т_{уп} = 0,01 час на прийом керування;

Т_{из} = 0,7 час на вимірювання деталі;

Т_{тех} = 0,1 технічний час на обслуговування робочого місця;

$$T_{отд} = 4\% T_{оп} - (1,25 + 5,3 + 0,27) * 4\% = 0,3 \text{ хв};$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Торг = 8% Топ - 0,6.

Розрахунок режимів різання на операцію шліфування 183,31h11

Вибираємо верстат 3М151. Розміри шліфувального круга 500х40х203,
n = 1590 потужність головного приводу 10 кВт.

Вибираємо шліфувальний круг ПП500х40х203 22А40 - ПСМ1К6
35м/с.

Абразивний матеріал - електрокорунд білий 22А.

Зернистість круга 40П.

Твердість – середньом'який СМ-1.

Зв'язка - керамічна К6.

Форма - пряма ПП.

Глибина різання при круглому шліфуванні визначається величиною поперечної передачі (Sp) мм/хв. Приймаємо Sp = 0,5 мм / хв. Визначаємо подовжню подачу за формулою:

$$S_{\text{прод}} = (0,2 \dots 0,4) V = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ мм/об}$$

де Sпрод – величина подовжньої подачі, мм/об;

V – товщина круга, мм.

1. Визначимо швидкість різання:

$$V_{\text{кр}} \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 183,31 \cdot 1590}{1000 \cdot 60} = 15,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Приймаємо $V_{\text{кр}} = 30 \text{ м/с}$

2. Визначимо частоту обертання заготовки (об/хв) :

$$n_z = \frac{1000 V_z}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 55}{3,14 \cdot 183,31} = 95$$

$$St = 0,5/95 = 0,005 \text{ мм /дв.ход};$$

де V_z – швидкість обертання заготовки, $V_z = 55 \text{ м/хв.}$

3. Визначимо потужність:

$$N = C_N \cdot v^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q = 1,3 \cdot 30^{0,75} \cdot 0,005^{0,85} 12^{0,7} 183,31^0 = 1,05 \text{ кВт}$$

де C_N, x, y, q, r – коефіцієнти і показники ступеня;

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d – діаметр шліфування.

$$C_N = 1,3; r = 0,74; x = 0,85; y = 0,7; q=0;$$

4. Перевіримо процес різання на достатність потужності привода:

$$N_{сг} = N_{дв} \cdot \eta = 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ кВт}$$

де $N_{дв}$ – потужність двигуна верстата

η – КПД

5. Визначимо основний час (хв) :

$$T_0 = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot S \cdot t} K = \frac{110 \cdot 0,151}{95 \cdot 12 \cdot 0,05} \cdot 1,4 = 3,3$$

де L – довжина ходу, мм.

h – припуск на сторону, мм.

K – коефіцієнт виходу $K = 1,4$.

Визначимо норму штучного часу $T_{шт}$ для шліфувальної операції.
Виробництво середньосерійне.

6. Визначимо норму штучного часу:

$$\begin{aligned} T_{шт} &= T_{оп} + T_{взп} + T_{то} + T_{орг} + T_{отд} = \\ &= 5,3 + 3,3 + 0,4 + 0,4 + 0,3 = 9,7 \text{ хв}; \end{aligned}$$

де T_0 – основний час;

$T_{всп} = 3,3$ час на установку і зняття деталі;

$T_{то} = 6\% \cdot T_{оп} = 6\% \cdot 5,3 = 0,4 \text{ хв}$ час на обслуговування верстата, правка круга;

$T_{оп} = T_0 + T_в = 3,3 + 2 = 5,3$ оперативний час;

$T_{отд} = 4\% \cdot T_{оп} = 4\% \cdot 5,3 = 0,3 \text{ хв}$ час на відпочинок та особисті потреби;

$T_{тех} = 0,1$ технічний час на обслуговування робочого місця;

$T_{орг} = 8\% \cdot T_{оп} = 8\% \cdot 5,3 = 0,4 \text{ хв}$ організація робочого місця, отримання інструменту.

Результати розрахунків іншого часу занесемо в таблицю 2.10.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 – Режими проектованого процесу.

№	Найменування операції	L,мм	V, м/хв ⁻¹	п, об/хв	Тосн, хв	Твсп, хв	Тшт, хв	Σ Тшт, хв
5	Фрезерно-центрувальна	110	145,6	354,6	2,85	0,86	3,4	1,75
		43	1Л7	437,5	1,2	0,23	0,23	
10	Токарна ЧПК	50,00	930	221,56	1 1 07	0,14	1,4	4,23
		51,00	,45	208,23	0,61	0,11	0,9	
		105,00	85,45	133,5	1,57	0,282	1 ,93	
15	Токарна ЧПК	110,00	89,6	285,4	2,5	0,45	3,03	10,37
		130,00	93,9	221,52	1,25	0,23	1,54	
		200,00	85	208,23	4,71	0,85	5,8	
25	Токарна ЧПК	50,00	102,3	278,4	0,74	0,13	0,91	2,78
		51,00	9 1 ,6	248,8	0,46	0,08	0,6	
		105,00	94,5	173,3	1 ,03	0,19	1,27	
30	Токарна ЧПК	110,00	97,6	345,7	1,97	0,36	2,43	7,98
		130,00	102,3	278,4	1,06	0,14	1,3	
		200,00	91 ,6	248,8	3,46	0,62	4,25	
35	Кругло-шліфувальна	105	55	45	3,3	3,2	4,7	4,7
40	Зубо-фрезерна	105	164,2	87 1 ,6	36,7	10,7	52,2	

					КРБ 22-051.00.00.000			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

60	Горизонтально-розточна	120	70	629	4,04	0,60	5.85	8,45
		95	54,8	623,3	2,1	0.32	2,6	
70	Кругло-шліфувальна	45	55	175	1,6	0,48	2,5	16,12
		120	55	1 54,2	2,1	0,65	3,4	
		105	55	45		0,73	4,3	
		45	55	1 59,2	0.7	0.18	0,92	
75	Зубо-шліф	105	45	125	2,5	0,73	8,7	8,7

2.7. Проектування операційного технологічного процесу

На основі маршрутного технологічного процесу був спроектований операційний технологічний процес обробки вала-шестерні.

005 Фрезерно-центрувальна. Для базування деталі в центрах необхідні центрові отвори. Тому для обробки торців заготовки та виконання центрових отворів вибираємо фрезерно-центрувальний верстат МР73. Використовуємо центрувальне свердло Ø12 мм зі сталі Р6М5 ДСТУ 14972-75. Для фрезерування торців застосовуємо торцеву фрезу з пластинами з твердого сплаву Т5К10. Застосування торцевої фрези з пластинами Т5К10 дозволяє збільшити швидкість різання. Таким чином, збільшується продуктивність обробки. Центрові отвори дозволяють забезпечити принцип сталості баз для наступних операцій.

010-015 Токарна з ЧПК. На даних операціях виконується чорнове точіння всіх діаметрів вала. Чорнова обробка по контуру з припусками під подальшу обробку. Точіння виконуємо контурним різцем по ДСТУ 20872-80 з механічним кріпленням твердосплавних пластин Т5К10. При зносі ріжучої поверхні пластини, вона повертається на наступну грань, що дозволяє

					КРБ 22-051.00.00.000			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

збільшити продуктивність і зменшити собівартість обробки. Для закріплення заготовки застосовується спеціальний диск приводу з автоматичним розкриттям кулачків, який дозволяє проводити точну установку виробів уздовж осі.

020 Термообробка. НВ 217...269. Проводиться нормалізація заготовки, для зняття внутрішніх напружень, і поліпшення структури металу.

025 Токарна з ЧПК. операція виконується на верстаті в два установи. Деталь встановлюється в призмах. Спочатку обробляється один центровий отвір, після чого відбувається перевстановлення та обробка другого центрального отвору. Дана операція застосовується для усунення можливого викривлення і інших дефектів центрових отворів після термічної обробки.

030 Токарна з ЧПК. На даних операціях виконується чистове точіння діаметрів вала з перевстановленням вала, проточка канавок і зняття фасок. Точіння виробляємо контурним різцем по ДСТУ 20872-80 з механічним кріпленням твердосплавних пластин Т15К6 (6% кобальту, 15% карбиду титану, 79% карбиду вольфраму). Канавки прорізаємо спеціально заточеним відрізним різцем Т15К6 ДСТУ 18884-73. Для контролю діаметрів застосовуємо калібр-скобу, а для канавок - шаблон спеціальний.

035 Круглошліфувальна. Шліфувальні операції дуже відповідальні, тому що вони забезпечують остаточний розмір і необхідну шорсткість поверхні. Необхідно дотримуватися точних режимів різання щоб уникнути появи дефектів деталі (наприклад, пропали) і поломки інструменту. Для шліфування застосовуємо коло ПП 250 × 60 × 40 22А 40П СМ1-7К6 ДСТУ 16167-80; 22А - електрокорунд білий; 40 - зернистість; СМ1 - твердість; 7 - структура; К6 - керамічна зв'язка. Заготівлю встановлюємо в диск приводу ДСТУ 2571-71 і підтискаємо обертовими центрами ДСТУ 13214-79.

040 Зубофрезерна. Проводиться нарізування зубів, число зубів $z = 20$, модуль $m = 8$ за ступенем точності 5-В. На даній операції здійснюється нарізування зубів. Установка заготовки здійснюється в центрі із застосуванням диску приводу. Дана операція здійснюється на

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зубофрезерному Верстаті 53A20. Для даної операції використовується черв'ячна модульна фреза. Марка матеріалу фрези - твердий сплав T15K6. Даний інструмент працює за методом обкатки, який є більш продуктивним, ніж метод копіювання.

045 Термічна. Проводиться цементація зубів на глибину 0,8-1,2 до твердості 40-50 HRC. Для підвищення міцності і збільшення опору зубів втоми.

055 Горизонтально-розточна. Горизонтально-розточний верстат 2637Г. Деталь кріпиться на столі на призмах з вивірянням по розмітці, фрезерувати паз в = 28P9 і 32P9 остаточно, витримуючи глибину (з урахуванням припуску по діаметру). Ріжучий інструмент фреза кінцева з 3-ма пластинами

060 Круглошліфувальна. Виконується остаточна обробка. Для шліфування застосовуємо коло ПП 250 × 60 × 40 22А 40П СМ1-7К6 ДСТУ 16167-80; 22А - електрокорунд білий; 40 - зернистість; СМ1 - твердість; 7 - структура; К6 - керамічна зв'язка.

065 Зубо-шліфувальна. Дана операція виконується на Зубошліфувальному верстаті 5А841. Установка деталі здійснюється в центру із застосуванням диску приводу. Обробка проводиться шліфувальним кругом з двостороннім конічним профілем. Операція здійснюється за один установ. Дана операція необхідна для отримання низького значення шорсткості поверхні.

070 Маркування. Засіб обліку та ідентифікації

075 Контрольна. Дана операція необхідна для контролю отриманих розмірів.

080 Консервація.

Спроектований технологічний процес має наступні переваги:

1. Менший штучний час на обробку деталі, що зменшує трудомісткість виробництва.
2. Підвищення продуктивності праці.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Зменшення матеріальних витрат на виробництво.

При проектуванні технологічного процесу були використані сучасні верстати і верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Були використані більш технологічні конструкції ріжучого інструменту, що дозволило застосувати більш прогресивні режими різання, більш вдосконалені установчі та контрольні пристосування. За рахунок всього вище перерахованого ми зменшуємо трудомісткість виробництва заданої деталі.

2.8 Розрахунок і проектування спеціального пристосування

У даному проекті в якості спеціального пристосування застосовується трьохкулачковий самозатискний повідковий патрон.

Конструкція патрона показана на рис. 2.2.

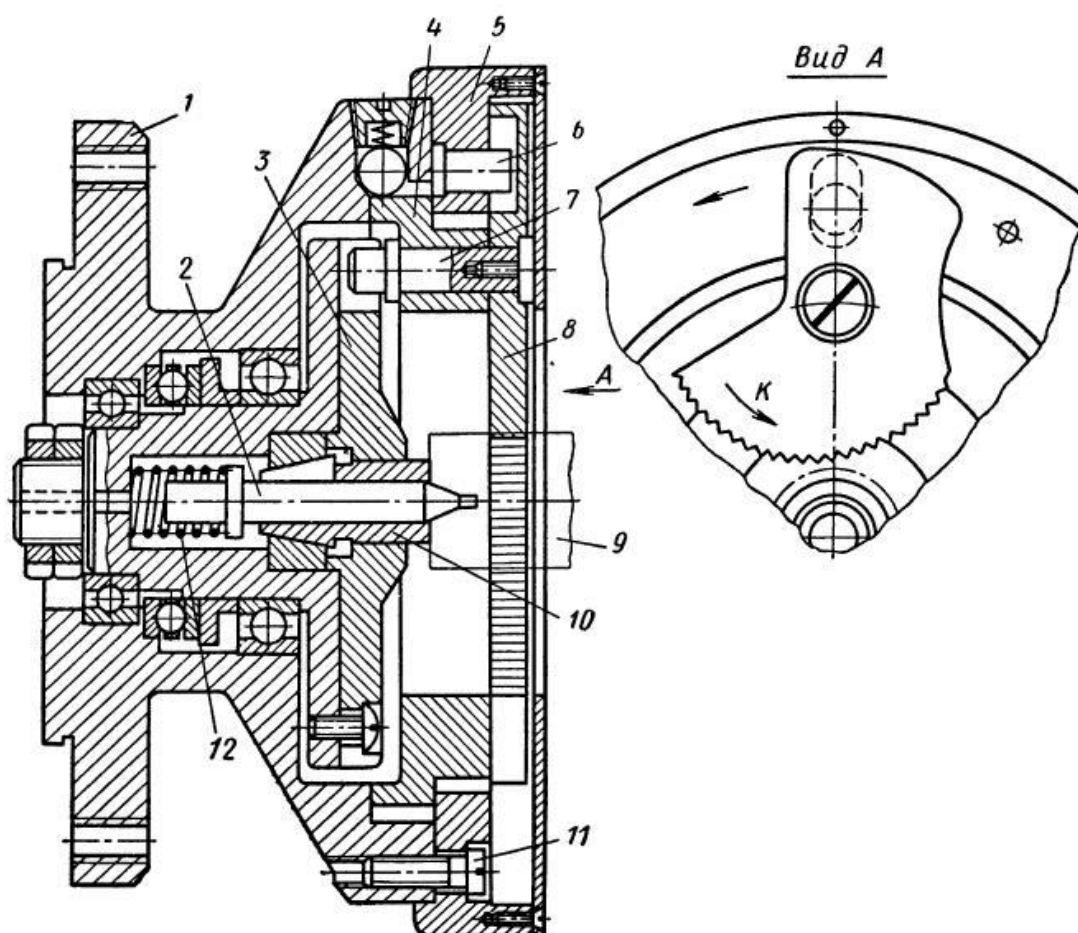


Рисунок 2.2 - Трьохкулачковий самозатискний повідковий патрон.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії патрона:

Трьохкулачковий патрон застосовується для чорнового обточування валів діаметром 150...500 мм за допомогою п'яти комплектів змінних кулачків.

Оброблювана деталь 9, установлена на центри, за допомогою пінолі задньої бабки переміщає передній центр 2, долаючи опір пружини 12. В кінці цього переміщення цанга 10 надійно затискає центр. При пуску верстата кільце 5, прикріплене гвинтами 11 до корпусу 1, починає обертатися разом з корпусом патрона й шпинделя верстата, повертає пальцями 6 кулачки 8 біля осей 7 до контакту їх криволінійних робочих рифлених поверхонь із оброблюваним валом. Потім під дією вертикальної складової сили різання, що виникає при початку роботи різця, кулачки надійно затискають вал силою, що збільшується зі зростанням сили різання. Однобічний віджим внаслідок того, що осі кулачків укріплені в плаваючому кільці 4, що забезпечує самоустановку кулачків на поверхні вала навіть у випадку «биття» цієї поверхні. При виключенні верстата по закінченні обробки патрон разом зі шпинделем верстата зупиняється, а оброблюваний вал під дією сил інерції якийсь час продовжує обертання разом із цангою, центром і диском 3. Останній повертає плаваюче кільце 4, діючи на осі 7 кулачків, внаслідок чого кулачки повертаються біля зупинених пальців 6 і звільняють оброблений вал. Розглянута конструкція в сполученні із пневматичною задньою бабкою дозволяє скоротити допоміжний час операції.

Розрахунок сил затиску

Сила затиску залежить від сил, прикладених ззовні, тобто від сил різання, їхнього напрямку й величини, оброблюваного матеріалу й матеріалу кулачків, коефіцієнта тертя f .

Для розрахунку сили затиску складається розрахункова схема, показана на рис. 2.3.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

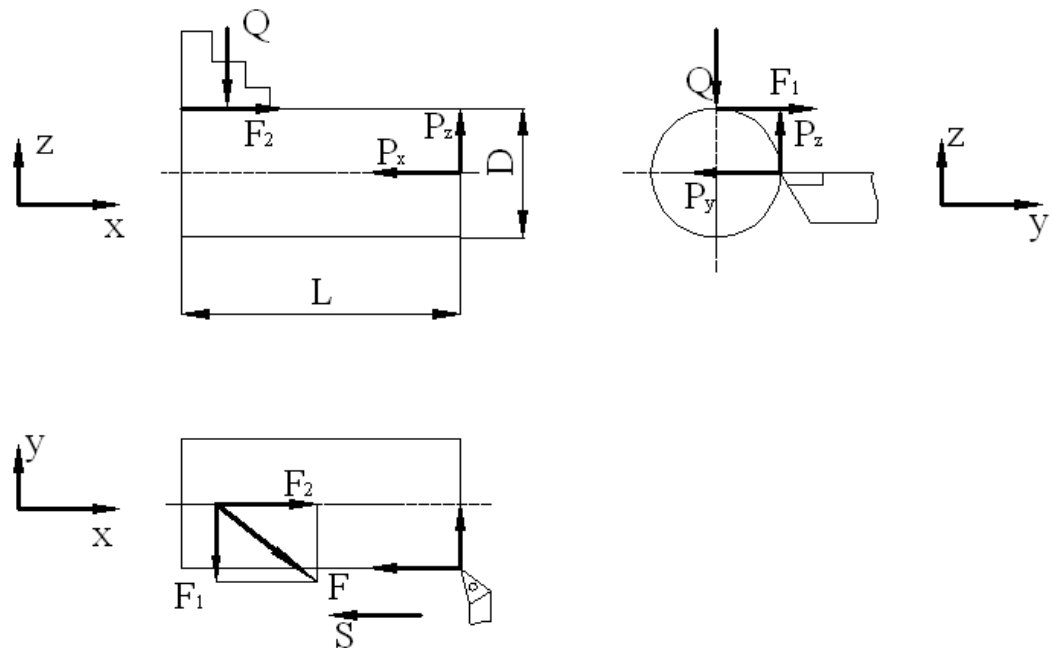


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема сили затиску

Сила затиску залежить від сили тертя, що врівноважує зовнішні сили, прикладені до деталі:

$$Q = \frac{F}{f} = \sqrt{\left(\frac{F_1}{f}\right)^2 + \left(\frac{F_2}{f}\right)^2},$$

де F – сила тертя;

f - коефіцієнт тертя, $f=0,15$.

Сили тертя F_1 й F_2 визначаємо з умови рівноваги заготовки, для чого скористаємося рівнянням статки:

$$\sum M_{ox} = 0;$$

$$-P_z \cdot \frac{D}{2} + F_1 \cdot \frac{D}{2} = 0$$

$$F_1 = P_z$$

$$\sum X = 0;$$

$$F_2 - P_x = 0$$

$$F_2 = P_x$$

Тоді сила затиску прийме вид:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = \sqrt{\left(\frac{P_z}{f}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{f}\right)^2}$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{810 \cdot 9}{0.15}\right)^2 + \left(\frac{351 \cdot 9}{0.15}\right)^2} = 5893 \cdot 1$$

З урахуванням передаточного відношення клинового механізму одержимо силу на виході із пневмоприводу:

$$W = \frac{Q}{k} = \frac{5893 \cdot 1}{1.85} = 3185 \cdot 5 \text{ Н}.$$

Осьове зусилля циліндра:

$$W = p \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \eta,$$

де p - робочий тиск у циліндрі, МПа, $p = 1 \text{ МПа}$;

D - діаметр циліндра, мм;

η - КПД привода.

На основі рівняння маємо:

$$D = \sqrt{\frac{4W}{\pi p \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3185 \cdot 5}{3.14 \cdot 1 \cdot 0.85}} = 69 \cdot 1 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D=70 \text{ мм}$.

Таким чином, для закріплення деталі в патроні при заданих режимах різання потрібно пневмоциліндр діаметром 70мм із робочим тиском 1 Мпа.

2.9 Розрахунок і проектування контрольного пристосування

Контрольне пристосування (ОКБ-1428М) призначено для контролю зазначених деталей у процесі обробки й подачі команд при досягненні заданих розмірів. Розмір деталі контролюють по шкалі лічильно-командного приладу мод. ОКБ-УВ628 із ціною розподілу 0,001 мм. автоматичні команди подаються на зміну режиму різання й на закінчення шліфування при досягненні розміру оброблюваної деталі.

Схема даного вимірювального приладу представлена на рисунку 2.4.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

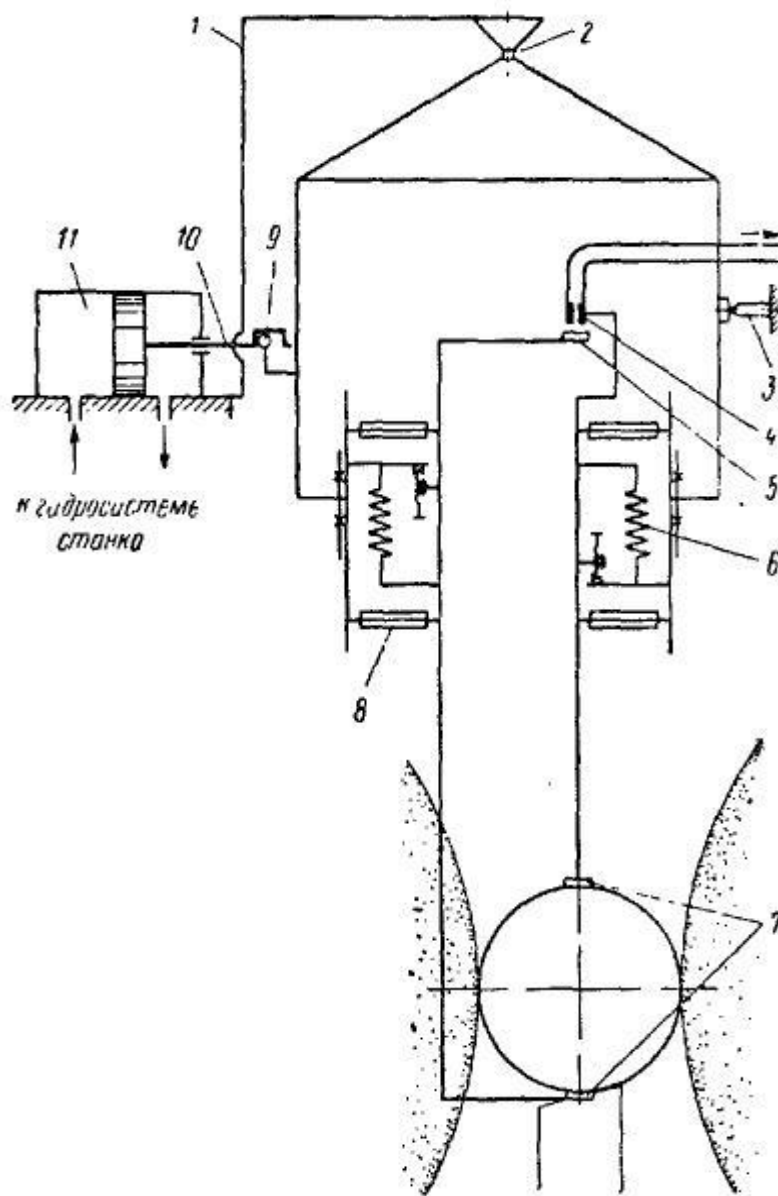


Рисунок 2.4 - Схема вимірювального приладу ОКБ-1428М

Кронштейн 1 вимірювальної головки приладу установлений на верхній площині бабки верстата так, що головка, підвішена на осі 2, розташовується у вирізі провідного кола. Через 15...20 с. після початку циклу обробки деталі від електросхеми верстата надходить команда на підведення головки, у ліву площину гідроциліндра 11 подається масло. Шток 10 переміщається вперед і через палець 9 подає головку на деталь до упору 3. Циліндричні твердосплавні наконечники 7 установлюються в діаметральній площині контрольованої деталі так, що точки їх дотику перебувають

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приблизно посередині довжини наконечників. Агрегаткування наконечників виробляється самою контрольованою деталлю при введенні скоби на деталь.

У процесі обробки наконечники стежать за зміною розміру деталі, переміщаючись на плоскопружинних паралелограмах 8 під дією циліндричних пружин 6. Зазор між п'ятою 5, пов'язаної з нижнім наконечником, із соплом 4, закріпленим на планці верхнього наконечника, зменшується. При досягненні певного зазору на верстат від приладу подаються команди переходу із чорнової подачі на чистову й на закінчення обробки. Після закінчення обробки в праву порожнину гідроциліндра 11 подається масло високого тиску. Шток гідроциліндра, переміщаючись назад, відводить прилад у неробоче положення.

Конструкція вимірювальної головки виконана з урахуванням необхідності її переналагодження в досить широкому діапазоні розмірів контрольованих деталей. У процесі роботи деталь може зміщатися на досить значну величину, відносно наконечників у різних точках, тому до паралельності наконечників у цьому випадку висувають високі вимоги, а перевірка й установка паралельності повинна бути зручною й швидкою.

При налагодженні відкріплюють гвинти 3, і верхній наконечник, закріплений на планці 4, може вільно повертатися щодо штифта 5, встановленого на рухомій штанзі 6. Між наконечниками встановлюють плоскопаралельну міру, до якої вони притискаються циліндричними пружинами 7, що створюють вимірювальне зусилля. Для переналагодження з одного контрольованого розміру на інший скоба 1 і штанга 6 переміщаються за допомогою зубчасто-рейкових передач 14 щодо корпуса 13, встановлюючи їх на заданий розмір по зразку деталі. Тонке регулювання зазору здійснюється переміщенням п'яти за допомогою мікроскопічного гвинта 9.

Для виключення удару між торцями сопла й п'ятою при виводі скоби в неробоче положення передбачений упорний гвинт 11. Плавне й безлюфтове переміщення скоби забезпечується установкою осі 12 у кулькових центрах з регульованим натягом. Підведення й відвід вимірювального пристрою

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється гідроциліндром, шток якого має вилку 16, що приводить у рух вимірювальний пристрій через палець 15.

Основним розрахунком пристосування є розрахунок на точність. Загальна похибка пристосування $\Delta_{\text{оби}}$ не повинна перевищувати допуску на вимірюваний розмір T_p .

$$\Delta_{\text{оби}} \leq T_p.$$

Загальна похибка виміру розраховується по формулі:

$$\Delta_{\text{оби}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

де Δ_1 - похибка установки центрів;

$$\Delta_1 = 0.5 \cdot T_1 = 0.5 \cdot 0.03 = 0.015 \text{ мм}$$

Δ_2 - половина ціни розподілу індикатора;

$$\Delta_2 = 0.5 \cdot 0.01 = 0.005 \text{ мм}$$

$$\text{Тоді } \Delta_{\text{оби}} = \sqrt{0.015^2 + 0.005^2} = 0.016 \text{ мм}$$

Допуск становить 0,02 мм.

Таким чином, умова $\Delta_{\text{оби}} \leq T_p$ ($0.016 < 0.02$) виконується, отже, індикаторне пристосування відповідає пропонованим вимогам.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Вибір вхідних параметрів для проектування

Розрахуємо режими різання для максимального й мінімального значення діаметра обробки й глибини різання даного верстата.

При діаметрі обробки $D=600$ мм і глибині різання $t=6$ мм:

- Величину подачі S визначають залежно від глибини різання й діаметра заготовки:

$$S = 1 \text{ мм} / \text{об}$$

- Швидкість різання визначають по формулі:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} k_v,$$

де C_v , m , x_v , y_v - значення постійного коефіцієнта й показників степеня, які вибирають залежно від умов обробки;

T - період стійкості різця, хв;

k_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання,

враховуючі задані умови обробки:

$$k_v = k_{\mu v} k_{nv} k_{uv}$$

$$V = \frac{340}{600^{0,2} 6^{0,15} 1^{0,45}} 0,85 = 97,27 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

- Частоту обертання шпинделя визначають по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 97,27}{3,14 \cdot 600} = 51,6 \text{ об/хв.}$$

					КРБ 22-051.00.00.000						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Чайківський			КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лещук									
Консульт.									ТНТУ, зр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник									
Зав.каф.		Крупа									

Силу різання, що допускається міцністю різця розраховують по формулі:

$$P_z = 9,8 \cdot C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot v^{n_{Pz}} \cdot k_{Pz},$$

де C_{Pz} - коефіцієнт, що враховує умови обробки;

t - глибина різання, мм;

S - подача, мм/про;

V - швидкість різання м/хв;

x_{Pz} , y_{Pz} , n_{Pz} показники степеня, відповідно при глибині, подачі й швидкості різання;

k_{Pz} - загальний поправочний коефіцієнт.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 6^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 97,27^{-0,15} \cdot 1,24 = 1123 \text{ ?}.$$

- Ефективну потужність різання визначаємо по формулі:

$$? = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} = \frac{1123 \cdot 97,27}{60 \cdot 1020} = 17,7 \text{ кВт}$$

При діаметрі обробки $D=50$ мм і глибині різання $t=0,2$ мм:

- $S = 0,5 \text{ мм/об}$

$$V = \frac{660}{60^{0,2} \cdot 0,2^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = \frac{470 \text{ м}}{\text{з}}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 470}{3,14 \cdot 50} = 2992,5 \text{ об/хв.}$$

Відрізання при діаметрі $D=600$ мм:

- $S = 0,28 \text{ мм}$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$- V = \frac{370}{60^{0,2} \cdot 5^0 \cdot 0,28^{0,8}} 0,65 = 59,3 \text{ м/с.}$$

$$- n = \frac{1000 \cdot 59,3}{3,14 \cdot 600} = 31,5 \text{ об/хв.}$$

Вихідними даними для вибору електродвигуна привода головного руху будуть:

$$n_{\min} = 31,5 \text{ об/хв}$$

$$D = 95$$

$$n_{\max} = 2992,5 \text{ об/хв}$$

$$N_p = 15 \text{ кВт}$$

Розрахуємо необхідну потужність двигуна:

$$N_{\Sigma} = \frac{N_p}{\eta} + N_{х.х} = \frac{15}{0,8} + 1,1 = 19,85 \text{ кВт},$$

де N_p - потужність різання;

$N_{х.х}$ - потужність холостого ходу;

η - КПД електродвигуна.

Вибираємо асинхронний електродвигун серії 4А180S4У3: $N=22 \text{ кВт}$,
 $n_n=1500 \text{ хв}^{-1}$.

Знаменник геометричного ряду приймаємо 1,26, тому що при $\varphi=1,26$ на виході одержуємо прийнятне для токарних верстатів кількість швидкостей.

Визначимо число щаблів коробки:

$$z = 1 + \frac{\lg D}{\lg \varphi} = 1 + \frac{\lg 95}{\lg 1,26} = 20,77$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де D - діапазон регулювання частоти

Приймаємо найближче стандартне число $Z=24$.

Визначаємо кількість конструктивних варіантів.

$$K_{\text{кон}} = \frac{m!}{g!} = \frac{3!}{2!} = 3$$

де m – число груп у приводі;

g - число груп з однаковою кількістю передач у приводі.

Кількість кінематичних варіантів:

$$m! = 3! = 6$$

Структурні формули:

$$Z = 4 \times 3 \times 2$$

$$Z = 3 \times 4 \times 2$$

$$Z = 2 \times 3 \times 4$$

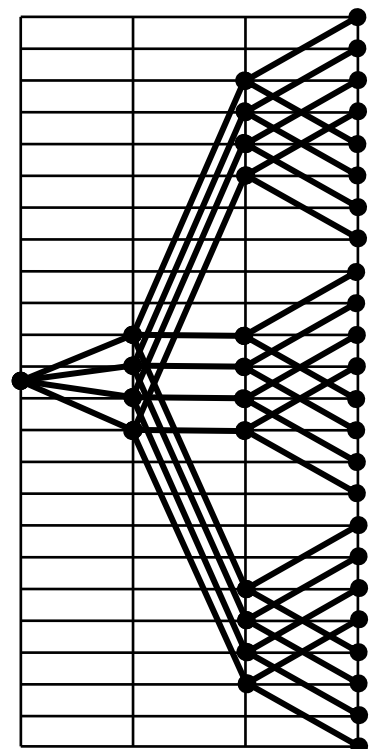
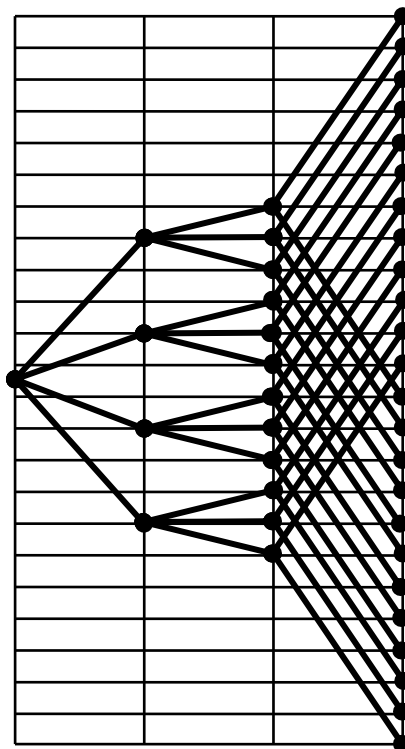
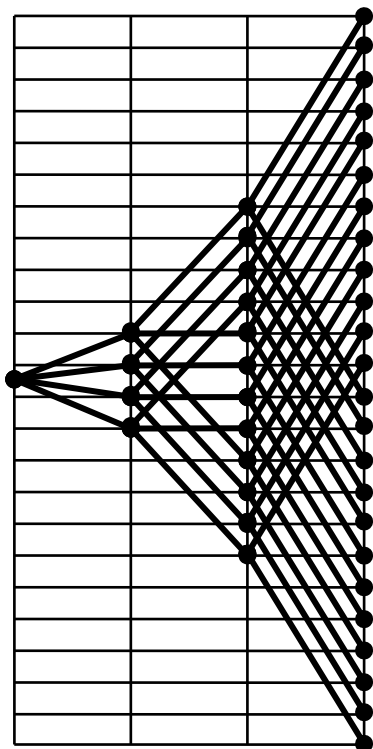
Кількість конструктивних варіантів – 3. По 6 кінематичних варіанта на кожен конструктивний варіант. Приведемо кінематичні варіанти для варіанта

$$Z = 4 \times 3 \times 2 :$$

$$Z = 4_1 \times 3_4 \times 2_{12}$$

$$Z = 4_3 \times 3_1 \times 2_{12}$$

$$Z = 4_1 \times 3_8 \times 2_4$$



$$Z = 4_2 \times 3_8 \times 2_1$$

$$Z = 4_6 \times 3_2 \times 2_1$$

$$Z = 4_6 \times 3_1 \times 2_3$$

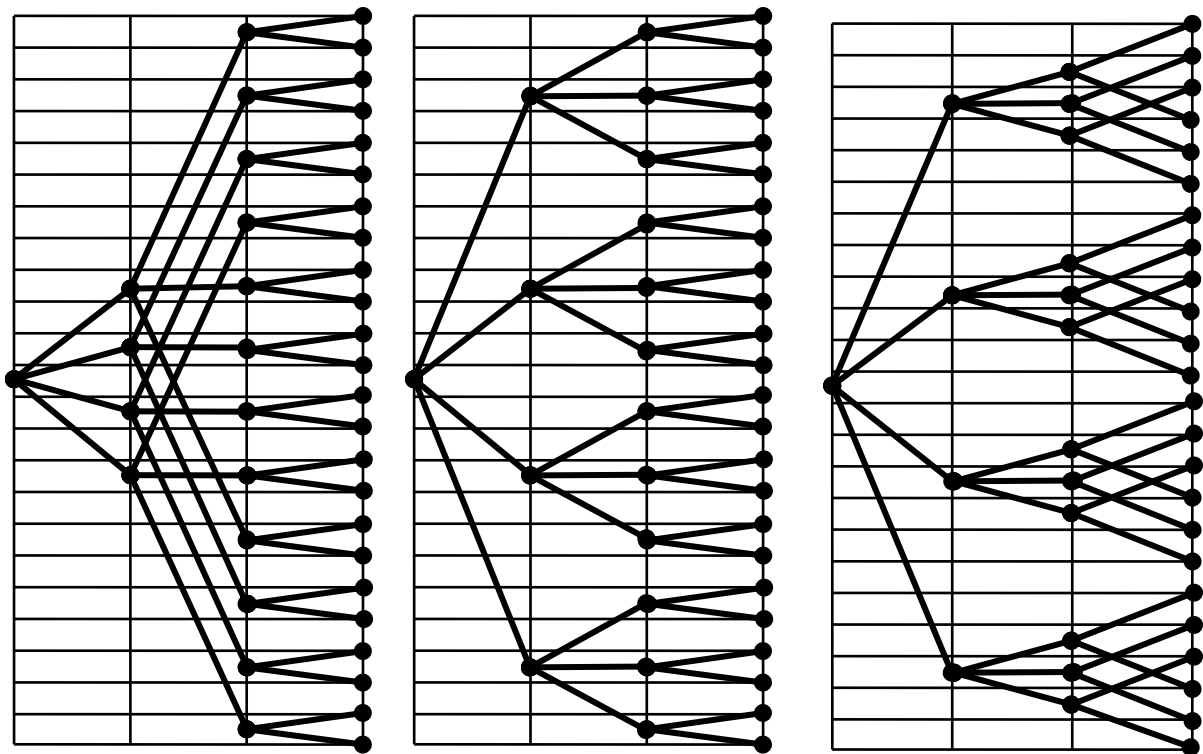


Рисунок 3.1 – Кінематичні варіанти привода

Проведемо аналіз структурних формул для вибору оптимального варіанта. При цьому виходимо з того, що маса зубчастих коліс, змонтованих на основному валу, буде найменшою при мінімальній різниці їхніх діаметрів. Цим вимогам задовольняє основна група, тому що в ній передатне відношення зубчастих передач незначно відрізняється друг від друга. Доцільно вибирати структуру, у якій група містить найбільшу кількість передач:

$$P_a > P_b > P_c > \dots > P_m.$$

Зі зменшенням швидкості обертання валів при постійній потужності крутні моменти збільшуються, отже, збільшуються розміри деталей передач привода. Структурні сітки, у яких промені в перших передачах розташовуються більш тісно, мають менші діапазони регулювання на проміжних валах, тому при тих самих максимальних обертах розрахункові мінімальні оберти будуть більше.

					КРБ 22-051.00.00.000		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Вибираємо той кінематичний варіант, при якому характеристики збільшуються уздовж кінематичного ланцюга до шпинделя. Вибираємо варіант:

$$Z = 4_1 \times 3_4 \times 2_9 .$$

Для побудови графіка частот обертання необхідно задатися правилом, що при $\phi=1,26$ передатне відношення повинне бути в межах $1/4(i(2.$

Визначаємо числа зубів коліс аналітичним способом.

Перше передатне відношення коробки передач:

$$i_1 = \frac{1}{\phi^0} = \frac{1}{1}; \quad i_2 = \frac{1}{\phi^1} = \frac{4}{5}; \quad i_3 = \frac{1}{\phi^2} = \frac{7}{11}; \quad i_4 = \frac{1}{\phi^3} = \frac{1}{2}.$$

$$a+b=1+1=2; \quad c+d=4+5=9; \quad e+f=7+11=18; \quad g+h=1+2=3.$$

$$\text{НОК} = 18 = S_z$$

$$z_1 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{18}{1+1} \cdot 1 = 9;$$

$$z_2 = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{18}{1+1} \cdot 1 = 9;$$

$$z_3 = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{18}{4+5} \cdot 4 = 8;$$

$$z_4 = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{18}{4+5} \cdot 5 = 10;$$

$$z_5 = \frac{S_z}{e+f} \cdot e = \frac{18}{7+11} \cdot 7 = 7;$$

$$z_6 = \frac{S_z}{e+f} \cdot f = \frac{18}{7+11} \cdot 11 = 11;$$

$$z_7 = \frac{S_z}{g+h} \cdot g = \frac{18}{1+2} \cdot 1 = 6;$$

$$z_8 = \frac{S_z}{g+h} \cdot h = \frac{18}{1+2} \cdot 2 = 12.$$

Мінімальне число зубів для прямозубого зубчастого колеса - 18. Оскільки мінімальне число зубів рівняється 6, то помножимо всі числа зубів на 3:

$$z_1=9 \cdot 3=27; \quad z_2=9 \cdot 3=27; \quad z_3=8 \cdot 3=24; \quad z_4=10 \cdot 3=30; \quad z_5=7 \cdot 3=21; \quad z_6=11 \cdot 3=33;$$

$$z_7=6 \cdot 3=18; \quad z_8=12 \cdot 3=36.$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

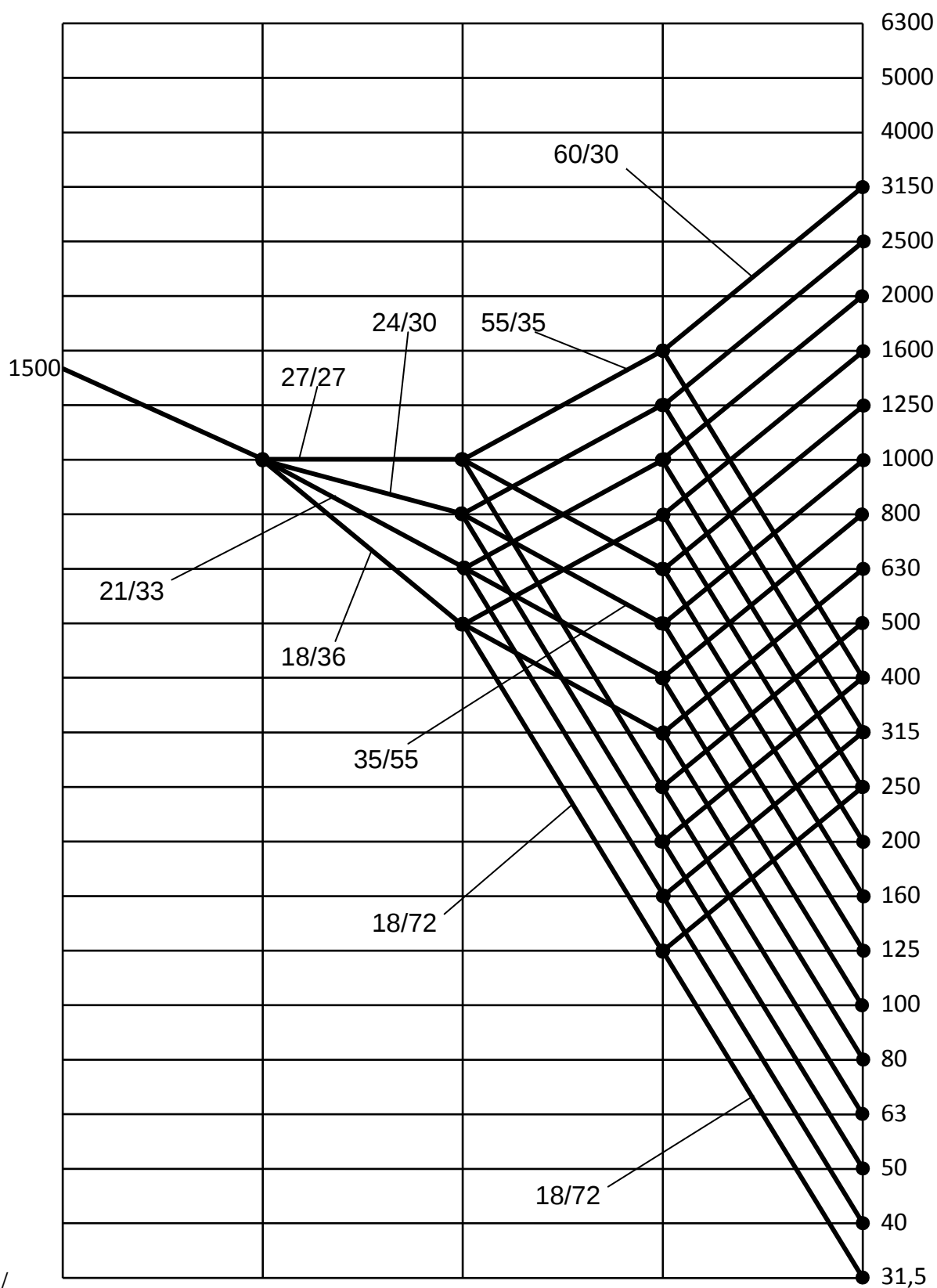


Рисунок 3.2. – Графік частот обертання

Друге передатне відношення коробки передач:

$$i_5 = \varphi^2 = \frac{11}{7}; i_6 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{7}{11}; i_7 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{4}$$

$$a+b=11+7=18; c+d=7+11=18; e+f=1+4=5.$$

$$HOK=90=S_z$$

$$z_9 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{90}{11+7} \cdot 11 = 55; \quad z_{10} = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{90}{11+7} \cdot 7 = 35;$$

$$z_{11} = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{90}{7+11} \cdot 7 = 35; \quad z_{12} = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{90}{7+11} \cdot 11 = 55$$

$$z_{13} = \frac{S_z}{e+f} \cdot e = \frac{90}{1+4} \cdot 1 = 18; \quad z_{14} = \frac{S_z}{e+f} \cdot f = \frac{90}{1+4} \cdot 4 = 72.$$

Третє передатне відношення коробки передач:

$$i_8 = \varphi^3 = \frac{2}{1}; i_9 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{4}$$

$$a+b=2+1=3; c+d=1+4=5.$$

$$HOK=15=S_z$$

$$z_{15} = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{15}{2+1} \cdot 2 = 10; \quad z_{16} = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{15}{2+1} \cdot 1 = 5;$$

$$z_{17} = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{15}{1+4} \cdot 1 = 3; \quad z_{18} = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{15}{1+4} \cdot 4 = 12.$$

Мінімальне число зубів для прямозубого зубчастого колеса - 18. Оскільки мінімальне число зубів рівняється 3, то помножимо всі числа зубів на 6:

$$z_{15}=10 \cdot 6=60; z_{16}=5 \cdot 6=30; z_{17}=3 \cdot 6=18; z_{18}=12 \cdot 6=72.$$

Визначаємо числа зубів коліс табличним способом. При цьому сума чисел зубів для кожної передачі між двома валами однакове й мінімальне число зубів колеса більше 18.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Розрахунок чисел зубів коліс

i	$i_1=1$	$i_2=1/\varphi$	$i_3=1/\varphi^2$	$i_4=1/\varphi^3$	$i_5=\varphi^2$	$i_6=1/\varphi^2$	$i_7=1/\varphi^6$	$i_8=\varphi^3$	$i_9=1/\varphi^6$
Z:Z	27:27	24:30	21:33	18:36	55:35	35:55	18:72	60:30	18:72
ΣZ	54				90			90	

/

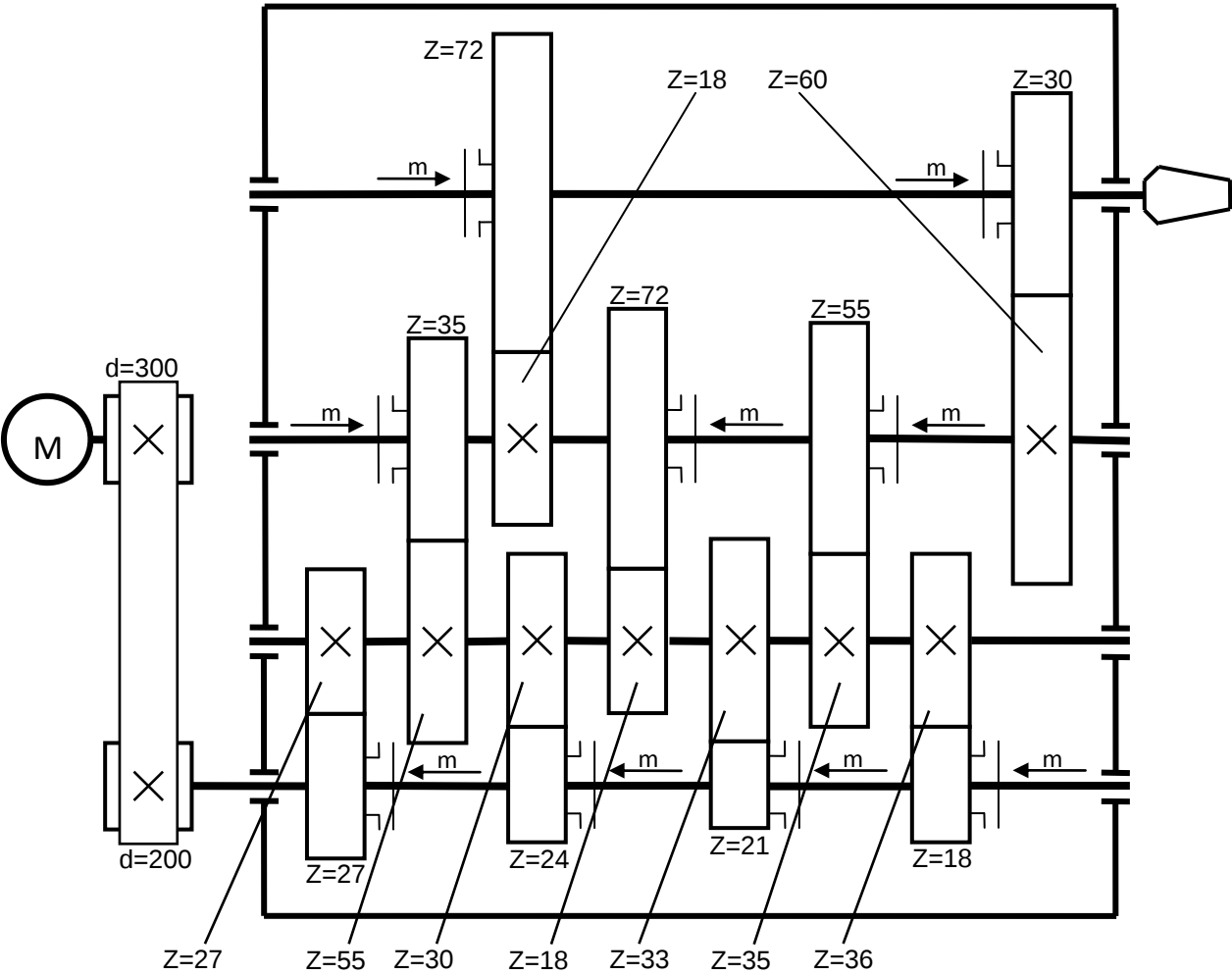


Рисунок 3.3.- Кінематична схема привода з використанням асинхронного двигуна

3.2. Кінематичний розрахунок головного привода.

Вибираємо електродвигун 2ПН200LYХЛ4.

Характеристика двигуна:

$$n_{\text{ном}}=1000 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\text{max}}=3000 \text{ хв}^{-1};$$

$$P_{\text{ном.}}=16 \text{ кВт.}$$

Розіб'ємо діапазон регулювання привода на регулювання з постійною потужністю й постійним моментом.

Діапазон регулювання при постійній потужності

$$D_p = 50$$

Діапазон регулювання при постійному моменті

$$D_T = \frac{D}{D_p} = \frac{95}{50} = 1,9$$

Визначимо знаменник коробки швидкостей.

$$D_{\text{эР}} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = \frac{3000}{1000} = 3$$

$$D_{\text{эР}} \geq \varphi_k = 1,26^m$$

$$m = 4 \quad \varphi_k = 1,26^4 = 2,52$$

Число швидкостей коробки

$$z = \frac{\lg D_p}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg 50}{\lg 3} = 3,56$$

Приймаємо $Z=4$.

Уточнюємо φ_k

$$\varphi_k = \sqrt[z]{D_p} = \sqrt[4]{50} = 2,66$$

Фактичний діапазон регулювання привода

$$D_p = 2,66^4 = 50,06$$

$$D_T = \frac{95}{50,06} = 1,89$$

Діапазон частот обертання двигуна

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\max_{зз.}} = 1000 \cdot 2,66 = 2660 \text{ об / мин}$$

$$n_{\min_{зз.}} = \frac{1000}{1,89} = 529 \text{ об / мин}$$

Розрахунок чисел зубів:

Перше передатне відношення.

$$i_1 = \frac{1}{\varphi_0} = \frac{1}{1}; i_2 = \frac{1}{\varphi_6} = \frac{1}{4}.$$

$$a+b=1+1=2; \quad c+d=1+4=5.$$

$$\text{НОК} = 10 = S_z$$

$$z_1 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{10}{1+1} \cdot 1 = 5; \quad z_2 = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{10}{1+1} \cdot 1 = 5;$$

$$z_3 = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{10}{1+4} \cdot 1 = 2; \quad z_4 = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{10}{1+4} \cdot 4 = 8;$$

Мінімальне число зубів для прямозубого зубчастого колеса - 18. Т.к. мінімальне число зубів рівняється 2, то помножимо всі числа зубів на 9:
 $z_1=5 \cdot 9=45; z_2=5 \cdot 9=45; z_3=2 \cdot 9=18; z_4=8 \cdot 9=72.$

Друге передатне відношення.

$$i_3 = \varphi^1 = \frac{5}{4}; i_4 = \frac{1}{\varphi_6} = \frac{1}{4}.$$

$$a+b=5+4=9; \quad c+d=1+4=5.$$

$$\text{НОК} = 45 = S_z$$

$$z_5 = \frac{S_z}{a+b} \cdot a = \frac{45}{5+4} \cdot 5 = 25; \quad z_6 = \frac{S_z}{a+b} \cdot b = \frac{45}{5+4} \cdot 4 = 20;$$

$$z_7 = \frac{S_z}{c+d} \cdot c = \frac{45}{1+4} \cdot 1 = 9; \quad z_8 = \frac{S_z}{c+d} \cdot d = \frac{45}{1+4} \cdot 4 = 36;$$

Мінімальне число зубів для прямозубого зубчастого колеса - 18. Т.к. мінімальне число зубів рівняється 9, то помножимо всі числа зубів на 2:
 $z_5=25 \cdot 2=50; z_6=20 \cdot 2=40; z_7=9 \cdot 2=18; z_8=36 \cdot 2=72.$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги безступінчастого регулювання:

- компактність привода;
- гарні експлуатаційні властивості;
- малі габарити;
- можливість дистанційного автоматичного керування.

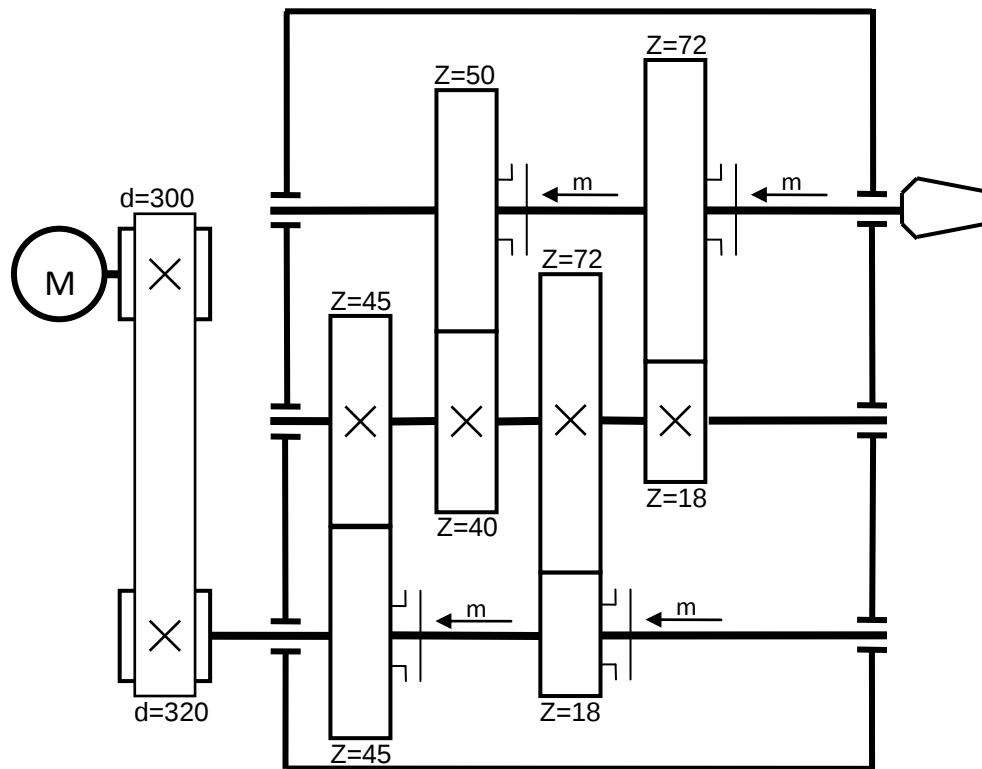


Рисунок 3.4. – Кінематична схема привода з використанням двигуна постійного струму

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Розрахунок приводу

Проектувальний розрахунок зубчастих коліс

Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 1-2

Вихідні дані вибираємо з результатів кінематичного розрахунку.

$$P_1 = 8,73 \text{ кВт};$$

$$P_2 = 8,4 \text{ кВт};$$

$$n_1 = 1300 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = 1900 \text{ хв}^{-1};$$

$$U_{1-2} = 1,25.$$

Проектувальний розрахунок

Призначення матеріалів і розрахунок допустимих напружень. Приймається для виготовлення шестерні й колеса Сталь 45 з термообробкою-поліпшення. Обґрунтування. Зуби нарізають після ТО заготовки, при цьому досягається достатня точність виготовлення зубчастих коліс без використання дорогих фінішних операцій. Колеса добре підпрацьовуються.

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_1 = 269..302 \text{ НВ};$

$$\sigma_{B1} = 890 \text{ МПа}; \sigma_{T1} = 650 \text{ МПа.}$$

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_2 = 235..262 \text{ НВ};$

$$\sigma_{B2} = 780 \text{ Мпа}; \sigma_{T2} = 540 \text{ МПа.}$$

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} K_{HL} * Z_R * Z_V * K_L * K_{HN};$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ МПа.}$$

$$S_H = 1,1;$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO1}}{N_{HE1}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{599418840}} = 0,58 < 1, \text{приймається } K_{HL} = 1.$$

$$N_{HO1} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 285^{2,4} = 23374855;$$

$$\begin{aligned} N_{HE1} &= 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = \\ &= 60 * 1144 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(\frac{0,7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(\frac{0,5P}{P} \right)^3 * 3000 \\ &= 599418840. \end{aligned}$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{640}{1,1} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 582 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа.}$$

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO2}}{N_{HE2}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{374636775}} = 0,59, \text{приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO2} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 250^{2,4} = 17067789;$$

$$N_{HE2} = \frac{N_{HE1}}{U_{1-2}} = \frac{599418840}{1,6} = 374636775;$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_{H2} = \frac{570}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2}$ - $[\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$$\psi_{ba} = 1;$$

$$K_{H\alpha} = 1;$$

$$K_{H\beta} = 1,055 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \psi_{ba} \frac{U_{1-2}+1}{2} = 0,315 \frac{1,6+1}{2} = 0,4),$$

$$K_{HV} = 1,2.$$

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{ap}(U_{1-2} + 1) * \sqrt[3]{\frac{P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV}}{n_1 * \psi_{ba} * U_{1-2} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 9,75 * 10^3(1,6 + 1) * \sqrt[3]{\frac{4,06 * 1 * 1,055 * 1,2}{1144 * 0,315 * 1,6 * 518^2}} = 81 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=100 \text{ мм.}$

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5) \text{ мм}$$

Приймається $m = 2$;

$$(z_1 + z_2) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

Призначення чисел зубців:

$$z_1 = \frac{z_1 + z_2}{U_{1-2} + 1} = \frac{100}{1,6 + 1} = 38$$

$$z_2 = (z_1 + z_2) - z_1 = 100 - 38 = 62$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{1-2\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{62}{38} = 1,6$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{1-2} - U_{1-2\phi}}{U_{1-2}} \right| * 100\% = \left| \frac{1,6 - 1,6}{1,6} \right| * 100\% = 0\% < [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b = b_2 = \psi_{ba} * a = 0,315 * 100 = 31,5 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_2 = 32 \text{ мм}$,

$$d_1 = m * z_1 = 2 * 38 = 76 \text{ мм}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 76 + 2 * 2 = 80 \text{ мм}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 76 - 2,5 * 2 = 71 \text{ мм}$$

$$d_2 = m * z_2 = 2 * 62 = 124 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 124 + 2 * 2 = 128 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 124 - 2,5 * 2 = 119 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = a; \frac{76}{2} + \frac{124}{2} = 100$$

Призначення ступення точності:

$$V = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60000} = \frac{3,14 * 76 * 1144}{60000} = 4,55 \text{ м/с}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТ 1643-81.

Перевірний розрахунок для передачі 1-2

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_1} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{1-2} + 1)}{n_1 * b_2 * U_{1-2}}}$$

де $z_M = 275 \text{ МПа}$;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,73}{3}} = 0,86;$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{35} + \frac{1}{55} \right) = 1,73;$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_H = 1,76;$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$$K_{H\beta} = 1,055 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \frac{32}{76} = 0,4; \text{ поблизу одної з опор колеса припрацьовуються);}$$

$$K_{HV} = 1,18 \text{ (див. табл. 36 при } V = 4,55 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\text{ступінь точності по нормі плавності} - 8; H_2 \leq 350 \text{ HB}).$$

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,86 * \frac{1}{76} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 4,06 * 1 * 1,055 * 1,18 * (1,6 + 1)}{1144 * 32 * 1,6}} = 359 \text{ МПа}$$

359 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F;$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim b}}{S_H} * K_F * K_{FL}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{F \lim b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа;}$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (нереверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);}$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{382756923}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE1} = 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 1144 * (1 * 5000 + 0,7^6 * 4500 + 0,5^6 * 3000) = 382756923;$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{513}{2,2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для колеса:

$$F_{limb} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа};$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (неревверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);}$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1;$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE2} = \frac{N_{FE1}}{U_{1-2}} = \frac{382756923}{1,6} = 239223076;$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{450}{2,2} * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F1} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_1 = 38 \text{ і } x = 0);$$

$$Y_{F2} = 3,62 \text{ (табл. 22 при } z_2 = 62 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F1}}{Y_{F1}} = \frac{233}{3,7} = 63;$$

$$\frac{[\sigma]_{F2}}{Y_{F2}} = \frac{205}{3,62} = 57.$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

$$\sigma_{F2} = Y_{F2} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_2 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_2 * d_2 * b_2 * m}$$

$$\text{де } K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$$K_{H\beta} = 1,1 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \frac{32}{76} = 0,4; \text{ поблизу однієї з опор, колеса припрацьовуються);}$$

$$K_{HV} = 1,14 \text{ (див. табл. 36 при } V = 4,55 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_{F2} = 3,62 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,94 * 1 * 1,1 * 1,14}{715 * 124 * 32 * 2} = 61,2 \text{ МПа.}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

61,2 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max};$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 359 * \sqrt{2,03} = 511 \text{ МПа},$$

$$\text{де } K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4,32} = 2,03;$$

$$[\sigma]_{H \max} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа}.$$

511 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max};$$

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 61,2 * 2,03 = 124,4 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{F \max} = 2,75 H_{\text{HB}} = 2,75 * 250 = 688 \text{ Мпа}.$$

124,4 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 3-4

Вихідні дані вибираємо з результатів кінематичного розрахунку.

$$P_3 = 3,9 \text{ кВт};$$

$$P_4 = 3,78 \text{ кВт};$$

$$n_3 = 715 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_4 = 201,4 \text{ хв}^{-1};$$

$$U_{3-4} = 3,55.$$

Проектувальний розрахунок

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_3 = 269..302 \text{ HB};$

$$\sigma_{\text{ВЗ}} = 890 \text{ МПа}; \sigma_{\text{ТЗ}} = 650 \text{ МПа}.$$

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_4 = 235..262 \text{ HB};$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{B4} = 780 \text{ МПа}; \sigma_{T4} = 540 \text{ МПа.}$$

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} K_{HL} * Z_R * Z_V * K_L * K_{XH}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ МПа};$$

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO3}}{N_{HE3}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{296803650}} = 0,65 < 1, \text{приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO3} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 285^{2,4} = 23374855;$$

$$\begin{aligned} N_{HE3} &= 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = \\ &= 60 * 715 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(\frac{0,7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(\frac{0,5P}{P} \right)^3 * 3000 \\ &= 296803650 \end{aligned}$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H3} = \frac{640}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 582 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа.}$$

$$S_H = 1,1;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO4}}{N_{HE4}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{836606661}} = 0,52, \text{приймається } K_{HL} = 1$$

$$N_{HO4} = 30 * H_{HB}^{2,4} = 30 * 250^{2,4} = 17067789$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{HE4} = \frac{H_{HE3}}{U_{3-4}} = \frac{296803650}{3,55} = 836606661$$

$Z_R = 1$ (приймається $Ra = 1,25 \dots 0,63$);

$Z_V = 1$ (очікується $V < 5$ м/с);

$K_L = 1$ (закрита передача, що добре змащується);

$K_{XH} = 1$ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).

$$[\sigma]_{H4} = \frac{570}{1,1} * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2}$ - $[\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$\psi_{ba} = 0,2$ (приймається з рекомендацій, див. табл. 18);

$K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,1$ (див. табл. 35 при $\frac{b_4}{d_3} = \psi_{ba} \frac{U_{3-4}-1}{2} = 0,2 \frac{3,55-1}{2} = 0,255$);

$K_{HV} = 1,2$ (для проектувального розрахунку).

Розрахунок міжосьової відстані:

$$a \geq K_{ap}(U_{3-4} - 1) * \sqrt[3]{\frac{P_3 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV}}{n_3 * \psi_{ba} * U_{3-4} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 9,75 * 10^3(3,55 - 1) * \sqrt[3]{\frac{3,9 * 1 * 1,1 * 1,2}{715 * 0,2 * 3,55 * 518^2}} = 83,4 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=100$ мм;.

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5) \text{ мм}$$

Приймається $m = 2$;

$$(z_4 - z_3) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 100}{2} = 100$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення чисел зубців:

$$z_3 = \frac{z_4 - z_3}{U_{3-4} - 1} = \frac{100}{3,55 - 1} = 39$$

$$z_4 = (z_4 - z_3) + z_3 = 100 + 39 = 139$$

$$U_{3-4\phi} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{139}{39} = 3,56$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{3-4} - U_{3-4\phi}}{U_{3-4}} \right| * 100\% = \left| \frac{3,55 - 3,56}{3,55} \right| * 100\% = 0,2\% < [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b_3 = b_4 = \psi_{ba} * a = 0,2 * 100 = 20 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_4 = 20 \text{ мм}$

$$d_3 = m * z_3 = 2 * 39 = 78 \text{ мм}$$

$$d_{a3} = d_3 + 2m = 78 + 2 * 2 = 82 \text{ мм}$$

$$d_{f3} = d_3 - 2,5m = 78 - 2,5 * 2 = 73 \text{ мм}$$

$$d_4 = m * z_4 = 2 * 139 = 278 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2m = 278 + 2 * 2 = 282 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2,5m = 278 - 2,5 * 2 = 273 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} = a; \frac{278}{2} - \frac{78}{2} = 100$$

Призначення ступення точності:

$$V = \frac{\pi * d_3 * n_3}{60000} = \frac{3,14 * 78 * 715}{60000} = 2,91 \text{ м/с}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТ 1643-81.

Перевірний розрахунок для передачі 3-4

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_H = z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_3} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_3 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{3-4} - 1)}{n_3 * b_4 * U_{3-4}}}$$

де $z_M = 275$ МПа;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4-\varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4-1,94}{3}} = 0,82$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_4} - \frac{1}{z_3} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{125} - \frac{1}{35} \right) = 1,94$$

$$z_H = 1,76$$

$K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$$K_{H\beta} = 1,06 \text{ (див. табл. 35 при } \frac{b_4}{d_3} = \frac{20}{78} = 0,25; \text{ на консолі колеса}$$

припрацьовуються);

$$K_{HV} = 1,12 \text{ (див. табл. 36 при } V = 2,91 \frac{м}{с};$$

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,82 * \frac{1}{78} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,9 * 1 * 1,06 * 1,2 * (3,56 - 1)}{715 * 20 * 3,56}} = 339 \text{ МПа}$$

339 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim b}}{S_H} * K_F * K_{FL}$$

Для шестерні:

$$\sigma_{F \lim b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа,}$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (неревверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE3}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE3} = 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 715 * (1 * 5000 + 0,7^6 * 4500 + 0,5^6 * 3000) = 239223076$$

$$[\sigma]_{F3} = \frac{513}{2,2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$F_{limb} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа,}$$

$$K_{FC} = 1 \text{ (нереверсивна передача);}$$

$$S_H = 2,2 \text{ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);}$$

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE4}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{6738678}} = 0,6 < 1, \text{приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE4} = \frac{N_{FE3}}{U_{3-4}} = \frac{239223076}{3,55} = 67386781,$$

$$[\sigma]_{F4} = \frac{450}{2,2} * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F3} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_3 = 39 \text{ і } x = 0);$$

$$Y_{F4} = 3,6 \text{ (табл. 22 при } z_4 = 139 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F3}}{Y_{F3}} = \frac{233}{3,7} = 63$$

$$\frac{[\sigma]_{F4}}{Y_{F4}} = \frac{205}{3,62} = 57$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{F4} = Y_{F4} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_4 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_4 * d_4 * b_4 * m}$$

де $K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,18$ (див. табл. 35 при $\frac{b_4}{d_3} = \frac{20}{78} = 0,25$); на косолі, колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,28$ (див. табл. 36 при $V = 2,91 \frac{м}{с}$;

ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_{F4} = 3,6 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,78 * 1 * 1,18 * 1,28}{201,4 * 278 * 20 * 2} = 175 \text{ МПа.}$$

175 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max}$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 339 * \sqrt{2,037} = 483 \text{ МПа}$$

$$\text{де } K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4,32} = 2,037$$

$$[\sigma]_{H \max} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа.}$$

483 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max}$$

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 175 * 2,037 = 355 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F \max} = 2,75 H_{HB} = 2,75 * 250 = 688 \text{ МПа}$$

355 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

Проектувальний розрахунок валів

Визначаємо діаметри валів

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = 110 \sqrt[4]{\frac{N_{дв}}{n_{вала}}}$$

$$d_1 = 110 \sqrt[4]{\frac{7,5}{1350}} = 30,03 = 30 \text{ мм}$$

$$d_2 = 110 \sqrt[4]{\frac{7,5}{370}} = 41,5 = 45 \text{ мм}$$

Перевірочні розрахунки на витривалість

Розрахунок навантажень:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2000 * T_{z1}}{d_1} = \frac{2000 * 53,05}{100} = 1061 \text{ Н}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} * \tan \alpha = 1061 * \tan 20^\circ = 385,8 \text{ Н}$$

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{2000 * T_{z3}}{d_3} = \frac{2000 * 53,05}{45} = 2357,7 \text{ Н}$$

$$F_{r3} = F_{r4} = F_{t3} * \tan \alpha = 2357,7 * \tan 20^\circ = 858,13 \text{ Н}$$

Q=1155,7 – розрахунок пасової передачі;

Розрахунок вхідного валу

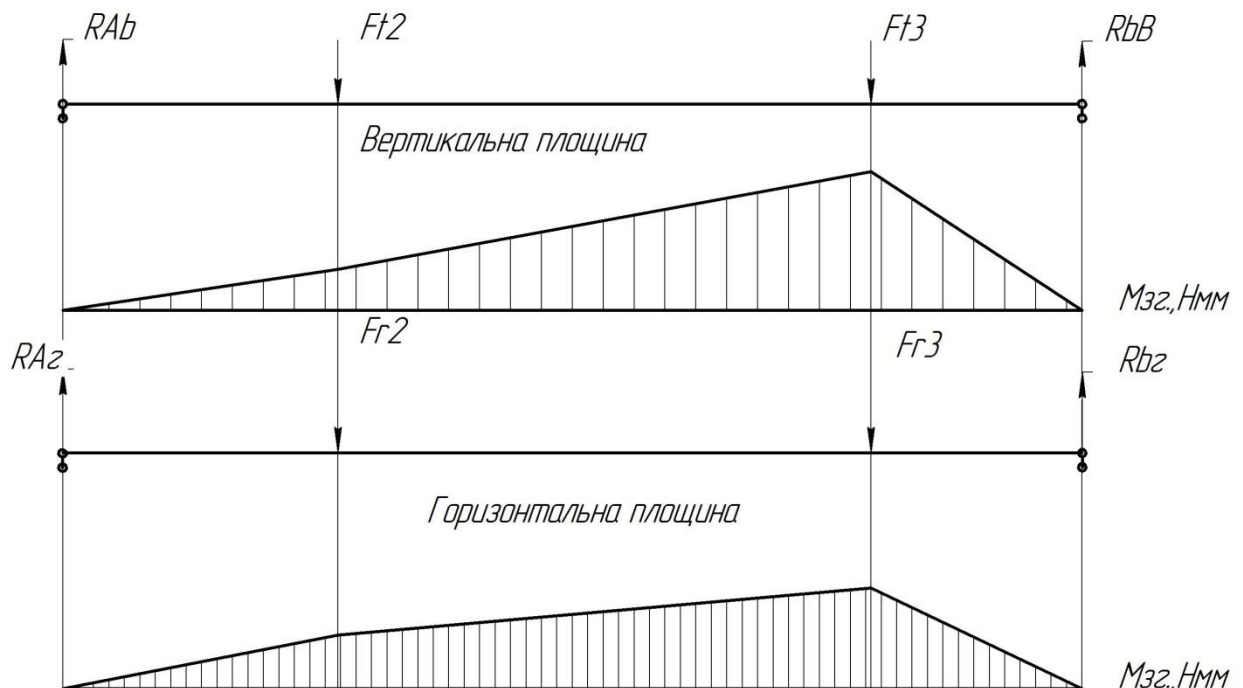


Рисунок 3.5 – Схема навантаження і епюр вхідного валу

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальна площина:

$$a = 22,9 \text{ мм};$$

$$b = 51,6 \text{ мм};$$

$$c = 24,7 \text{ мм}.$$

$$\sum M_a = 0; -F_{t1} * a - F_{t3} * (a + b) + R_B^B * (b + c + a) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t1} * a + F_{t3} * (a + b)}{b + c + a} = \frac{1061 * 22.9 + 2357.7 * 74.5}{99.2} = 2015.6 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (b + c + a) + F_{t3} * c + F_{t2} * (b + c) = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t3} * c + F_{t2} * (b + c)}{b + c + a} = \frac{2357.7 * 24.7 + 1061 * 76.3}{99.2} = 1403.1 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t1} + R_B^B - F_{t3} = 0$$

Згинанні моменти у вертикальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ Н * мм};$$

$$M_2 = R_A^B * a = 1403.1 * 22.9 = 32130.9 \text{ Н * мм};$$

$$M_3 = R_B^B * c = 2015.6 * 24.7 = 49785.3 \text{ Н * мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н * мм}.$$

Горизонтальна площина:

$$\sum M_a = 0; -F_{r2} * a - F_{r3} * (a + b) + R_B^r * (b + c + a) = 0$$

$$R_B^r = \frac{F_{r2} * a + F_{r3} * (a + b)}{b + c + a} = \frac{385.8 * 22.9 + 858.1 * 74.5}{99.2} = 733.5 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; F_{r3} * c + F_{r2} * (c + b) - R_A^r * (b + c + a) = 0$$

$$R_A^r = \frac{F_{r3} * c + F_{r2} * (c + b)}{b + c + a} = \frac{858.1 * 24.7 + 385.8 * 76.3}{99.2} = 510.4 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; -F_{r2} + R_A^r - F_{r1} + R_B^r = 0$$

Згинанні моменти у горизонтальній площині:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_1 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^\Gamma * a = 510.4 * 22.9 = 11688.16 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^\Gamma * c = 733.5 * 24.7 = 18117.45 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Сумарні згинальні моменти

$$M_{зг1} = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг2} = \sqrt{32130,9^2 * 11688,16^2} = 34190,7 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг3} = \sqrt{49785,3^2 + 18117,5^2} = 52979,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг4} = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Небезпечний переріз валу є переріз у точці 3.

$$d = d_{n1} = 30 \text{ мм};$$

$$M_{зг} = 52979,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$T = 38700 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_\sigma * \sigma_m} = \frac{320}{3,2 * 19,6} = 5,1$$

Матеріал валу: 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа};$$

$$\psi_\sigma = 0,25 - \text{легована сталь};$$

$$\sigma_a = \sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_0} = \frac{52979,4}{2700} = 19,6 \text{ МПа};$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 30^3 = 2700 \text{ мм}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ тому що, } F_a = 0;$$

$$K_{\sigma D} = \frac{\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + K_F - 1}{K_V} = \frac{1,8}{0,77} + 1,1 - 1)/1 = 2,4;$$

$$K_\sigma = 2,4;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{d\sigma} = 0,77$ – для діаметра валу $d = 30$ мм;

$K_F = 1,1$ – при шорсткості $R_a = 1,1$;

$K_V = 1$ – поверхнєве зміцнення не передбачене.

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_\tau * \tau_m} = \frac{200}{2,4 * 3,55 + 0,15 * 3,55} = 22$$

$\tau_{-1} = 200$ МПа;

$\psi_\tau = 0,15$

$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = \frac{7,1}{2} = 3,55$ МПа;

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{38700}{0,2 * 30^3} = 7,1 \text{ МПа};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(\frac{1,8}{0,77} + 1,1 - 1 \right) = 2,4;$$

$K_\tau = 1,8$;

$K_{d\tau} = 0,77$ – для діаметра валу $d = 30$ мм;

$K_F = 1,1$ – при шорсткості $R_a \leq 1,1$;

$$S = \frac{S_\sigma * S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{5,1 * 22}{\sqrt{5,1^2 + 22^2}} = 4,9$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ – втомна витривалість валу забезпечена.

Розрахунок вихідного валу

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

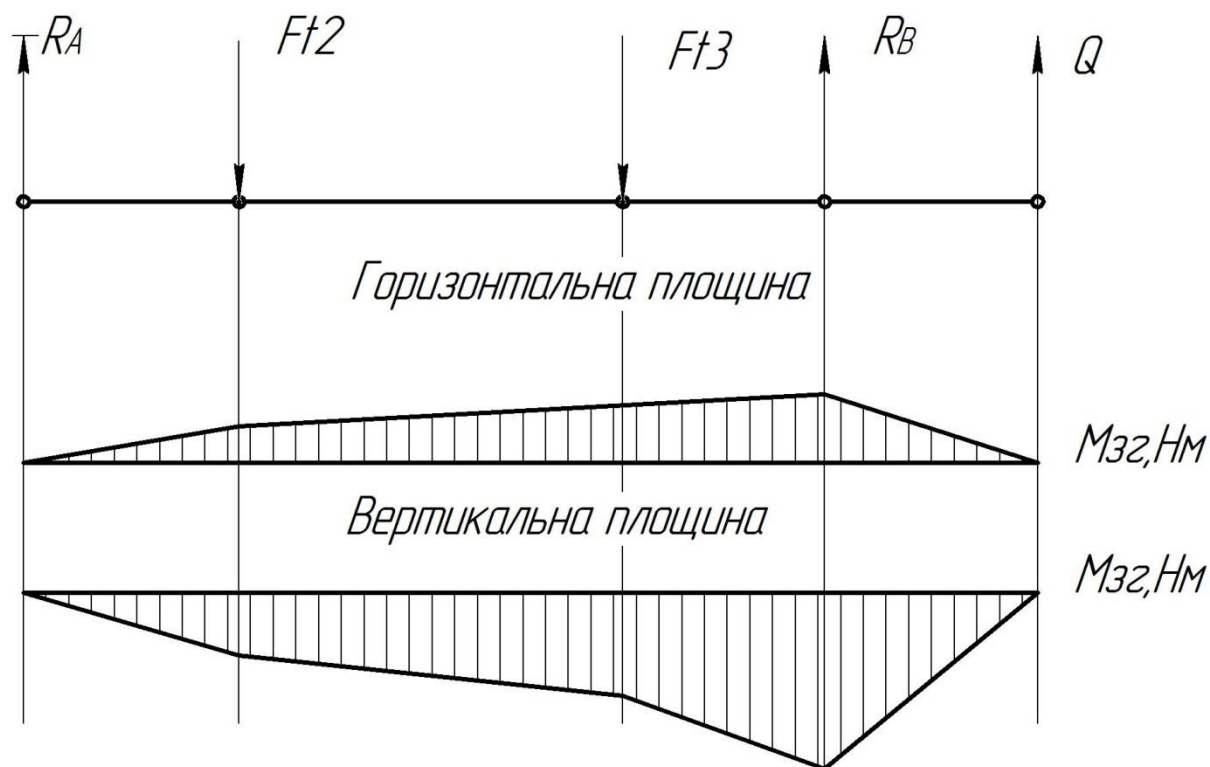


Рисунок 3.6 – Схема навантаження і епюр валу

Вертикальна площина:

$a = 28,4 \text{ мм}$; $d = 63,8 \text{ мм}$.

$b = 51,6 \text{ мм}$;

$c = 27,6 \text{ мм}$;

$$\sum M_a = 0; R_A^B * (a + b + c) - F_{t2} * a - F_{t3} * (a + b) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t2} * a + F_{t3} * (a + b)}{a + b + c} = \frac{1061 * 28,4 + 2357,7 * 80}{107,6} = 2032,9 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (a + b + c) + F_{t2} * (b + c) - F_{t3} * c = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t2} * (b + c) + F_{t3} * c}{a + b + c} = \frac{1061 * 79,2 + 2357,7 * 27,6}{107,6} = 1385,72 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t2} + R_B^B - F_{t3} = 0$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згинанні моменти у вертикальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^B * a = 1385.72 * 28.4 = 39354.5 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^B * c = 2032.9 * 27.6 = 56108.4 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ H} * \text{мм}.$$

Горизонтальна площина:

$$\sum M_a = 0; -F_{r2} * a + R_B^r * (a + b + c) - F_{r3} * (a + b) - Q * (a + b + c + d) = 0$$

$$R_B^r = \frac{F_{r2} * a + F_{r3} * (a + b + c) + Q * (a + b + c + d)}{a + b + c} = \frac{385.8 * 28.4 - 858.13 * (28.4 + 51.6) + 1155.7 * 171.4}{107.6} = 2580.8 \text{ H}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^r * (a + b + c) + F_{r2} * (a + b) + F_{r3} * a - Q * (c + d) = 0$$

$$R_A^r = \frac{F_{r2} * (a + b) + F_{r3} * a - Q * (c + d)}{a + b + c} = \frac{858.13 * 27.6 + 385.8 * 79.2 - 1155.7 * 63.8}{107.6} = -181.17 \text{ H}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^r - F_{r2} - R_B^r + F_{r3} - Q = 0$$

Згинанні моменти у горизонтальній площині:

$$M_1 = M_5 = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^r * a = -181.17 * 28.4 = -5145.22 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_3 = -Q * (c + d) + R_B^r * c = -1155.7 * 91.4 + 2580.8 * 27.6 = -34400.9 \text{ H} * \text{мм}$$

$$M_4 = -Q * c = -1155.7 * 63.8 = -73733.66 \text{ H} * \text{мм}.$$

$$M_{зг1} = 0 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_{зг2} = \sqrt{39.354^2 + (-5142.22)^2} = 39689.02 \text{ H} * \text{мм};$$

$$M_{зг3} = \sqrt{56108.4^2 + (-34400.9)^2} = 65814.6 \text{ H} * \text{мм};$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{зг4} = 73733.66 \text{ Н} * \text{мм.}$$

Небезпечний переріз валу є переріз є у точці 4.

$$d = d_{n2} = 45 \text{ мм};$$

$$M_{зг} = 54760 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$T = 193580 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_{\sigma} * \sigma_m} = \frac{320}{3,4 * 8.09} = 11,6$$

Матеріал валу: Сталь 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\sigma} = 0,15;$$

$$\sigma_a = \sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_0} = \frac{73733.66}{9112.5} = 8.09 \text{ МПа};$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 45^3 = 9112.5 \text{ м}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ тому що, } F_a = 0;$$

$$K_{\sigma D} = \frac{\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + K_F - 1}{K_V} = \left(\frac{2,4}{0,72} + 1,1 - 1 \right) / 1 = 3,4;$$

$$K_{\sigma} = 2,4;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

$$K_{d\sigma} = 0,72 - \text{для діаметра валу } d = 45 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 - \text{при шорсткості } R_a = 1,1;;$$

$$K_V = 1 - \text{поверхневе зміцнення не передбачене.}$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_{\tau} * \tau_m} = \frac{200}{2,5 * 8,4 + 0,1 * 8,4} = 9,1$$

$$\tau_{-1} = 150 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\tau} = 0,15;$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = \frac{10,6}{2} = 5,3 \text{ МПа};$$

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{193580}{0,2 \cdot 45^3} = 10,6 \text{ МПа};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(\frac{1,8}{0,73} + 1,1 - 1 \right) = 2,5;$$

$$K_{\tau} = 1,8;$$

$$K_{d\tau} = 0,73 - \text{для діаметра валу } d = 45 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 - \text{при шорсткості } R_a \leq 1,1;$$

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} = \frac{11,6 \cdot 9,1}{\sqrt{11,6^2 + 9,1^2}} = 7,1$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ – втомна витривалість валу забезпечена.

Перевірочний розрахунок підшипників

Розрахунок підшипників вхідного валу

Для підшипника №208 маємо:

$$d = 30 \text{ мм};$$

$$D = 72 \text{ мм};$$

$$B = 19 \text{ мм};$$

$$C_r = 33,2 \text{ кН}.$$

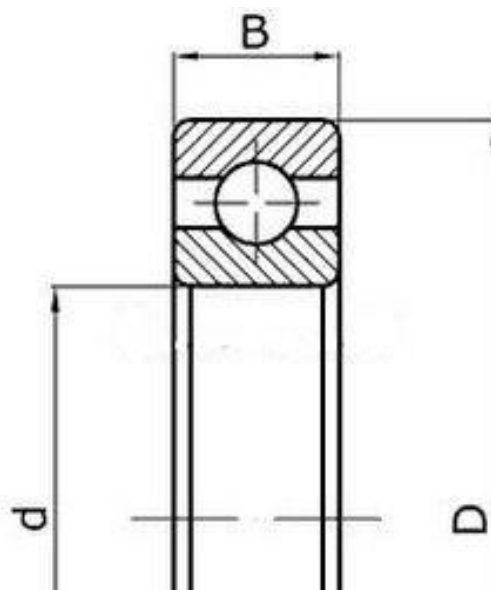


Рисунок 3.7 – Ескіз кулькового радіального підшипника

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^I)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{1403,1^2 + 510,4^2} = 1493,04 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^I)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{2015,6^2 + 733,5^2} = 2144,9 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{re} = P_r * K_e = 5651,1 * 1 = 2788,4 \text{ Н}$$

$$P_r = \chi * V * F_R * K_B * K_T = 1 * 1 * 2144,9 * 1,3 * 1 = 2788,4 \text{ Н}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$\chi = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

$$K_e = 1$$

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{re}} \right)^\alpha = 1 * 0,75 * \left(\frac{29100}{4633,9} \right)^3 = 852,4 \text{ млн/об}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_h = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{852,4 * 10^6}{60 * 1350} = 10523 \text{ год}$$

Розрахунок підшипників вихідного валу

Для підшипника №208 маємо:

$$d = 45 \text{ мм};$$

$$D = 100 \text{ мм};$$

$$B = 25 \text{ мм};$$

$$C_r = 52,7 \text{ кН}.$$

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^I)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{1387,2^2 + (-181,17)^2} = 1399,04 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^I)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{2032,9^2 + 2580,8^2} = 3285,3 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{re} = P_r * K_e = 5651,1 * 1 = 4270,89 \text{ Н}$$

$$P_r = \chi * V * F_R * K_B * K_T = 1 * 1 * 2144,9 * 1,3 * 1 = 4270,89 \text{ Н}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$\chi = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

$$K_e = 1$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{re}} \right)^\alpha = 1 * 0,75 * \left(\frac{52700}{4270,86} \right)^3 = 1409 \text{ млн/об}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

$$L_h = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{1470 * 10^6}{60 * 370} = 66216,2 \text{ год}$$

Перевірочний розрахунок шпонок

Вхідний вал

Діаметр валу $d=24$ мм; обертовий момент $T=79,5$ Н*м.

По ДСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{ш1} (h - t_1) [\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 79,5 - 2,03}{24(7 - 4) * 180} + 8 = 17,1 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 18$ мм з ряду довжин шпонок.

Вхідний вал (шестерня)

Діаметр валу $d=30$ мм; обертовий момент $T=53,05$ Н*м.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По ДСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{к2}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 53,05 - 2,03}{30(7 - 4) * 180} + 8 = 13,9 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 14$ мм з ряду довжин шпонок.

Вихідний вал вал (шків)

Діаметр валу $d=36$ мм; обертовий момент $T=193,58$ Н*м.

По ДСТ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=8$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Приймаємо $[\sigma]_{зм} = 160 \dots 190$ МПа для сталевих маточин.

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{ш3}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 52,09 - 2,03}{36(7 - 4) * 180} + 8 = 22 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 22$ мм з ряду довжин шпонок.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок пасової передачі

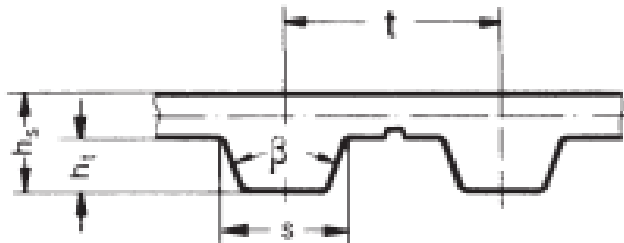


Рисунок 3.8- Габаритні розміри пасу

$t=10\text{мм}$; $S=5,3\text{мм}$; $H=4,5\text{мм}$; $\beta=40^\circ$.

Визначаємо передаточне число пасової передачі:

$$U = \frac{n_1}{n_2} = \frac{370}{200} = 1.85$$

Визначаємо діаметри шківів:

$$d_1 = 98.6\text{мм};$$

$$d_2 = 181.4\text{мм}.$$

Визначаємо колову силу:

$$F = \frac{T_{u1}}{R_{u1}} = \frac{193.58}{0.0493} = 3926 \text{ Н}$$

Визначаємо ширину пасу:

$$b = \frac{F}{[F]} \times 100 = \frac{3926}{16000} \times 100 = 24.5 \text{ мм};$$

Приймаємо $b=32 \text{ мм}$.

Визначаємо міжосьову відстань та довжину пасу:

$$a \geq 0.55 (d_1 + d_2) + h_s = 0.55 (98.6 + 181.4) + 5 = 159 \text{ мм};$$

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a} = 2 \times 159 + \frac{3.14}{2}(98.6 + 181.4) + \frac{(98.6 + 181.4)^2}{4 \times 159} = 890 \text{ мм};$$

$$a = \frac{1}{8} \left(2l - \pi (d_2 + d_1) + \sqrt{(2l - \pi (d_2 + d_1))^2 - 8(d_2 - d_1)^2} \right) =$$

$$\frac{1}{8} \left(2 \times 890 - 3.14 (181.4 + 98.6) + \sqrt{(2 \times 890 - 3.14 (181.4 + 98.6))^2 - 8(181.4 - 98.6)^2} \right) = 221.2 \text{ мм}.$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо силу Q:

$$Q = 2 F_0 \times \sin \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) = 2 \times 580.4 \times \sin \left(\frac{169.3}{2} \right) = 1155.7 \text{ Н}$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \frac{d_2 - d_1}{2a} = 180 - 57 \frac{181.4 - 98.6}{2 \times 221.2} = 169.3^\circ$$

Розрахунок напрямних

Вибираємо тип напрямних “ластівчин хвіст”, наведені на рисунку 3.9.

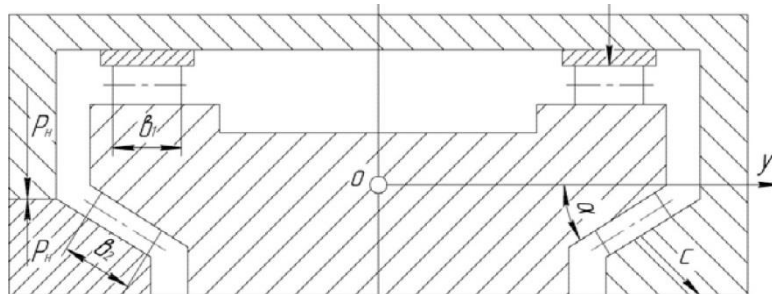


Рисунок 3.9- Направні типу “ластівчин хвіст”

Визначаємо кількість тіл кочення:

$$Z \leq \frac{G}{9.8 \times 4b} = \frac{1000}{9.8 \times 4 \times 2} = 12.7 \approx 13;$$

де b - діаметр роликів, см;

G - вага супорта, Н.

Визначаємо моменти зовнішніх сил:

$$M_x = P_z Y_p + P_y Z_p - G Y_G = 3529.1 \times 120 + 1411.6 \times 200 - 1000 \times 80 = 625812 \text{ Нмм} = 625.812 \text{ Нм};$$

$$M_y = -P_x Z_p + P_z X_p + G X_G = -705.9 \times 200 + 3529.1 \times 150 + 1000 \times 70 = 458185 \text{ Нмм} = 458.18 \text{ Нм};$$

$$M_z = P_y X_p - P_x Y_p = 1411.6 \times 150 - 705.9 \times 120 = 127032 \text{ Нмм} = 127.0322 \text{ Нм};$$

де $P_x=705.9\text{Н}$; $P_y=1411.6\text{Н}$; $P_z=3529.1\text{Н}$;

$Y_p=120\text{мм}$; $Z_p=200\text{мм}$; $X_p=150\text{мм}$; $Y_G=80\text{мм}$; $X_G=70\text{мм}$.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо максимальне навантаження на один ролик:

$$P_{\text{макс}} = \frac{B}{Z} = \frac{6275}{13} = 482,6 \text{ Н} ;$$

$$B = N_1 + (0.5 P_z + 0.5 G + \frac{M_x}{l}) \frac{b_1}{b_{np}} = 830,4 + (0,5 \times 3529,1 + 0,5 \times 1000 + \frac{625812}{0,13}) \times \frac{0,02}{0,026} = 6275 \text{ Н}$$

$$b_{np} = b_1 + b_2 \times \cos^2 \alpha = 2 + 2 \times \cos^2 55 = 2,6 \text{ см} ;$$

$$l = 130 \text{ мм} = 0,13 \text{ м};$$

$$N_1 = P_H \times \operatorname{ctg} \alpha = 1186,2 \times \operatorname{ctg} 55^\circ = 1186,2 \times 0,7 = 830,4 \text{ Н} ;$$

$$P_H = P_y \times 1,1 / \operatorname{tg} 55^\circ = 3529,1 \times 1,1 / \operatorname{tg} 55^\circ = 1186,2 \text{ Н}$$

Допустиме навантаження на ролик:

$$[P] = K b d \varepsilon = 200 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-2} \times 1 = 4000 \text{ Н}$$

$$[P] > P_{b \max}$$

Розрахунок на жорсткість

Визначаємо пружні переміщення:

$$\delta_{y0} = \frac{P_y (\text{Cpt})}{\xi L b y} = \frac{1411,6 (0,03 \times 1)}{1 \times 16 \times 2,68} = 0,98 \text{ мкм} ;$$

$$\delta_{y0} = \frac{P_z (\text{Cpt})}{\xi L b z} = \frac{3529,1 (0,03 \times 1)}{1 \times 16 \times 5,2} = 1,2 \text{ мкм} ;$$

$$\varphi_x = \frac{M_x (\text{Cpt})}{\xi j x} = \frac{625,812 (0,03 \times 1)}{1 \times 3515,2} = 0,005 \text{ мкм / см} ;$$

$$\varphi_y = \frac{M_y (\text{Cpt})}{\xi j y} = \frac{458,185 (0,03 \times 1)}{1 \times 1774,9} = 0,007 \text{ мкм / см} ;$$

$$\varphi_z = \frac{M_z (\text{Cpt})}{\xi j z} = \frac{127,032 (0,03 \times 1)}{1 \times 686,08} = 0,005 \text{ мкм / см} ;$$

Приведений момент інерції знаходимо за формулами:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_x = \frac{b_{np} L l^2}{2} = \frac{2.6 \times 16 \times 13^2}{2} = 3515.2 \text{ см}^4;$$

$$J_y = \frac{b_z L^3}{12} = \frac{5.2 \times 16^3}{12} = 1774.9 \text{ см}^4;$$

$$J_z = \frac{b_y L^3}{12} = \frac{2.68 \times 16^3}{12} = 686.08 \text{ см}^4.$$

Для знаходження C_p визначаємо q:

$$q = \frac{P_{b \max}}{b_2} = \frac{482.6}{2} = 24130 \text{ Н/м}$$

$$C_p = 0,12 \text{ Н/м}.$$

Визначаємо пружні переміщення:

$$\delta x = \varphi_y Z - \varphi_z Y = 0.007 \times 20 - 0.005 \times 12 = 0.08 \text{ мм};$$

$$\delta y = \delta x_0 + \varphi_x Z - \varphi_z X = 0.98 + 0.005 \times 20 - 0.005 \times 15 = 1.005 \text{ мм};$$

$$\delta z = \delta z_0 + \varphi_y X - \varphi_x Y = 1.2 + 0.007 \times 15 - 0.005 \times 12 = 1.245 \text{ мм}.$$

Розраховуємо лінійну жорсткість рухомого вузла:

$$J_x = \frac{P_x}{\delta x} = \frac{705.9}{80 \times 10^{-19}} = 8.823 \times 10^9 \text{ Н/м};$$

$$J_y = \frac{P_y}{\delta y_0} = \frac{1411.6}{0.98 \times 10^{-19}} = 1.44 \times 10^9 \text{ Н/м};$$

$$J_z = \frac{P_z}{\delta z_0} = \frac{3529.1}{1.2 \times 10^{-19}} = 2.94 \times 10^9 \text{ Н/м}.$$

Розрахунок витрат на тертя і довговічність:

$$T = T_0 + \frac{f_k}{r} P_1 = 5 + \frac{0.001}{0.5} \times 6275 = 17,55 \text{ Н};$$

P_1 - нормальне навантаження на одну напрямну, Н;

T_0 - початкова сила тертя на одній грані напрямної, Н;

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

r - радіус тіл кочення, см;

f_k - коефіцієнт тертя кочення.

Визначаємо допустиму силу на найбільш навантажене тіло кочення:

$$P = 729 \text{ db} \sqrt[3]{\frac{2 \times 10^7 \times t}{60 \text{ TnH}}} = 729 \times 1.0 \times 2.0 \times \sqrt[3]{\frac{2 \times 10^7 \times 10}{60}} =$$

T - термін служби, г;

n - число ходів каретки в хвилину;

H - довжина хода, см.

Визначаємо сумарну силу тертя:

$$F_{mp} = n_1 F_0 + \frac{f_k}{r_{np}} P_1 = 4 \times 4,5 + \frac{0,001}{0,5} \times 4529,1 = 27,05 \text{ H};$$

Тягове зусилля:

$$Q = P_x + F_{mp} = 705,9 + 27,05 = 732,95 \text{ H};$$

Розрахунок шпинделя верстата

$D_1=98,6$ мм, $D_2=181,4$ мм ведучий шків закріплений на валу 2, котрий має частоту обертання $n=40\dots10000$ хв⁻¹. При обробці виникають сили різання $P_z = 3529,1\text{H}$, $P_y = 1411,6\text{H}$. Потужність на валу 7,5кВт. Матеріал шпинделя Сталь 40Х НRC 48-56.

Вибираємо схему шпиндельного вузла ,вказану на рисунку 3.12.



Рисунок 3.10- Схема шпиндельного вузла

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо мінімальний діаметр шпинделя:

$$d = 150 \dots 170 \times \sqrt[3]{\frac{N \times \eta_{\text{підш.}}}{n_{\text{msn}}}} = d = 160 \times d = 160 \times \sqrt[3]{\frac{7,5 \times 0,99}{21,8}} = 111,7 \approx 120 \text{ мм};$$

$$U = \frac{d_2}{d_1} = \frac{181,4}{98,6} = 1,83; \quad n_2 = \frac{n_1}{U} = \frac{40}{1,83} = 21,8 \text{ хв}^{-1};$$

Діаметр внутрішнього отвору: $0,7d=0,7 \times 120=84 \text{ мм}$.

Призначаємо підшипники:

Для передньої опори призначаємо:

Роликовий радіальний дворядний з короткими циліндричними роликами

№ 3182128 ($d=140 \text{ мм}$; $D=210 \text{ мм}$; $B=53 \text{ мм}$; 4 клас точності.)

Для задньої опори:

Кульковий радіально упорний № 46224 ($d=120 \text{ мм}$; $D=215 \text{ мм}$; $B=40 \text{ мм}$; 5 клас точності.)

Визначаємо радіальне биття переднього кінця шпинделя:

$$\delta = 1,5 \left[\frac{\delta_1}{\sqrt{m_1}} + \frac{a}{l} \left(\frac{\delta_1}{\sqrt{m_1}} + \frac{\delta}{\sqrt{m_2}} \right) \right] = 1,5 \left[\frac{8}{\sqrt{2}} + \frac{105}{490} \left(\frac{8}{\sqrt{2}} + \frac{14}{\sqrt{1}} \right) \right] = 14,8 \text{ мкм};$$

δ_1, δ_2 - відповідно радіальне биття передньої і задньої опори;

m - кількість рядів підшипника;

a - довжина консольної частини шпинделя;

l - довжина між опорної частини шпинделя.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо реакції опор шпинделя за розрахунковою схемою рисунок 3.11



Рисунок 3.11- Розрахункова схема

$$\sum M_A = 0;$$

$$P_z \times 595 - R_{Bz} \times 490 = 0;$$

$$R_{Bz} = \frac{3529.1 \times 595}{490} = 4285.4 \text{ H}$$

$$\sum F_z = R_{Az} + R_{Bz} - P_z = 0;$$

$$R_{Az} = -R_{Bz} + P_z = -4285.4 + 3529.1 = -756.3 \text{ H}$$



Рисунок 3.12 Розрахункова схема

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum M_A = 0;$$

$$P_Y \times 595 - R_{BY} \times 490 = 0;$$

$$R_{BY} = \frac{1411 \cdot 6 \times 595}{490} = 1714 \cdot 1 H$$

$$\sum F_Z = R_{AY} + R_{BY} - P_Y = 0;$$

$$R_{AY} = -R_{BY} + P_Y = -1714 \cdot 1 + 1411 \cdot 6 = -302 \cdot 5 H$$

$$R_A = \sqrt[2]{R_{AZ}^2 + R_{AY}^2} = \sqrt[2]{(-756 \cdot 3)^2 + (-302 \cdot 5)^2} = 814 \cdot 6 H;$$

$$R_B = \sqrt[2]{R_{BZ}^2 + R_{BY}^2} = \sqrt[2]{4285 \cdot 4^2 + 1714 \cdot 1^2} = 4615 \cdot 5 H.$$

Визначаємо радіальне пружне переміщення переднього кінця шпинделя з урахування піддатливості його опор:

$$y = \frac{Pa^2}{3E} \left(\frac{a}{J_1} + \frac{l}{J_2} \right) + P \left(e_1 \frac{(l+a)^2}{l^2} + e_2 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right);$$

$J_1 J_2$ – усереднені моменти відповідно консольної і між опорної частини шпиндельного вузла, мм.

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} = \sqrt{3529 \cdot 1^2 + 1411 \cdot 6^2} = 3800 \cdot 9 H;$$

$$J_1 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3 \cdot 14(140^4 - 84^4)}{64} = 16405168 \text{ мм}^4;$$

$$J_2 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3 \cdot 14(120^4 - 84^4)}{64} = 7730918 \text{ мм}^4;$$

Для визначення величини переміщення переднього кінця шпинделя необхідно розрахувати радіальну жорсткість для передньої опори яу для двухрядного роликового підшипника, для задньої як для однорядного.

Знаходимо радіальну піддатливість:

$$\delta_{r0} = 1 \cdot 9 \text{ мкм};$$

$$\delta_{r0} = 0 \cdot 5 \text{ мкм}$$

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо величину відносного натягу:

$$e / \delta_{ro1} = -6 / 1,9 = -3,2;$$

$$e / \delta_{ro2} = -6 / 0,5 = -12$$

Визначаємо коефіцієнт піддатливості:

$$K \delta_1 = 0.2$$

$$K \delta_2 = 0.01$$

Визначаємо загальну піддатливість підшипників:

$$\delta rn_1 = K \delta_1 \times \delta ro_1 = 0.2 \times 1.9 = 0.38 \text{ мкм} ;$$

$$\delta rn_2 = K \delta_2 \times \delta ro_{21} = 0.01 \times 0,5 = 0.05 \text{ мкм} .$$

Визначаємо зміщення обумовлене контактною деформацією доріжок кочення:

$$\delta re_1 = \delta rn_1 - 0.5e = 0.38 - 0.5 \times (-6) = 3.38$$

$$\delta re_2 = \delta rn_2 - 0.5e = 0.05 - 0.5 \times (-6) = 3.05$$

Визначаємо контактну деформацію на поверхнях посадок підшипників:

$$\delta rn_1 = \frac{4 R_B \times K_2}{\pi db} \times \left(1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \times 4615.5 \times 0.0005}{3.14 \times 140 \times 53} \times \left(1 + \frac{140}{210} \right) = 0.00064 \text{ мм} = 0,64 \text{ мкм} ;$$

$$\delta rn_2 = \frac{4 R_A \times K_2}{\pi db} \times \left(1 + \frac{d}{D} \right) = \frac{4 \times 814.6 \times 0.0015}{3.14 \times 120 \times 53} \times \left(1 + \frac{120}{215} \right) = 0.00038 \text{ мм} = 0,38 \text{ мкм} .$$

Визначаємо загальне пружне зближення кілець підшипника:

$$\delta r_1 = \delta re_1 + \delta rn_1 = 3.38 + 0.64 = 4.02 \text{ мкм} ;$$

$$\delta r_2 = \delta re_2 + \delta rn_2 = 3.05 + 0.38 = 3,43 \text{ мкм} .$$

Визначаємо жорсткість опор:

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_1 = \frac{R_1}{\delta r} = \frac{4615,6}{4,02} = 1148,2 \text{ Н / мм} ;$$

$$J_2 = \frac{R_2}{\delta r} = \frac{814,6}{3,43} = 237,49 \text{ Н / мм} ;$$

$$e_1 = \frac{1}{1148,2} = 0,00087 \text{ мм / Н} ;$$

$$e_2 = \frac{1}{237,49} = 0,0042 \text{ мм / Н} ;$$

Визначаємо радіальне переміщення переднього кінця шпинделя з урахування піддатливості його опор:

$$y = \frac{3800,9 \times 105^2}{3 \times 2 \times 10^5} \left(\frac{105}{164051168} + \frac{490}{7730918} \right) + 3800,9 \times \left(0,00087 \times \frac{(490 + 105)^2}{450^2} + 0,0042 \times \left(\frac{105}{490} \right)^2 \right) =$$

$$= 6,51 \text{ мм} .$$

Визначаємо жорсткість шпинделя:

$$j_{ш} = \frac{P}{y} = \frac{3800,9}{6,51} = 583,8 \text{ Н / мм}$$

Жорсткість шпинделя в між опорній частині повинна буди не менш 500Н/мм для прецезійних верстатів. Виходячи з цього умова виконується.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Питання техніки безпеки при експлуатації установок високих, надвисоких і ультрависоких частот

Земля постійно знаходиться під впливом електромагнітних полів, які випромінюють природні та штучні джерела. Наприклад Сонце випромінює в діапазоні в основному 10МГц...10ГГц. Спектр сонячного випромінювання досягає і більш короткохвильової області, яка включає в себе інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та гамма-випромінювання. Інтенсивність випромінювання змінюється періодично, а також швидко та різко збільшується при хромосферних спалахах. Антропогенні (штучні) випромінювання охоплюють усі діапазони.

Під впливом електромагнітних випромінювань спостерігаються загальна слабкість, підвищена втома, пітливість, сонливість, а також розлад сну, головний біль, біль в ділянці серця. З'являється роздратування, втрата уваги, зростає тривалість мовнорухової та зоровомоторної реакцій. Виникає ряд симптомів, які є свідченням порушення роботи окремих органів – шлунку, печінки, селезінки, підшлункової та інших залоз.

Джерелами електротехнічних випромінювань є генератори, тракти передачі енергії від генератора до антени, антенні пристрої в радіотехнічних установках, електромагніти в установках для термічної обробки матеріалів, конденсатори, високочастотні трансформатори, фідерні лінії. При їх роботі в навколишнє середовище поширюються електромагнітні поля.

					КРБ 22-051.00.00.000					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ			Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Чайківський								
Перевір.		Лещук								
Консульт.		Окіпний						ТНТУ, зр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник								
Зав.каф.		Крупа								

Встановлені правилами гранично допустимі рівні електромагнітних полів поширюються на діапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

Таблиця 4.1 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів
(безперервне випромінювання. Амплітудна або кутова модуляція)

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль	Гранично допустимий рівень
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25 В/м
6	Гекаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15 В/м
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3lg\lambda$ В/м*
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти ДВЧ)	3-300 МГц	10-1 м	3 В/м

* Примітка λ – довжина хвилі в метрах або гранично допустимий рівень рівний $7,43-3lg f$, де f – частота в МГц.

Електромагнітне поле високих і надвисоких частот, що несе з собою енергію, може самостійно поширюватись в просторі без провідника електроструму зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Воно змінюється з цією ж частотою, що і струм, який його створив.

Коли дози електромагнітних випромінювань перевищують допустимі значення виникають професійні захворювання. Контроль інтенсивності опромінення повинен проводитись не рідше одного разу на рік, а також при введенні в дію нових чи реконструйованих старих генераторних установок і при зміні умов праці.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал та населення, яке знаходиться в зоні джерел випромінювання, потрібно взяти

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ряд заходів, до числа яких входять організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Виключно важливе значення мають інженерно-технічні методи та способи захисту. Колективний захист спирається на розрахунок поширення електромагнітного поля в конкретних умовах рельєфу місцевості, використання природніх екранів, наприклад лісосмуг, гір, складок місцевості. Локальний захист дуже ефективний і часто використовується. Він базується на використанні радіозахисних матеріалів, які забезпечують високе поглинання енергії випромінювання у матеріалі та віддзеркалення від його поверхні. Для екранування шляхом віддзеркалення використовують металеві листи та сітки з доброю провідністю. Захист приміщень від зовнішніх випромінювань можна здійснити завдяки обклеюванню стін металізованими шпалерами, захисту вікон сітками, металізованими шторами. Опромінення у такому приміщенні зводиться до мінімуму, але відбите від екранів випромінювання пере розповсюджується у просторі та потрапляє на інші об'єкти.

До інженерно-технічних засобів також належать:

- конструктивна можливість працювати на заниженій потужності у процесі налагодження, регулювання та профілактики;
- робота на еквівалент налагоджування;
- дистанційне керування.

Для обслуговуючого персоналу, що знаходиться на невеликій відстані необхідно забезпечити надійний захист шляхом екранування апаратури.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Опис принципу дії системи пожежегасіння, що використовується в механічному цеху підприємства машинобудування

Система протипожежного захисту – це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї (згідно ДСТУ 2272-93).

Важливим компонентом системи протипожежного захисту є система пожежегасіння. Вона включає в себе попереджувальні засоби – автоматичні датчики протипожежної сигналізації, які встановлюються в місцях найбільш ймовірного виникнення пожежі – на дільницях зварювання, термічної обробки та інших приміщеннях з підвищеною температурою, а також в складських приміщеннях, інструментальних коморах та місцях зберігання горючих та легкозаймистих матеріалів. Для ручного попередження працюючого персоналу про виникнення пожежі по периметру приміщення цеху, в місцях перебування людей розміщуються ручні сповісники – вмикачі пожежної сигналізації.

Для боротьби з пожежею передбачено 8 пожежних кранів, обладнаних пожежними рукавами і підключених до заводської системи подачі води, які з'єднані з водоймою для забору води. Передбачається на приміщення цеху розміщення протипожежних щитів, які обладнані інструментом – баграми, ломами, сокирами, вогнегасниками та ящиками з піском. Щити розміщуються в місцях входу – виходу із цеху, місцях зберігання легкозаймистих та горючих матеріалів. Для боротьби з вогнем, який виникає на електроустаткуванні, передбачено використання ручних вуглекислотних вогнегасників типу ОУ-2 та ОУ-5, які розміщуються на пожежних щитах на кожній дільниці в кількості 2-4 шт. на дільницю. Також передбачено

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщення в цеху двох пересувних вуглекислотних вогнегасників типу УП-2М.

Також для попередження розповсюдження вогню в цеху передбачається створення протипожежної перешкоди між ділянкою термічної обробки та складом мастильних матеріалів у вигляді вогнетривкої стіни, яка спирається на фундамент, встановлюється на всю висоту цеху та немає в своїй конструкції горючих матеріалів і вікон та проїомів.

Для подачі води, на віддалі 5,5 м від зовнішньої стіни цеху передбачається встановлення двох пожежних гідрантів, які підключені до заводської системи водопостачання.

4.3 Змащувально-охолоджувальні рідини та їх використання на металообробних верстатах. Гігієна праці при роботі із ЗОР

Для покращення процесу обробки деталі на металорізальних верстатах, відводу тепла і змащування деталі та інструменту на підприємствах використовують 8 – 5 % розчин синтетичної ЗОР “Аквол - 10”.

При користуванні цими рідинами слід суворо дотримуватись правил техніки безпеки, порушення яких може спричинити тяжкі наслідки. В процесі обробки деталі різанням з використанням ЗОР робітники безпосередньо контактують з нею при заміні інструменту, наладці верстату, прибиранні обладнання. В процесі обробки відбувається розбризкування рідини, яка потрапляє на відкриті частини тіла та спецодяг. При попаданні цих рідин на відкриті ділянки тіла людини можуть виникнути масляні вугрі та гнійні захворювання шкіри.

Масляні вугрі являють собою ураження волосяних мішечків та безпосередньо пов'язаних з ними сальних залоз. Затримуючись в отворах волосяних мішечків, мінеральні мастильні матеріали впливають на клітини та спричиняють їх розростання у зону волосяних мішечків. Розростання клітин

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спричиняє закупорювання волосяного мішечка і створює перешкоду для відтоку шкіряного сала, що виробляється сальними залозами. На поверхні шкіри дія масла виникає утворення вугрів, які насамперед поражають передпліччя, а також закриті ділянки тіла, що контактують із забрудненою маслами одежею: живіт, передня поверхня стегон.

Спостереження показують, що ступінь ураження масляними вугрями залежить від умов праці. При роботі на верстатах із сульфореольним охолодженням, де велике розбризкування, при відсутності належної гігієни у робітника, а також при незадовільному прибиранні робочого місця захворювання збільшуються.

Гнійні захворювання шкіри утворюються гноєтворними мікробами, найчастіше стафілококами, рідше стрептококами. Перші завжди є на шкірі людей, але не завжди викликають гнійні захворювання. Крім того гнійні захворювання можуть виникнути із “масляного вугря”. Велике значення має також забрудненість масла гноєтворними мікробами, які попадають туди разом з пилюкою та брудом при незадовільному прибиранні цеху. Змащувально-охолоджувальні рідини забруднені мілкими механічними домішками спричиняють можливість утворення малих ран, через які в шкіру проникають гноєтворні мікроби.

При роботі з емульсіями рекомендується застосовувати емульсол із складом органічних кислот не більше 20 %; додавати в емульсію для нейтралізації кальциновану соду у складі 0,3 % (каустінову соду використовувати заборонено); забезпечити в емульсії склад вільного їдкого натру не більше 0,025 %; кількість мила не більше 1 %; забезпечити систематичний нагляд заводської лабораторії за складом лугів та мил в емульсії. Замінювати емульсію у верстатах не рідше двох разів на місяць.

Для попередження шкіряних захворювань необхідно: проводити нагляд за тим, щоб захисні кожухи верстатів постійно були на своїх місцях; прибирати робоче місце не тільки після закінчення роботи, але й по мірі його

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднення, проводити нагляд за очисткою корита і бачків верстата від бруду лопатою або дощаним сачком; стружку прибирати спеціальними засобами, а не руками; при роботі з емульсіями та маслами забезпечити робітників спецодягом виготовленим із щільної тканини, що добре очищається; проводити прання спецодягу один раз в 12 – 15 днів, а спецбілизни – один раз в тиждень; закріпляти за працюючим із сульфазрезолом окремі гардероби з індивідуальними шафками; проводити обов’язкову заміну білизни після роботи; видавати для миття рук тверде мило; кожного дня забезпечувати миття тіла під душем; забезпечити робочі місця достатньою кількістю обтирочного матеріалу; слідкувати за тим щоб для витирання рук не використовувався матеріал, яким витирають верстат; для захисту шкіри від подразнення при роботі з емульсіями і содовими розчинами застосовувати жирні мазі: вазелін, ланопин і 2 % буровську рідину, взяту рівними частинами 1:1 іхтіолову мазь і вазелінове масло.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата з ЧПК для забезпечення обробки валів великих типорозмірів

Проведено аналіз верстатів-аналогів токарної групи на яких можуть здійснюватись токарні операції для деталей великих типорозмірів.

Зроблено вибір і обґрунтування технічних умов на деталь, розрахунок припусків і режимів різання, проектування маршрутного і операційного процесів, а також запропоновано конструкції верстатного та контрольного пристосувань.

У конструкторському розділі проведено кінематичний та конструктивний розрахунок приводу головного руху та коробки швидкостей, а також вузлів верстата.

У розділі охорони праці та безпека життєдіяльності розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на об'єкті, що проектується, розроблені заходи щодо їх усунення.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ПЕРЕЛІК ПОСЛАНЬ

1. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).
2. Безпека виробничих процесів : довідник / під ред. С. В. Бєлова. – М : Машинобудування, 1985. – 448 с.
3. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
4. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати: навч. посіб. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
5. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.
6. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
7. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина І): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
8. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
9. Дементій, Л. В. Охорона праці в механічних та складальних цехах / Л. В. Дементій, С. А. Гончарова. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – 312 с. – ISBN 5-7763-1413.

					КРБ 22-051.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік посилань		
Розроб.	Чайківський						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

10.Жидецький В. Ц., Джигирей В. С. Практикум з охорони праці: навчальний посібник.Львів: Афіша, 2000 – 352 с.

11.Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Складаров, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.

12.Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

13.Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

14.Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

15.Кочергін І. А. Конструювання і розрахунок металорізальних верстатів і верстатних комплексів. Курсове проектування: Посібник для вузів. - Мн .: Виш. шк., 1991. - 382 с.

16.Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

17.Кузнецов Ю. М., Складаров Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Складаров; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18.Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.

19.Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

20.Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник. / Н. С. Равська та ін. Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.

21.Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

22.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.

23.Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт / уклад.: В. І. Кальченко, А. В. Кологойда, О. С. Следнікова. Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

24.Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. - Львів : Новий світ-2000, 2009. - 358 с

25.Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.

					КРБ 22-051.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка	
				Документація			
AI			КРБ 22-051.05.00.000	Складальне креслення			
				Деталі			
		1	КРБ 22-051.05.00.001	Корпус	1		
		2	КРБ 22-051.05.00.002	Кришка	1		
		3	КРБ 22-051.05.00.003	Вал	1		
		4	КРБ 22-051.05.00.004	Вал	1		
		5	КРБ 22-051.05.00.005	Вал	1		
		6	КРБ 22-051.05.00.006	Втулка	1		
		7	КРБ 22-051.05.00.007	Шестерня	1		
		8	КРБ 22-051.05.00.008	Втулка	1		
		9	КРБ 22-051.05.00.009	Шестерня	1		
		10	КРБ 22-051.05.00.010	Втулка	1		
		11	КРБ 22-051.05.00.011	Колесо зубчасте	1		
		12	КРБ 22-051.05.00.012	Шестерня	1		
		13	КРБ 22-051.05.00.013	Втулка	1		
		14	КРБ 22-051.05.00.014	Шестерня	1		
		15	КРБ 22-051.05.00.015	Втулка	1		
		16	КРБ 22-051.05.00.016	Шків	1		
		17	КРБ 22-051.05.00.017	Втулка	1		
		18	КРБ 22-051.05.00.018	Втулка	1		
		19	КРБ 22-051.05.00.019	Колесо зубчасте	1		
		20	КРБ 22-051.05.00.020	Втулка	1		
		21	КРБ 22-051.05.00.021	Втулка	1		
		22	КРБ 22-051.05.00.022	Втулка	1		
				КРБ 22-051.05.00.000 СП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Коробка швидкостей Складальне креслення		
Розробив		Чайківський					
Перевірів		Лецул.					
Н. контр.		Кобельник					
Зав. каф.		Крупа			ТНТУ, гр. МВ-41		
					Літ.	Аркуш	Аркушів
					н		12

Формат	Зона	Поз.	Позначення			Назва	Кільк.	Примітка	
		23	КРБ 22-051.05.00.023			Втулка	1		
		24	КРБ 22-051.05.00.024			Втулка	1		
		25	КРБ 22-051.05.00.025			Колесо зубчасте	1		
		26	КРБ 22-051.05.00.026			Втулка	1		
		27	КРБ 22-051.05.00.027			Колесо зубчасте	1		
		28	КРБ 22-051.05.00.028			Втулка	1		
		29	КРБ 22-051.05.00.029			Шків	1		
		30	КРБ 22-051.05.00.030			Втулка	1		
		31	КРБ 22-051.05.00.031			Колесо зубчасте	1		
		32	КРБ 22-051.05.00.032			Щітка	2		
		33	КРБ 22-051.05.00.033			Кришка підшипника	3		
		34	КРБ 22-051.05.00.034			Кришка підшипника	1		
		35	КРБ 22-051.05.00.035			Кришка підшипника	1		
		36	КРБ 22-051.05.00.036			Кришка підшипника	1		
		37	КРБ 22-051.05.00.037			Ручка	1		
		38	КРБ 22-051.05.00.038			Пробка	1		
						Стандартні вироби			
		39				Гвинт М8×25	8		
		40				Гвинт М10×30	16		
		41				Гвинт М10×40	6		
		42				Гвинт М6×20	5		
		43				Гвинт М6×25	4		
		44				Гвинт М6×28	8		
		45				Гвинт М8×35	1		
		46				Кільце А65	2		
		47				Кільце А80	1		
		48				Кільце А100	2		
		49				Манжета 1-35	1		
		50				Манжета 1-55	1		
		51				Муфта 092-2Н	2		
		52				Муфта 135-2Н	2		
						КРБ 22-051.05.00.000 СП			Арк.
Зм.	Арк.		№ докум.	Підпис	Дата				

[illegible]