

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Модернізація приводу позиціонування та фіксації шпинделя
токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВ-41
спеціальності _____

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Олійник Б.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Волошин В.Н.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Кобельник В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Крупа В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Крупа В.В.
(підпис) (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 Олійнику Богдану Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація приводу позиціювання та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК

Керівник роботи Волошин Віталій Несторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» 01 2026 року № 4/9-45

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі «Фланець; конструкторська документація по токарно-револьверному багатоопераційному верстаті з ЧПК; матеріали по конструкціях приводів позиціювання та фіксації шпинделя

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

1. Аналітичний розділ

2. Технологічний розділ

3. Конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, охорона праці

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

1. Конструкції приводів позиціювання і фіксації шпинделя токарних багатоопераційних верстатів з ЧПК (1 лист формату А1)

2. Кінематична схема токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК (1 лист формату А1)

3. Шпиндельний вузол токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК (1 лист формату А1)

4. Привід позиціювання шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК (1 лист формату А1)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 25.01.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз конструкції приводу обертання та позиціювання шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК	Тиждень 1	
2.	Аналіз приводів кутового позиціювання та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК	Тиждень 1	
3.	Вибір технологічних баз. Розробка технологічного маршруту механічного оброблення деталі	Тиждень 2	
4.	Розроблення комплексної операції на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК	Тиждень 2	
5.	Кінематичний та силовий розрахунок приводу позиціювання шпинделя	Тиждень 3	
6.	Вибір планетарного двоступеневого редуктора	Тиждень 3	
7.	Вибір та перевірочний розрахунок регульованого синхронного серводвигуна	Тиждень 4	
8.	Розрахунок циліндричної зубчатої передачі	Тиждень 4	
9.	Розроблення пружинного блоку виключення приводу позиціювання шпинделя	Тиждень 4	
10.	Безпека життєдіяльності, охорона праці	Тиждень 5	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	Тиждень 5	
12.	Захист кваліфікаційної роботи	Тиждень 6	

Студент

_____ (підпис)

Олійник Б.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Волошин В.Н.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Олійник Б.Р. Модернізація приводу позиціювання та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2026 р.

В кваліфікаційній роботі проведено модернізацію приводу позиціювання та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК для комплексної обробки деталей шляхом введення в конструкцію сервоприводу із планетарним редуктором, зубчатою передачею та гідравлічного механізму для його з'єднання (роз'єднання) із шпинделем. Проведено проектні та перевірочні розрахунки механізмів та деталей, що входять у запропоноване конструктивне рішення приводу позиціювання шпинделя. Розроблено комплексну технологічну операцію обробки деталі «Фланець» на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК, що включає зміст переходів, вибраний високопродуктивний різальний, інструмент для контролю розмірів та вибрано режими різання.

Ключові слова: токарна обробка, багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК, привід позиціювання шпинделя, планетарний редуктор, різальний інструмент, міцність, пружинний блок.

Oliynyk B.R. Modernization of the spindle positioning and locking drive of a CNC turret multi-operation lathe. 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2026.

In the qualification work, the positioning and spindle locking drive of a CNC turret multi-operation lathe for complex machining of parts was modernized by introducing into the design a servo drive with a planetary gearbox, a gear transmission and a hydraulic mechanism for its connection (disconnection) with the spindle. Design and

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Анотація	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Олійник Б.Р.</i>					<i>Н</i>	3	2
<i>Перевірів</i>	<i>Волошин В.Н.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Крупа В.В.</i>							
						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

verification calculations of mechanisms and parts included in the proposed design solution of the spindle positioning drive were carried out. A complex technological operation for machining the part “Flange” on a multi-operation CNC lathe-turret machine was developed, which includes the content of transitions, a high-performance cutting tool was selected, a tool for controlling dimensions and cutting modes were selected.

Keywords: turning, CNC turret multi-operation lathe, spindle positioning drive, planetary gearbox, cutting tool, strength, spring block.

					<i>КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		4

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1.	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1.	Аналіз конструкції приводу обертання та позиціювання шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК	8
1.2.	Призначення приводів кутового позиціювання та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК	13
1.3.	Аналіз приводів кутового позиціювання та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК	14
1.3.1.	Приводи кутового позиціювання шпинделя від двигуна приводу головного руху	14
1.3.2.	Приводи кутового позиціювання шпинделя від окремого сервоприводу	18
1.4.	Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра	26
2.	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	29
2.1.	Характеристика об'єкту виробництва	29
2.2.	Вибір технологічних баз	30
2.3.	Розробка технологічного маршруту механічного оброблення деталі	32
2.4.	Вибір металообробного обладнання	33
2.5.	Розроблення комплексної операції на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК	34
2.5.1.	Операційна технологія на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК	34
2.5.2.	Вибір різального інструменту та вимірювального інструменту	35
2.5.3.	Вибір режимів різання	39

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Олійник Б.Р.		
Перевірів		Волошин В.Н.		
Н. контр.		Кобельник В.Р.		
Затв.		Крупа В.В.		
Зміст				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
		Н	5	2
ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль				

3.	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	42
3.1.	Кінематична схема модернізованого приводу позиціювання та фіксації шпинделя	42
3.2.	Кінематичний та силовий розрахунок приводу позиціювання шпинделя	44
3.3.	Вибір планетарного двоступеневого редуктора	45
3.4.	Вибір та перевірочний розрахунок регульованого синхронного серводвигуна	47
3.5.	Розрахунок циліндричної зубчатої передачі	53
3.5.1	Проектний розрахунок зубчатої передачі	53
3.5.2	Перевірочний розрахунок зубчатої передачі	54
3.6.	Розрахунок шпонкового з'єднання шестерні з вихідним валом планетарного редуктора	56
3.7.	Розроблення пружинного блоку виключення приводу позиціювання шпинделя	56
4.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	61
4.1.	Захист від механічних небезпек при роботі на токарно-револьверному багатоопераційному верстаті з ЧПК	61
4.2.	Захисні заходи від немеханічних небезпек при роботі на токарно-револьверному багатоопераційному верстаті з ЧПК	65
4.3.	Організація робочого місця оператора токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК	66
	ВИСНОВКИ	68
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70
	ДОДАТКИ	74

ВСТУП

Нові розробки в галузі токарних верстатів з ЧПК в першу чергу спрямовані на підвищення продуктивності обробки. Для цього необхідно забезпечити скорочення часу обробки при забезпеченні точності обробки. Нова технологія повністю цифрових приводних систем добре підходить для цих вимог, оскільки вона обіцяє більші прискорення, більшу точність траєкторії та підвищену доступність приводу.

Досяжна точність виробництва та робоча швидкість залежать, перш за все, від керованих осей токарного верстата. Щоб задовольнити зростаючі вимоги до динаміки та точності, для керованих осей необхідно досягти мінімального моменту інерції та високої жорсткості. Ці властивості суттєво залежать від механіки приводу, включаючи привід головного руху та привід позиціонування шпинделя. Метою всіх нових розробок приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК сьогодні має бути досягнення дуже хорошої точності позиціонування шпинделя, високої максимальної швидкості та високого номінального крутного моменту за допомогою індивідуальних механічних та електричних рішень.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації приводу позиціонування та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК з метою спрощення конструкції та підвищення швидкості позиціонування та фіксації шпинделя.

Окрім того, робота передбачає розробку операційної технології обробки деталі «Фланець» з вибором різального, допоміжного, контрольно-вимірювального інструменту, а також режимів обробки для комплексної операції на багатоопераційному токарно-револьверному верстаті з ЧПК.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Вступ					
Розробив	Олійник Б.Р.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Волошин В.Н.							Н	7	1
Н. контр.	Кобельник В.Р.							ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Затв.	Крупа В.В.									

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз конструкції приводу обертання та позиціонування шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК

Токарно-револьверний багатоопераційний верстат з ЧПК мод. 1П420ПФ40 (рис. 1.1) призначений для виконання комплексної (токарної та свердлильно-фрезерної) обробки деталей із прутка та штучних заготовок в умовах дрібносерійного та серійного виробництва [1].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40

Він забезпечує наступну точність обробки деталей: при точінні – поле допуску h6; при розточуванні – поле допуску H7; обробка по довжині – 0,05 мм.

Особливості конструкції токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 [1]:

- повна токарна обробка, включаючи криволінійні поверхні, обробка позацентрових отворів з нарізанням різьби на торці та по периферії деталі,

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					
Розробив		Олійник Б.Р.				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Волошин В.Н.			Н		8	21	
Н. контр.		Кобельник В.Р.			Аналітичний розділ			ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль	
Затв.		Крупа В.В.							

фрезерування прямолінійних та криволінійних пазів, а також лисок та кулачків;

- кутове позиціонування шпинделя у дискретному режимі (0-360°);
- осьові та кутові свердлильно-фрезерні головки для обертового інструменту

в будь-якій з 12 позицій револьверної головки;

- привід обертання шпинделя – двигун постійного струму потужністю 22 кВт;

- приводи подач з високомоментними електродвигунами та кульково-гвинтовими передачами;

- застосування високоточних підшипників в опорах шпинделя, накладок з наповненого фторопласту в напрямних супорта, системи вимірювання деталі з автоматичною корекцією положення інструменту дозволяє досягти високої точності обробки;

- нахилені під кутом 30° до вертикалі напрямними станини та вбудований транспортер забезпечують вільне сходження стружки та її автоматичне видалення з робочої зони.

Кінематична схема приводу головного руху та позиціонування шпинделя приведена на рис. 1.2.

Обертання шпинделя 14 при виконанні токарних операцій здійснюється від приводу головного руху, який включає регульований привідний електродвигун постійного струму 1 потужністю 30 кВт та поліклінову пасову передачу 16, 18, 13 з діаметрами шківів Ø180. На шпинделі 4 розташований механізований токарний патрон 7 моделі KFD HS 200 фірми Roehm GmbH, кулачки якого приводяться в дію через трубу затиску від обертового гідравлічного циліндра 2 моделі SZS 65/157 фірми Roehm GmbH. Швидкість обертання шпинделя 14 контролюється оптичним датчиком BE-178, рух на який передається через зубчато-пасову передачу із шківками $z=50$, $z=50$. Для гальмування шпинделя на його задньому кінці розташований гальмівний диск, який взаємодіє із гальмівними колодками, що приводяться в дію від гідроциліндра ГЦ1 через систему важелів та кулачок.

Привід повороту шпинделя 14 здійснюється від високомоментного електродвигуна 11 мод ZF4-K-7714 через зубчаті колеса $z=30$, $z=36$ і черв'ячну

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

передачу $z=1$, $z=84$. Зчеплення між черв'яком і колесом здійснюється гідروциліндром ГЦ3. Під час повороту шпинделя 14 його фіксація забезпечується гідроциліндром ГЦ2.

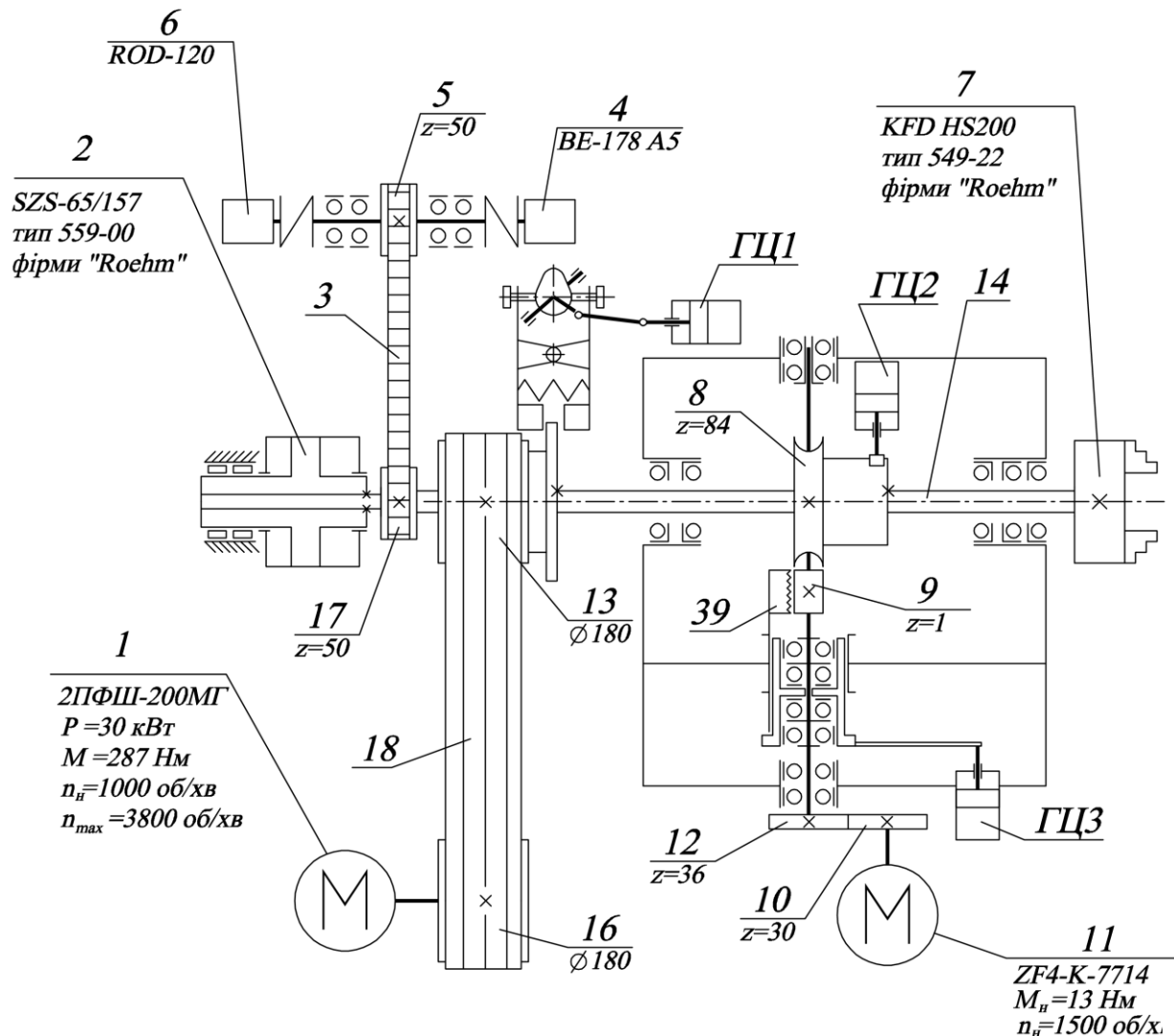


Рисунок 1.2 – Кінематична схема приводу головного руху та позиціонування шпинделя

Конструкція шпиндельного вузла приводу головного руху (рис.1.3) [1], який розміщений у шпиндельній бабці 6, включає шпиндель 5, змонтований на передній опорі із трьох кулькових радіально-упорних підшипників 8 та задній опорі із двох кулькових радіально-упорних підшипників 7.

На шпинделі 5 встановлений жорстко диск 4 з розміщеними по його периферії пазами 3. У ці паз може входити клин 2, який з'єднаний жорстко із штоком гідроциліндра 1.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

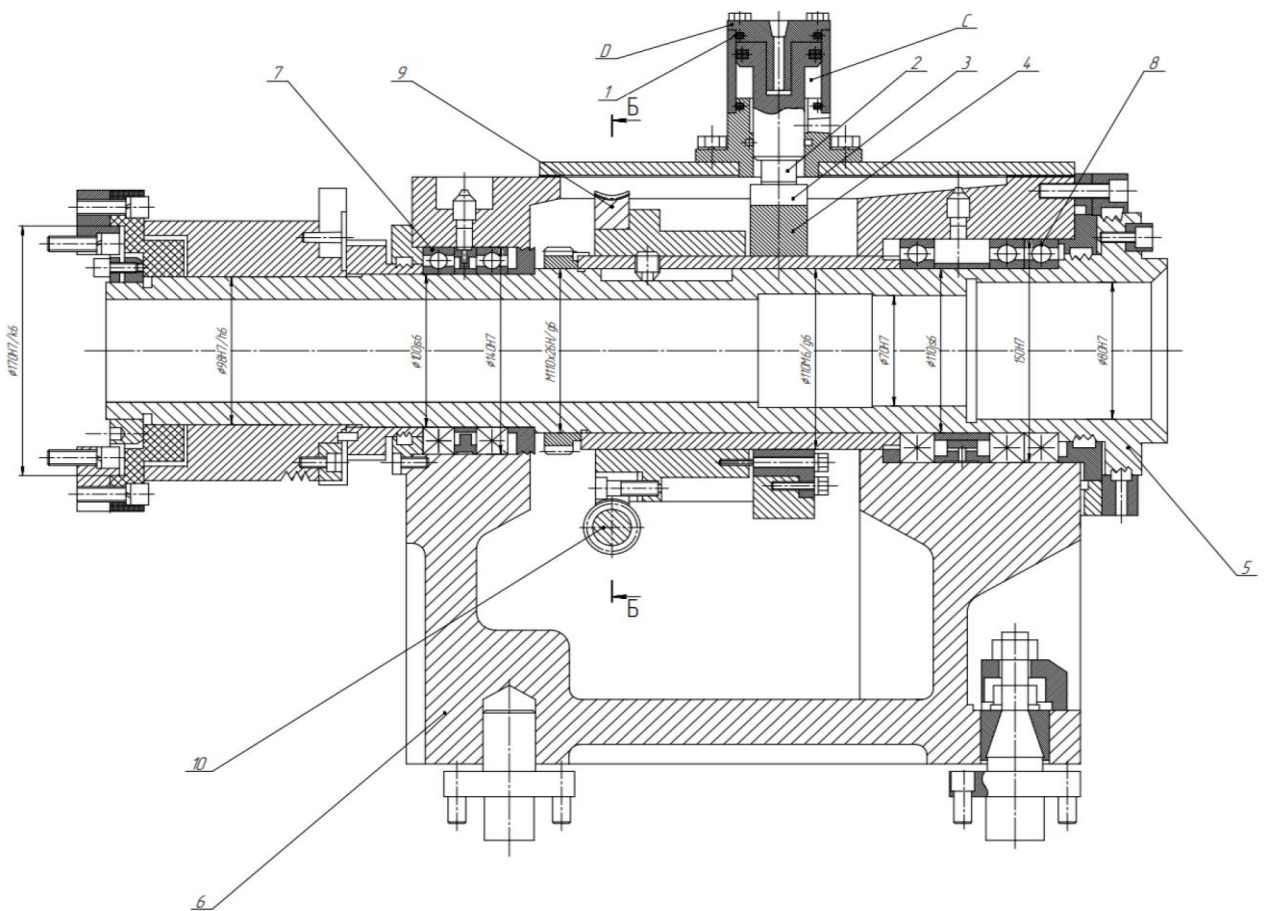


Рисунок 1.3 – Шпиндельна бабка токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 з механізмом фіксації шпинделя

На циліндричній втулці шпинделя 5 розташоване черв'ячне колесо 9, яке входить в зачеплення з черв'яком 10. На кулькових радіально-упорних підшипниках 11 і 12 установлений черв'як 10 (рис. 1.4). Він через кронштейн 13 жорстко зв'язаний з штоком 14 гідроциліндра 15. Введення та виведення черв'яка 10 контролюється датчиком положення 16. Обертання черв'яка 10 забезпечується високомоментним електродвигуном 17 через циліндричну зубчасту передачу.

Коли електродвигун головного руху вимкнений (початкове положення) черв'як 10 знаходиться у зачепленні з черв'ячним колесом 9. При цьому тиск подається в камеру А гідроциліндра 15, а камера В з'єднана зі зливною магістраллю. Клин 2, жорстко приєднаний до гідроциліндра 1 (рис. 1.3) знаходиться у верхньому положенні. При цьому камера D з'єднана зі зливом, а тиск живлення подається в камеру С гідроциліндра 1. При подачі тиску живлення в камеру D гідроциліндра 1 його поршень разом із приєднаним жорстко клином 2

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

1.2 Призначення приводів кутового позиціонування та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК

На основі технологічного аналізу дуже велика кількість деталей типу тіл обертання (майже 70%) потребують виконання додаткових технологічних операцій [2-4].

До таких технологічних операцій відносяться (рис. 1.5):

- операції обробки отворів з використанням осьового інструменту (свердління, розточування, зенкерування, розвертання, обробка різьби); осі таких отворів на деталях типу тіл обертання можуть бути розташовані перпендикулярно, паралельно, або під кутом до центральної осі;

- фрезерні операції для виготовлення лисок, пазів, шліців зубів під різними кутами

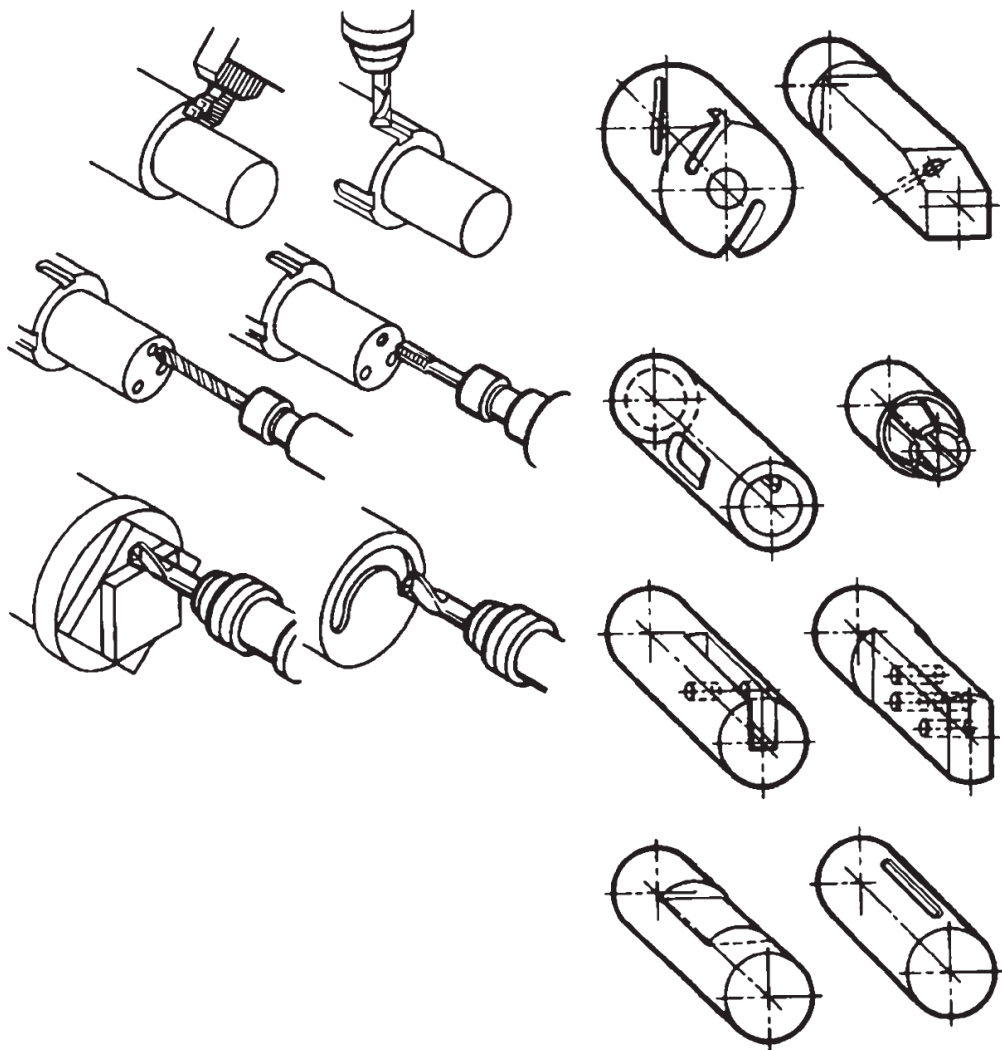


Рисунок 1.5 – Додаткові технологічні операції на деталях типу тіл обертання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

13

- операції об'ємної фрезерної обробки (обробка фрезеруванням порожнин змінної глибини, канавок та кулачків різного профілю, багатогранників, тощо).

Для виконання таких операцій необхідно використовувати багатоцільові токарні верстати з ЧПК, які мають бути оснащені приводом кутового позиціонування головного шпинделя (привід по координаті С) та механізмами його фіксації. Окрім того такі верстати повинні мати пристрої для обертання осьового та фрезерного інструменту, що вмонтовані в інструментальні системи (інструментальні шпиндельні вузли, револьверні головки, та ін.) [2-4].

Залежно від умов обробки привід кутового позиціонування шпинделя повинен забезпечувати [2-4]:

- дискретний (позиційний) поворот з дискретністю $1...2^\circ$;
- безперервне обертання (з керуванням по осі С) із частотою обертання $0,2...0,25 \text{ хв}^{-1}$ та дискретністю приблизно рівною $0,001^\circ$.

При обробці поперечних або поздовжніх площин, позацентрових отворів, прямолінійних пазів використовується дискретний режим позиціонування шпинделя. При цьому шпиндель після повороту на певний кут жорстко фіксується для проведення подальшої обробки [2-4].

Для контурної обробки складних поверхонь (фасонних пазів, профілів кулачків, канавок та інших) використовується режим безперервного обертання. У цьому випадку привід позиціонування головного шпинделя повинен забезпечувати також і дискретний поворот на заданий кут [2-4].

1.3 Аналіз приводів кутового позиціонування та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК

1.3.1 Приводи кутового позиціонування шпинделя від двигуна приводу головного руху

Принципова схема приводу кутового позиціонування шпинделя від двигуна приводу головного руху приведена на рис. 1.6 [2-4]. Такий привід забезпечує

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

обертання шпинделя при виконанні токарних операцій (головний рух), а також може забезпечувати режим дискретного позиціонування, або неперервного позиціонування для контурної обробки. Для контролю положення шпинделя служить енкодер зворотного зв'язку 5 роторного типу. Регульований привідний двигун 3 через поліклінопасову передачу 4 і зубчасту циліндричну передачу 2-7 передає рух на шпиндель 1.

Привід містить електромагнітне гальмо 6, яке може працювати у двох режимах:

- режим підгальмовування, що забезпечує вибірку зазорів у кінематичному ланцюгу приводу при здійсненні контурної обробки;
- режим позиціонування і фіксації в заданому положенні шпинделя.

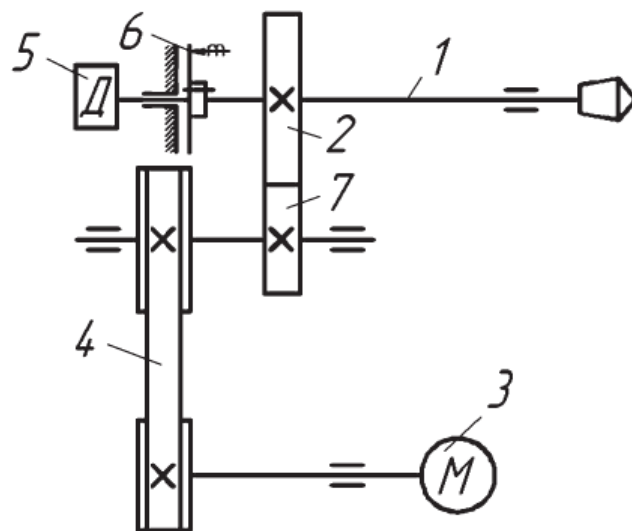


Рисунок 1.6 – Привод кутового позиціонування шпинделя від двигуна приводу головного руху

Конструкція шпиндельної бабки токарного багатоопераційного верстату з ЧПК, яка містить пристрої для забезпечення кутового позиціонування шпинделя від двигуна приводу головного руху та пристрій фіксації, приведена на рис. 1.7 [5].

Для забезпечення режиму підгальмовування або фіксації шпинделя шпиндельна бабка оснащена дисковим гальмівним пристроєм. Він містить гальмівний диск 9, який встановлений на приводному шківі 4 поліклінопасової передачі через перехідний фланець 8. Шків 4 розташований на задньому кінці

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

головного шпинделя 2. На спеціальному кронштейні, що прикріплений гвинтами до корпусу шпиндельної бабки 1 встановлений супорт 11 дискового гальма, в якому розташовані опозитно два гідроциліндри з плунжерами. Керування роботою гідроциліндрів здійснюється від системи ЧПК через гідропанель.

Кутове положення головного шпинделя контролюється за допомогою датчика положення 13 роторного типу. Ротор датчика обертається від шпинделя через зубчату пасову передачу із шківками 5 та 12. Шків 5 зубчато-пасової передачі приєднаний до привідного шківка шпинделя 2.

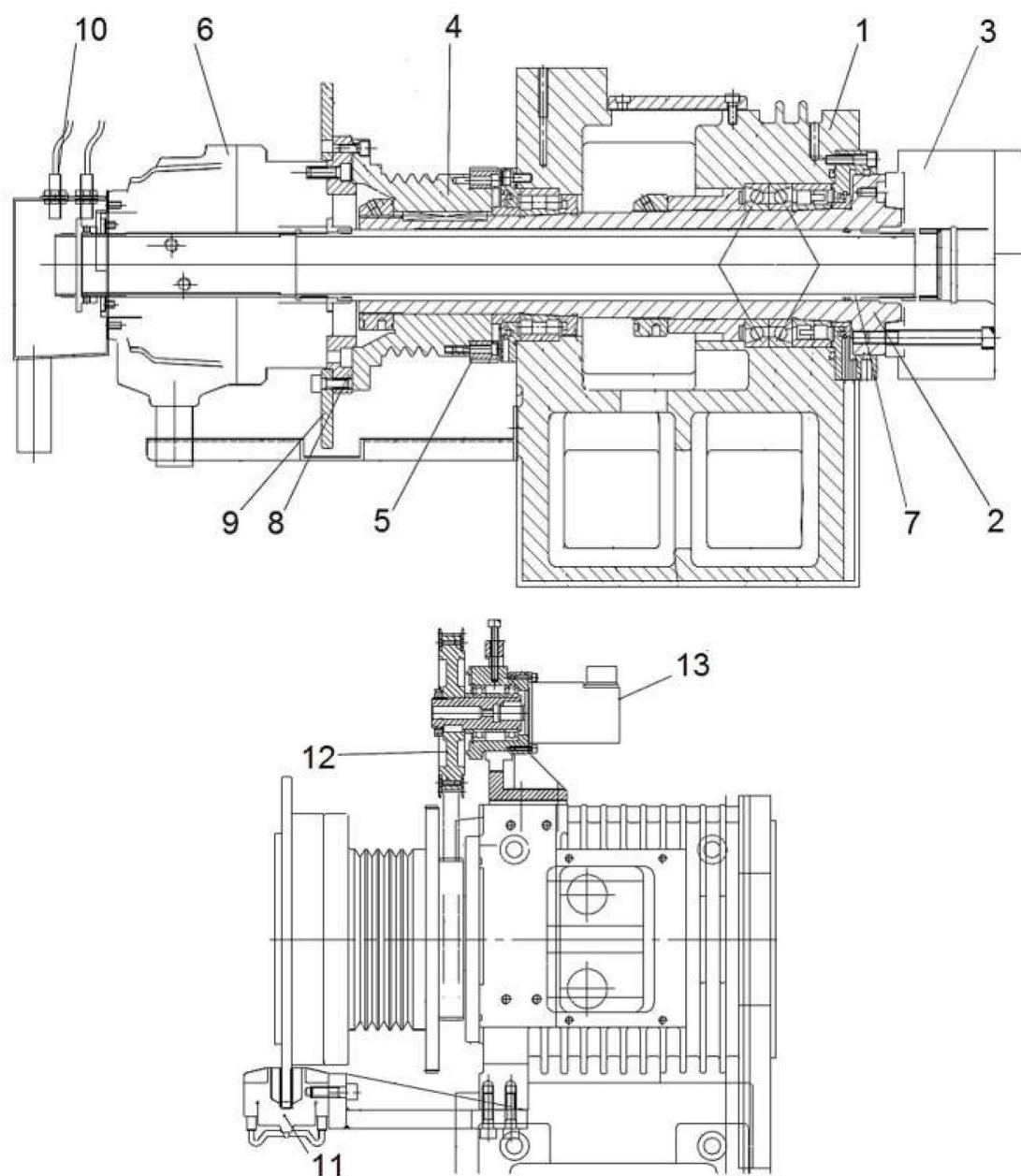


Рисунок 1.7 – Конструкція шпиндельної бабки із датчиком положення шпинделя та дисковим гальмівним пристроєм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

Шпиндельна бабка з мотор-шпинделем токарного багатоопераційного верстату з ЧПК, який забезпечує кутове позиціонування і фіксацію шпинделя, приведена на рис. 1.8 [5].

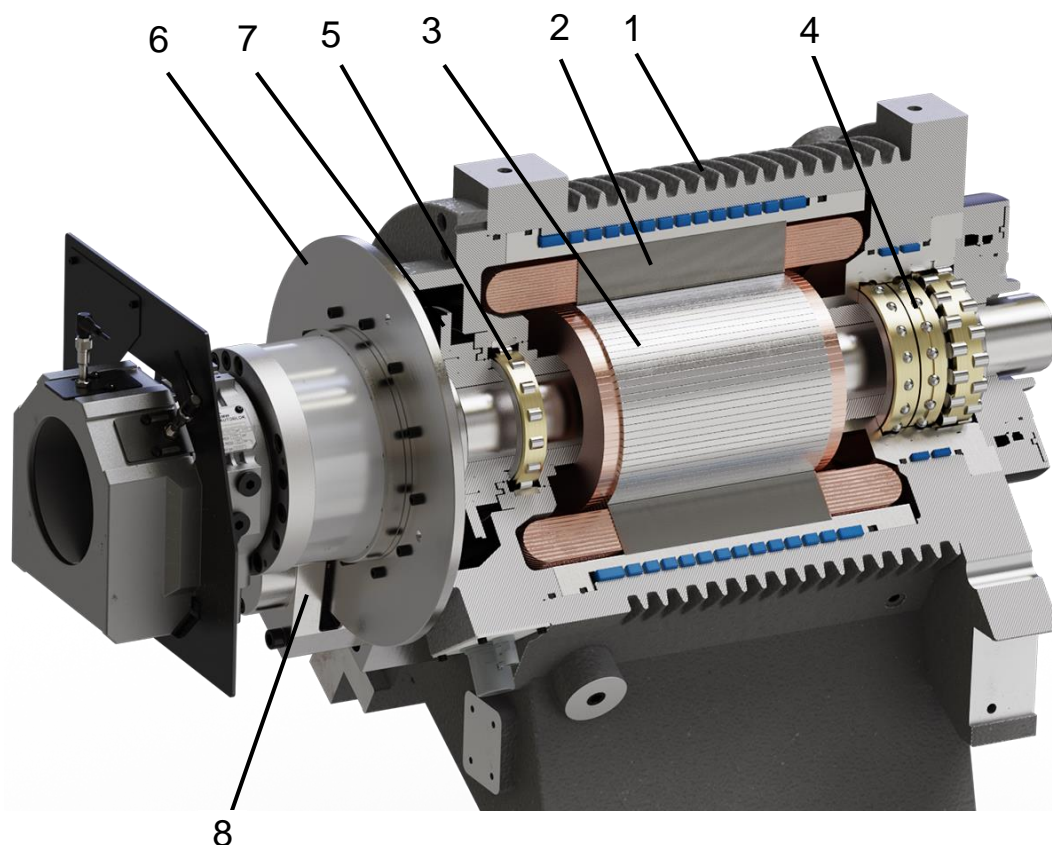


Рисунок 1.8 – Моторизований шпиндель, який забезпечує кутове позиціонування і фіксацію шпинделя

У корпусі 1 шпиндельної бабки на опорах кочення 4 і 5, встановлених у передньому і задньому фланцях, змонтований шпиндель із ротором 3 привідного двигуна. Привід обертання шпинделя виконаний у вигляді вмонтованого частотно-регульованого асинхронного двигуна, який складається із ротора 3, та статора 2, встановленого в алюмінієвій гільзі, що базується в корпусі 1.

Контроль кутового положення шпинделя здійснюється за допомогою магніторезистивної вимірювальної, що складається з магнітного барабана 7 та вимірювальної головки.

Для фіксації шпинделя в певному положенні служить дискове гальмо, яке складається гальмівного диска 6, який встановлений на задньому кінці шпинделя, та супорта 9 з розташованими опозитно двома гідроциліндрами з плунжерами.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

1.3.2 Приводи кутового позиціювання шпинделя від окремого сервоприводу

Сервоприводи позиціювання шпинделя зазвичай використовуються у багатоопераційних токарних верстатах з ЧПК середнього та великого розмірів [2-4]. Для виконання токарних операцій використовується привод головного руху з потужним двигуном, а для кутового позиціювання – малопотужний серводвигун [2-4]. На відміну від конструкцій приводів кутового позиціювання шпинделя від двигуна приводу головного руху такий привід забезпечує високу точність і надійність, але його конструкція складніша.

Включення-відключення сервоприводу для позиціювання шпинделя може здійснюватися:

- за допомогою вбудованих електромагнітних муфт або муфт зубчастого типу, що спрацьовують від сигналів системи ЧПК;
- зчепленням-розчепленням кінематичних пар, які зв'язують серводвигун зі шпинделем верстата.

Принципова схема приводу обертання шпинделя 7 від двох двигунів (головного та серводвигуна) приведена на рис. 1.9 [2-4]. Обертання шпинделя в режимі головного руху для виконання токарних операцій здійснюється регульованим електродвигуном 8 приводу головного руху через пасову поліклінопасову передачу 9.

Позиціювання шпинделя здійснюється від регульованого електричного серводвигуна 2 з вмонтованим датчиком 1 кутового положення ротора. Рух на шпиндель від серводвигуна передається через циліндричні зубчасті пари коліс 3-4 і 5-6. Шпиндель оснащений датчиком кутового положення 11 роторного типу та електромагнітним гальмівним пристроєм 10. Для вмикання-відключення режиму позиціювання шпинделя використовується пересувне в осьовому напрямку зубчате колесо 5. Зубчате колесо 5 переміщується окремим електричним чи гідропневмоприводом, що спрацьовує від команд системи ЧПК. Контроль кутового положення зубчатих коліс 5 і 6 здійснюється датчиками 1 і 11. Такий контроль

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

потрібен для виключення можливості попадання зуба на зуб при включенні приводу для здійснення позиціонування шпинделя. Для фіксації шпинделя в режимі позиціонування служить гальмо 10, яке також забезпечує вибірку зазорів при безперервному позиціюванні по координаті С (режим «підгальмовування»).

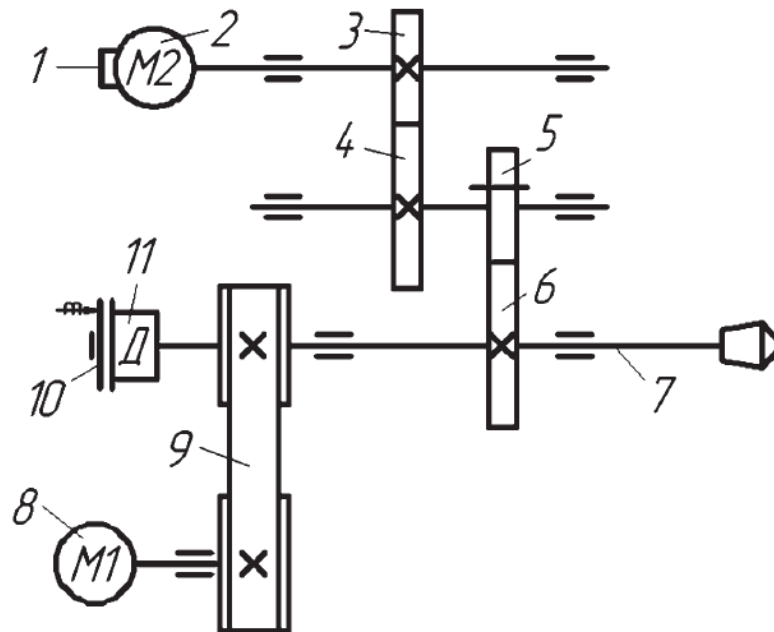


Рисунок 1.9 – Кінематична схема приводу позиціонування шпинделя від серводвигуна через ковзну шестерню

На рис. 1.10 приведено схему приводу позиціонування шпинделя 1 по полярній координаті С токарного багатоопераційного верстата з ЧПК. Привід позиціонування шпинделя розміщений на поворотному важелі 3, переміщення якого здійснюється від гідроциліндра 4. У положенні, коли циліндричні шестерні 5 і 6 знаходяться в зачепленні рух від серводвигуна 2 на шпиндель 1 передається через зубчасте колесо 5 та колесо 6, закріплене на шпинделі 1. Для виключення попадання зуба на руб зубчастих коліс 5 і 6 служить датчик роторного типу 10 серводвигуна, який контролює кутове положення колеса 5. У крайніх положеннях важіль 3 взаємодіє з упорами, а його положення контролюється кінцевими вимикачами. У приводі позиціонування шпинделя може використовуватися серводвигун з хвильовим редуктором. Для забезпечення головного руху служить регульований електродвигун 8 з вмонтованим датчиком контролю положення 7, який через пасову передачу 9 передає рух на шпиндель 1.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

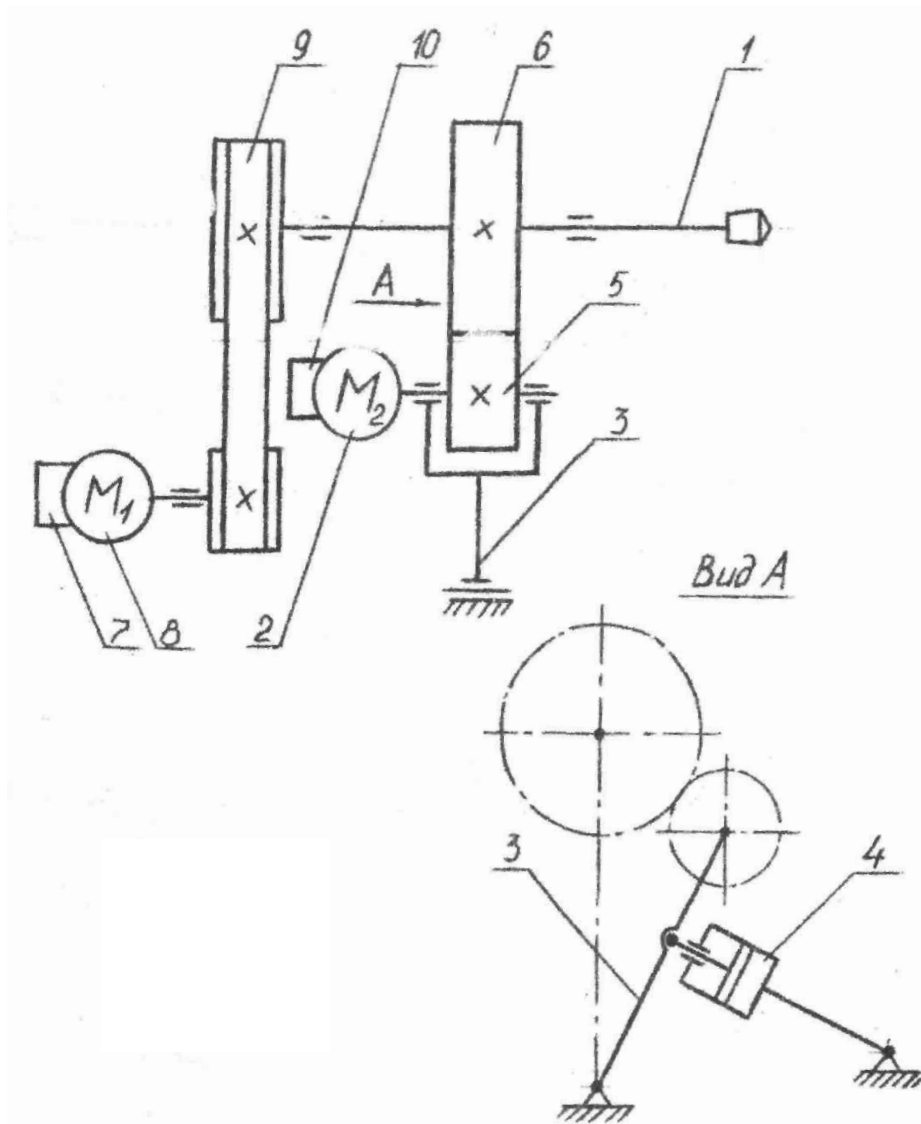


Рисунок 1.10 – Кінематична схема приводу позиціювання шпинделя розміщеного на важелі

Кінематична схема приводу позиціювання шпинделя з кутовим переміщенням черв'яка приведена на рис. 1.11. Сервопривід кутового позиціювання шпинделя розміщений у підвісці 2, закріпленої на корпусі бабки шпиндельної 3 токарного багатоопераційного верстата з ЧПК. Переміщення корпусу 4 приводу позиціювання шпинделя здійснюється за допомогою гідروциліндра 5. У крайніх положеннях приводу, контрольованих кінцевими вимикачами, корпус 4 взаємодіє з упорами, один з яких у положенні «зчеплено» виконаний регульованим. Позиціювання шпинделя 1 здійснюється від серводвигуна 2 з вмонтованим датчиком контролю положення його валу 7 через черв'ячну передачу 8. Головний рух шпинделя 1 здійснюється від регульованого

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

електродвигуна 10 з вмонтованим датчиком контролю положення 11 через пасову передачу 9.

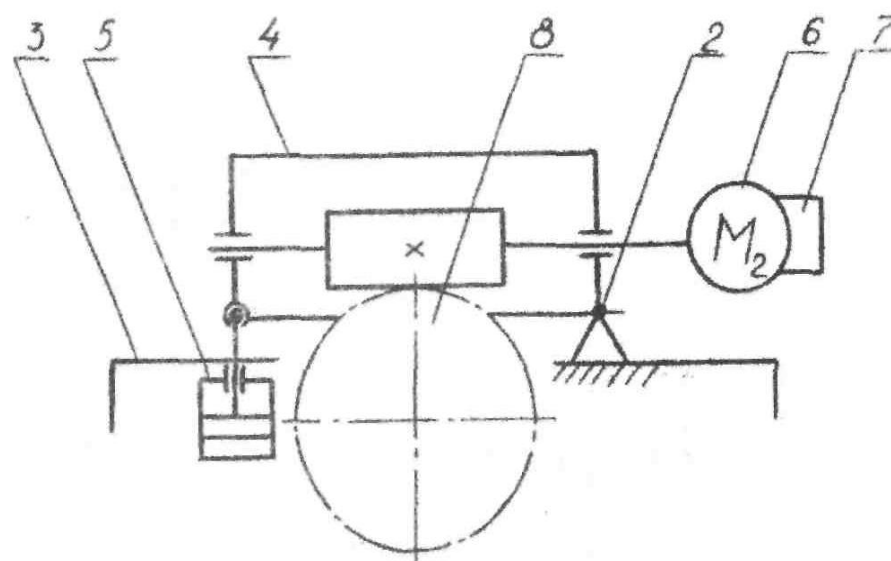
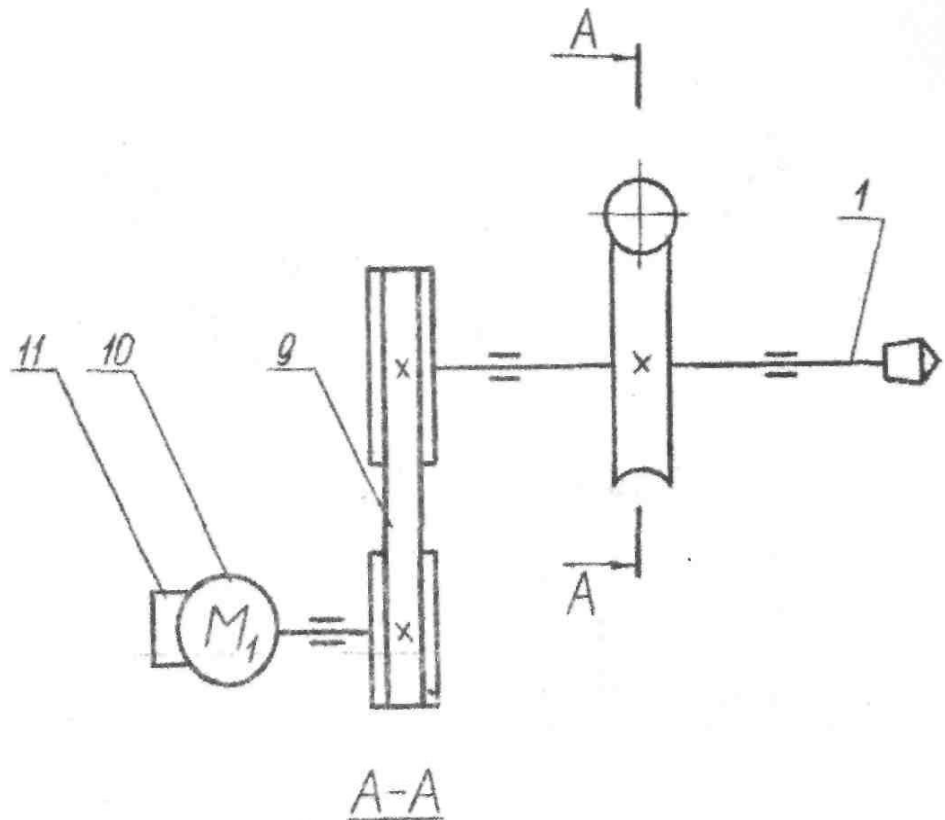


Рисунок 1.11 – Кінематична схема приводу позиціювання шпинделя розміщеного на підвісці

На рис. 1.12 приведено автономний вузол 2 кінематично зв'язаний зі шпинделем 1 за допомогою пари черв'як-черв'ячне колесо 3-4, що роз'єднується.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

Кутове переміщення вузла 2 відносно осі 5 здійснюється в автоматичному режимі механізмом повороту приводу полярної координати 6, виконаному у вигляді уніфікованого вузла, який забезпечує введення в зачеплення черв'яка 5, кінематично зв'язаного з приводом вузла 2.

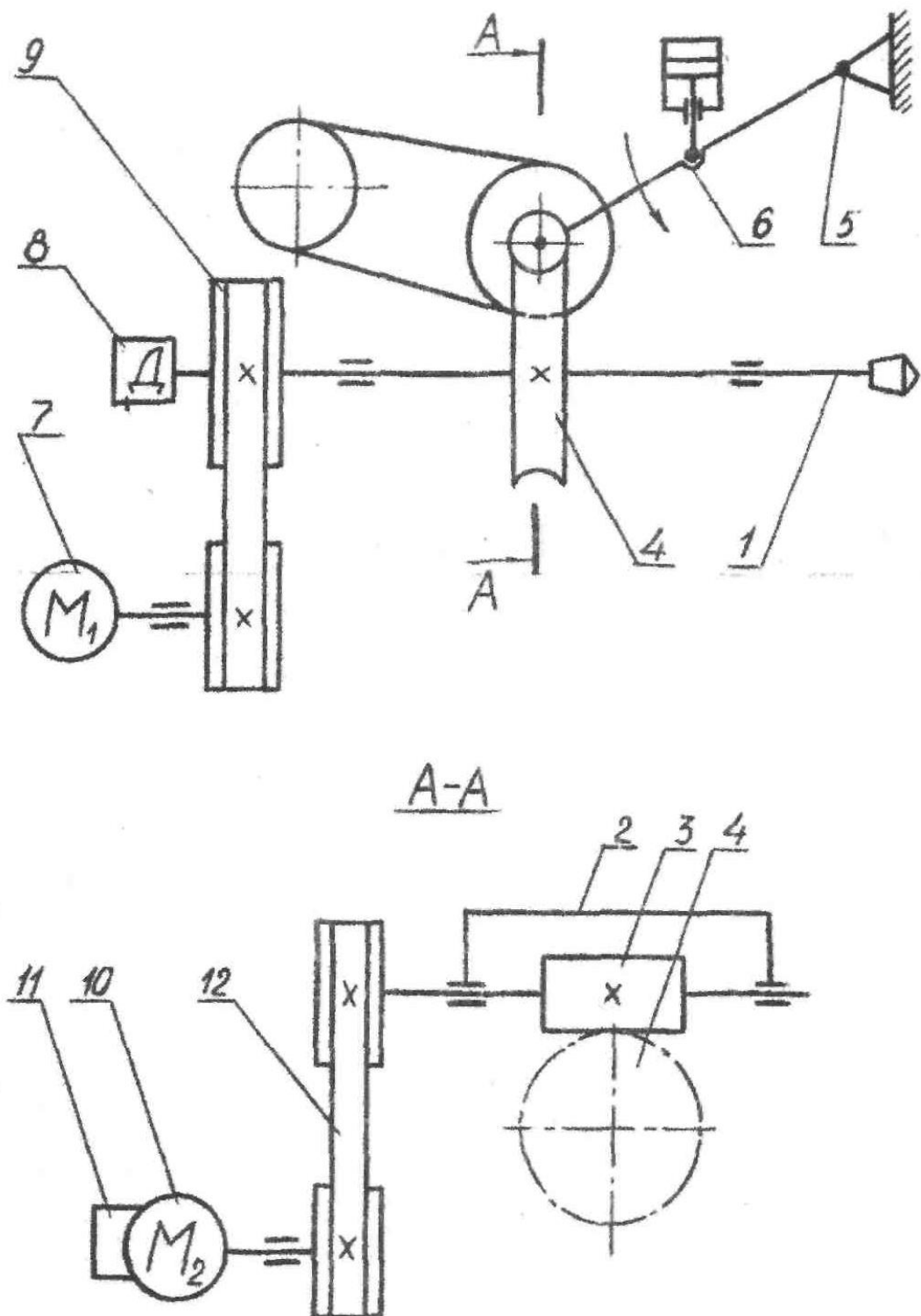


Рисунок 1.12 – Кінематична схема приводу позиціювання шпинделя з кутовим поворотом черв'яка

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

22

Включення приводу позиціювання шпинделя блокується кінцевими вимикачами при «втиканні» вершин зубів черв'яка 3 та черв'ячного колеса 4.

Режим зчеплення здійснюється при повільному обертанні приводу 2 що дозволяє гарантовано забезпечити надійне зчеплення черв'ячної пари 3-4. Положення «зачеплено» фіксується датчиком кутового положення шпинделя 8.

Позиціювання шпинделя 1 здійснюється від серводвигуна 10 із вмонтованим датчиком контролю положення 11 через пасову передачу 12 та черв'ячну пару 3-4. За рахунок самогальмування черв'ячної передачі відбувається фіксація шпинделя в певному положенні. Після завершення операцій периферійної обробки розчеплення черв'ячної 3-4 проводиться реверсуванням механізму 6, після чого поворотний корпус з вузлом 2 відводиться в положення «роз'єднано» за допомогою гідроциліндра.

Обертання шпинделя 1 для забезпечення головного руху здійснюється від регульованого електродвигуна 7 через пасову передачу 9.

Перевага такого варіанту приводу позиціювання: висока жорсткість, точність і надійність роботи.

На рис. 1.13 приведена схема приводу позиціювання шпинделя з лінійним переміщенням вузла останнього в положення «зачеплено» і «розчеплено».

Привід позиціювання містить регульований електричний серводвигун 2, проміжний редуктор 3 і черв'як 4, які розміщені в корпусі 5, що має можливість переміщення в напрямку, перпендикулярному осі шпинделя 1 верстата від гідроциліндра 6. При проведенні периферійної обробки черв'як 4 зачеплений із черв'ячним колесом 7, що жорстко закріплено на шпинделі.

Перед проведення токарної обробки привід позиціювання відключається за рахунок осьового переміщення корпусу 5 гідроциліндром; при цьому черв'як 4 виводиться із зачеплення з черв'ячним колесом 7.

Привід головного руху включає регульований електродвигун 9 із вмонтованим датчиком контролю положення 10 та зубчасту передачу.

Недолік такої схеми приводу позиціювання шпинделя – збільшені масові та габаритні характеристики шпиндельної бабки верстата.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

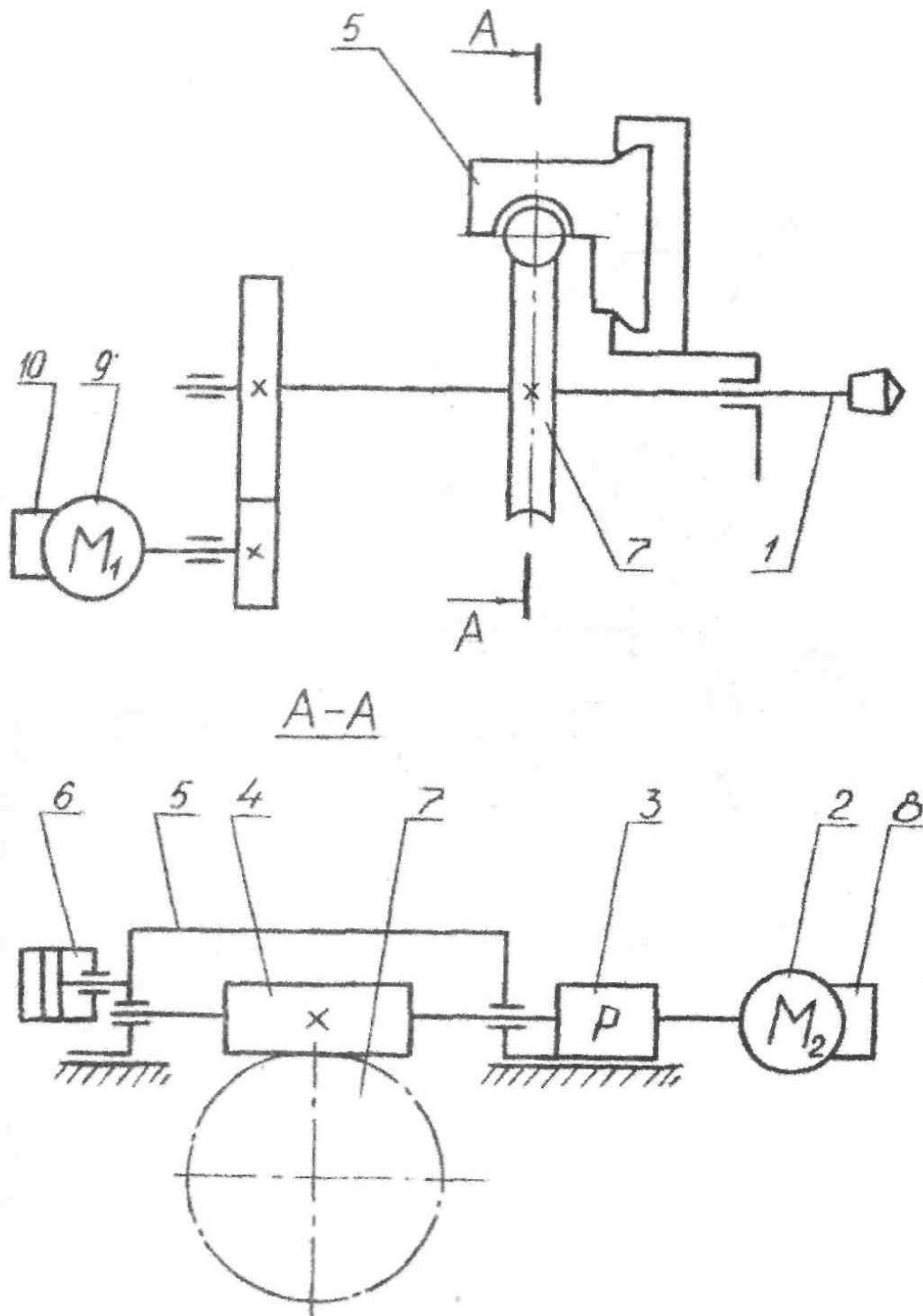


Рисунок 1.13 – Кінематична схема приводу позиціонування шпинделя з осьовим переміщенням черв'яка

Схема приводу позиціонування шпинделя на рис. 1.14 виконана у вигляді автономного вузла, що містить черв'ячний редуктор, розміщений у корпусі 2, вертикальні напрямні якого встановлені на кронштейні 3, закріпленому на шпиндельній бабці. На валу 5 черв'ячного колеса насаджено зубчасте колесо 6,

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

яке при переміщенні корпусу 2 за допомогою гідроциліндра 7 по напрямних у вертикальній площині вводиться в зачеплення з зубчастим колесом 8, яке закріплене на шпинделі 1.

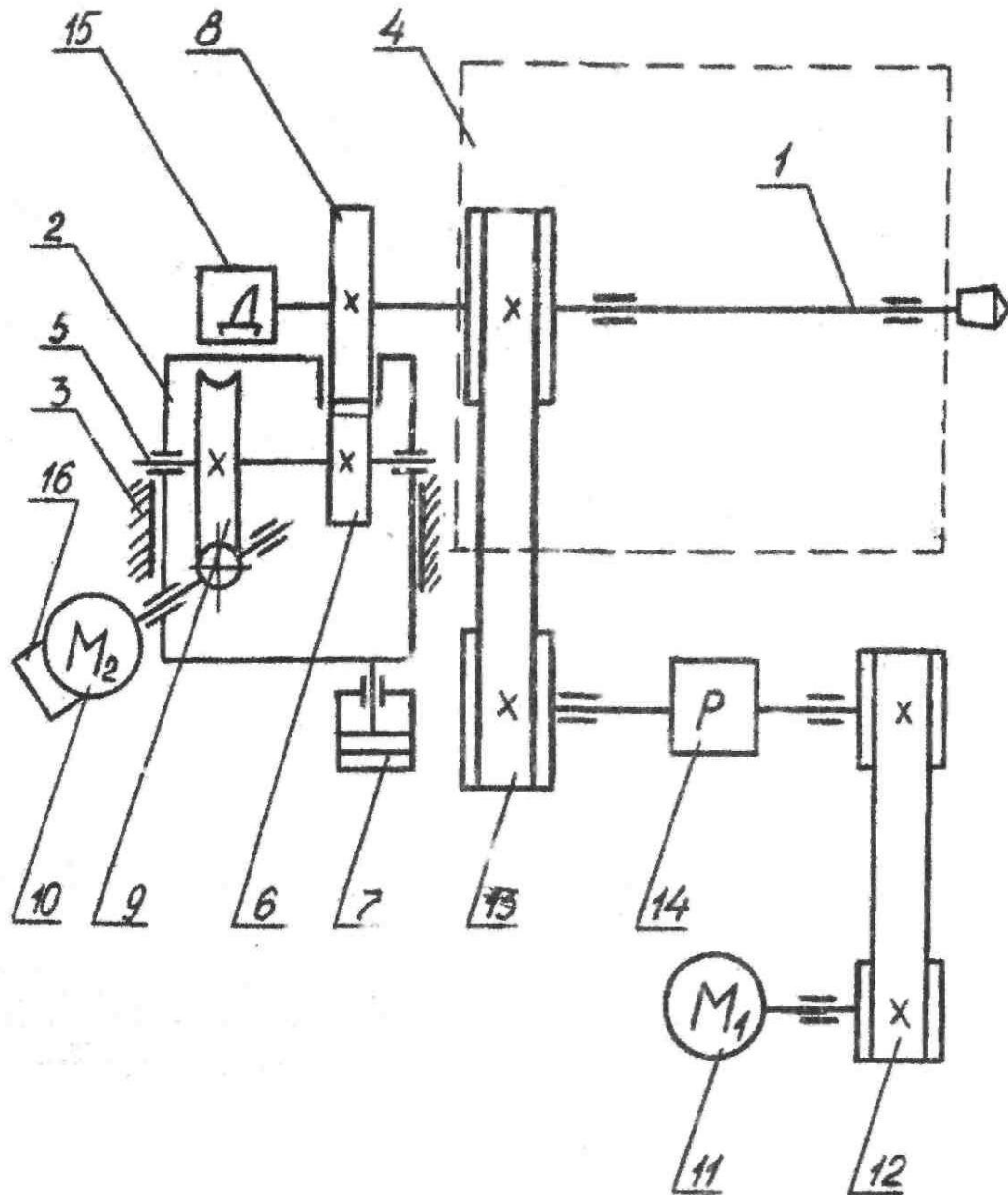


Рисунок 1.14 – Кінематична схема приводу позиціювання шпинделя, виконана у вигляді автономного вузла з черв'ячним редуктором

Позиціювання шпинделя 1 для позацентрової обробки здійснюється від електродвигуна 10, черв'ячної пари 9 та зубчастої пари 6-8. Крайні положення корпусу 2 контролюються кінцевим вимикачем. Обертання шпинделя для здійснення токарної обробки здійснюється від регульованого електродвигуна 11 через поліклінові пасові передачі 12, 13 і розширювальний редуктор 14. Контроль

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

кутових положень шпинделя 1 і шестерні 6 здійснюється за допомогою кругових датчиків 15 і 16, що виключає можливість попадання зуб на зуб пари коліс 8.

Переваги такої схеми: можливість регулювання величини люфту в кінцевій ланці передачі та черв'ячній парі, беззазорне з'єднання валу ротора електродвигуна з вхідним валом редуктора та черв'ячного колеса з вхідним валом.

1.4 Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Комплексна обробка деталей типу тіл обертання (валів, втулок, фланців, дисків) передбачає поєднання різних методів різання на одному токарному верстаті з ЧПК за один або мінімум установів [2-4]. Вона дозволяє забезпечити максимальну точність за рахунок виключення похибок базування, які виникають при переносі деталі між різними верстатами [2-4]. Окрім того, за рахунок зменшення кількості необхідного обладнання, персоналу та виробничої площі досягається зменшення вартості обробки. Скорочення тривалості виробничого циклу та відсутність міжопераційних запасів скорочує час виготовлення деталі [2-4].

Комплексна обробка вимагає відповідних приводів для забезпечення фіксованого та неперервного кутового позиціювання шпинделя.

При виборі конструктивного рішення приводу позиціювання і фіксації шпинделя слід брати до уваги такі фактори: типорозмір верстата; складність, жорсткість та точність роботи приводу; надійність роботи; габарити та металоємність приводу.

Недоліками конструкції механізму позиціювання та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 є такі:

- використання рухомого в осьовому напрямку черв'яка, який вкручується в черв'ячне колесо шпинделя для виконання команди для увімкнення кругової

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

подачі та його вигвинчування після завершення позиціонування шпинделя, приводить до ускладнення конструкції;

- збільшення часу циклу обробки деталі, що пов'язане з тихохідними рухами в приводі позиціонування шпинделя через процес вигвинчування черв'яка в черв'ячне колесо та його вигвинчування;

- погіршення динамічних характеристик шпиндельного вузла через наявність додаткової маси посередині шпинделя у вигляді масивного черв'ячного колеса і фіксуючого диску для фіксації шпинделя.

Тому модернізація механізму позиціонування та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 є важливою конструкторською задачею.

Метою роботи є модернізація приводу позиціонування та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК для комплексної обробки деталей шляхом введення в конструкцію сервоприводу з планетарним редуктором та гідравлічного механізму для його з'єднання (роз'єднання) із шпинделем.

Основні завдання:

1. Провести аналіз конструкції приводу обертання, позиціонування та фіксації шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК.
2. Описати призначення, область застосування приводів кутового позиціонування та фіксації шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК.
3. Провести аналіз конструктивних особливостей приводів кутового позиціонування шпинделя від двигуна приводу головного руху.
4. Провести аналіз конструктивних особливостей приводів кутового позиціонування шпинделя від окремого сервоприводу.
5. Провести аналіз деталі «Фланець», методи обробки поверхонь деталі та вибрати технологічні бази.
6. Розробити технологію механічної обробки деталі, вибрати металообробне обладнання. Розробити комплексну операцію на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

7. Вибрати різальний, вимірювальний інструмент та режими різання для комплексної операції на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК.

8. Розробити кінематичну схему модернізованого приводу позиціювання та фіксації шпинделя.

9. Провести кінематичний та силовий розрахунок приводу позиціювання шпинделя.

10. Здійснити вибір планетарного двоступеневого редуктора та регульованого синхронного серводвигуна; провести перевірочний розрахунок серводвигуна по динамічному крутному моменту.

11. Провести проектний та перевірочний розрахунок циліндричної зубчатої передачі приводу позиціювання шпинделя та розрахувати шпонкове з'єднання шестерні з вихідним валом планетарного редуктора.

12. Розробити конструкцію модернізованого приводу позиціювання шпинделя та пружинного блоку його включення (виключення).

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика об'єкту виробництва

Деталь «Фланець» (рис. 2.1) відноситься до деталей типу тіл обертання та за конструктивно-технологічним призначенням до групи «диски та фланці» (креслення деталі приведені у додатку 1).

Матеріаль деталі – високоякісна конструкційна вуглецева сталь Сталь 45 із вмістом вуглецю близько 0,45%. Дана сталь є однією із найпопулярніших і доступних сталей, яка цінується за високу міцність, твердість та хорошу оброблюваність.

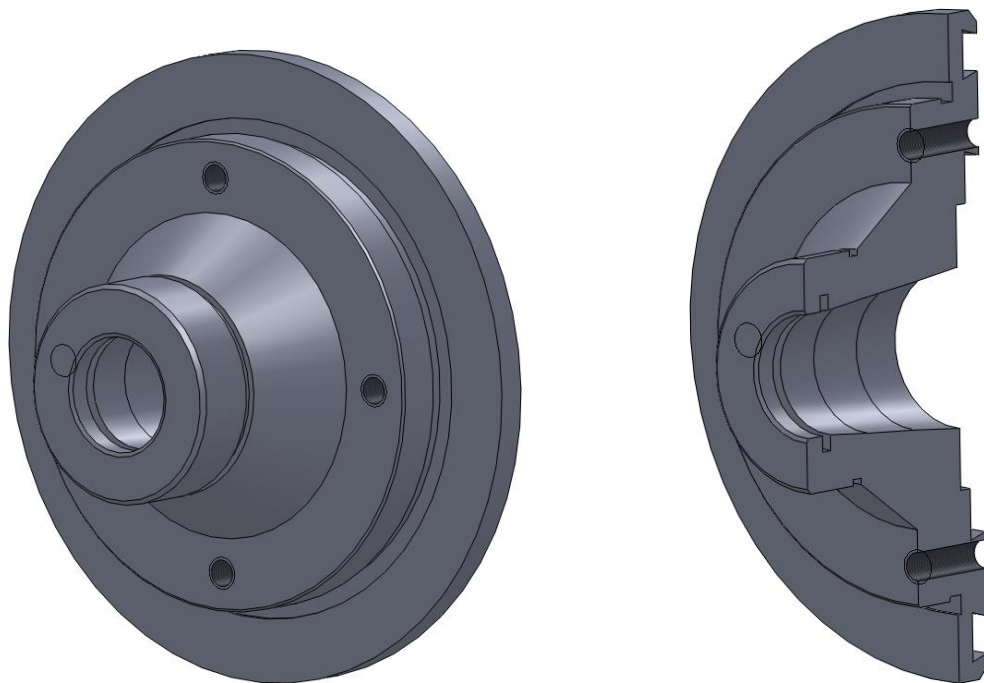


Рисунок 2.1 – 3D-модель об'єкту виробництва – деталі «Фланець»

Деталь має циліндричні зовнішні поверхні, які можуть використовуватися як бази на ряді технологічних операцій. Конструкція деталі дозволяє поєднати

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Олійник Б.Р.				Технологічний розділ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Волошин В.Н.					Н	29	13
Н. контр.	Кобельник В.Р.					ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Затв.	Крупа В.В.							

технологічну та вимірювальну бази, використовувати одні й самі бази для більшості технологічних операцій.

Деталь «Фланець» є технологічною, оскільки відповідає наступним вимогам:

- форми та розміри заготовки можуть бути максимально наближені до форми та розмірів деталі;

- при обробці деталі є можливість використовувати прохідні різці;

- жорсткість деталі забезпечує досягнення необхідної точності при обробці, тому що l/d менше 10...12.

Основні поверхні деталі «Фланець»:

- зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 203_{-0,046}$ з шорсткістю Ra 1,6;

- зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 95h8$ з шорсткістю Ra 2,5;

- торцева поверхня шириною 18h14 з шорсткістю Ra 2,5.

Усі решта поверхонь згідно креслення деталі повинні бути виконані по H14, h14 з шорсткістю Ra 6,3. Це може бути забезпечено чорновим точінням.

Способи обробки основних поверхонь деталі «Фланець» приведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 Методи обробки основних поверхонь деталі

№ п/п	Назва елементу	Квалітет точності	Шорсткість Ra, мкм	Спосіб обробки
1.	Циліндрична поверхня $\varnothing 203$	h8	1,6	Точіння чорнове; точіння чистове; кругле шліфування
2.	Циліндрична поверхня $\varnothing 95$	h8	2,5	Точіння чорнове; точіння чистове; кругле шліфування
3.	торцева поверхня шириною 18	h14	2,5	Точіння чорнове; точіння чистове

2.2. Вибір технологічних баз

Від вибору технологічних баз деталі «Фланець» буде залежати точність діаметральних та лінійних розмірів, що будуть одержуватися в процесі обробки,

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

продуктивність обробки, а також вибір інструментального оснащення та вимірювальних інструментів, а також пристосувань для токарної обробки шліфування та продуктивність обробки [7, 8].

Для першої токарної операції штампованої заготовки в якості чорнових баз будуть служити зовнішня циліндрична поверхня фланця $\varnothing 100$ мм та торцева поверхня (рис. 2.2).

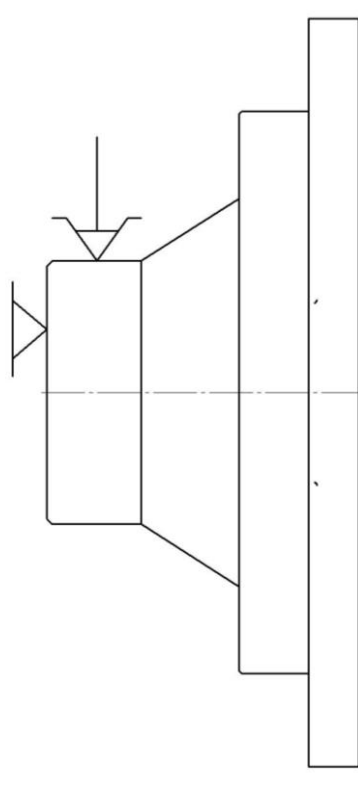


Рисунок 2.2 – Базування деталі на першій токарній операції з ЧПК

Для чистової обробки на токарних верстатах з ЧПК використовують схему базування по площині (опорний торець позбавляє трьох ступенів вільності) та циліндричній поверхні в патроні (позбавляє ще двох ступенів вільності). Це дозволяє забезпечити паралельність торців і строгу перпендикулярність головної осі.

Для другої токарної операції в якості чистових баз використовуються оброблена торцева поверхня деталі «Фланець» та зовнішня циліндрична поверхня фланця $\varnothing 270$ мм (рис. 2.3).

Ці самі базові поверхні будуть служити базами для виконання круглошліфувальної операції.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

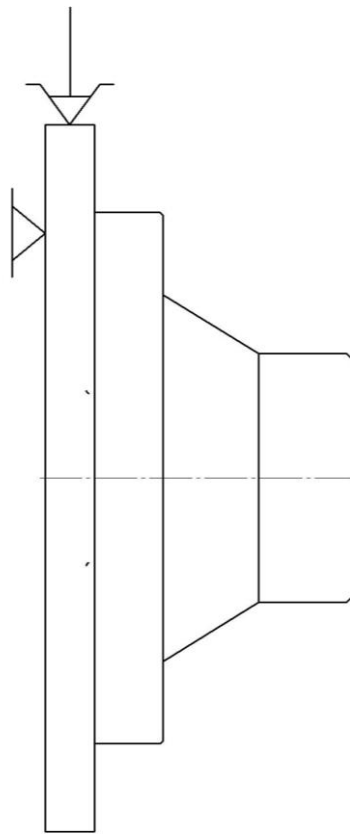


Рисунок 2.3 – Базування деталі на другій токарній операції з ЧПК та круглошліфувальній операції

2.3. Розробка технологічного маршруту механічного оброблення деталі

Розроблення технологічного маршруту механічного оброблення деталі «Фланець» здійснювалося згідно за рекомендаціями [7-11]. Розроблений технологічний маршрут оброблення деталі «Фланець» приведений у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Технологічний маршрут виготовлення деталі

№ операції	Назва технологічної операції	Зміст технологічної операції
010	Токарна з ЧПК	Обробити по програмі: торець та циліндричну поверхню $\varnothing 270$ мм напрохід, торцеву канавку $\varnothing 220$ мм, $\varnothing 250$ мм на глибину 9 мм, отвір до $\varnothing 115$ на глибину 15 мм, отвір до $\varnothing 152$ на глибину 9 мм; фаску $5 \times 45^\circ$; внутрішню конічну поверхню $\varnothing 65$ мм, $\varnothing 48$ мм на довжину 88 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

32

015	Комплексна з ЧПК	Обробити по програмі: торець та циліндричну поверхню Ø95,5 мм на довжину 34 мм; конічну поверхню з Ø95,5 мм до Ø140 мм; торець з Ø140 мм до Ø203,5 мм; циліндричну поверхню Ø203,5 мм на довжину 25 мм; торець з Ø203,5 мм до Ø270 мм; канавку з Ø95,5 мм до Ø91 мм шириною 5 мм; кутову канавку на Ø203,5 мм; отвір під різьбу Ø48 мм; внутрішню канавку з Ø48 мм до Ø54 мм шириною 5 мм; різьбу M52 на довжину 20 мм; 4 отв. Ø10,2 мм під різьбу напрохід; різьбу M12 у 4 отв.
020	Круглошліфувальна	Шліфувати поверхню Ø203 _{-0,046} та Ø95h8.

2.4. Вибір металообробного обладнання

Згідно доступного на ринку металообробного обладнання та рекомендацій [7-8] здійснюємо вибір металорізальних верстатів для виконання операцій технологічного процесу (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Металорізальні верстати для реалізації технологічного процесу

Номер операції	Назва операції	Назва і модель металорізального верстату
010	Токарна з ЧПК	Токарний патронно-центровий верстат з ЧПК мод. 16A20Ф3
015	Комплексна з ЧПК	Багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК мод. 1П420ПФ40
020	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний з ЧПК мод. 3М152ВМФ2

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

2.5. Розроблення комплексної операції на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК

2.5.1 Операційна технологія на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК

Токарна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання на багатоопераційному токарно-револьверному верстаті з ЧПК буде здійснюватися нерухомо закріпленим токарним інструментом у відповідних позиціях 12-ти позиційної револьверної головки. Для реалізації обробки позацентрових отворів на багатоопераційному токарно-револьверному верстаті з ЧПК будуть використані дві обертові інструментальні головки для свердла і мітчика, які мають бути встановлені в револьверну головку.

Зміст переходів комплексної операції з ЧПК приведений у табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Зміст переходів комплексної операції з ЧПК

Номер переходу	Зміст переходу
1	Підрізати торець на довжину 112 ^{-0,87} мм
2.	Точити поверхню контуру по програмі витримуючи розміри: Ø97 ^{-0,35} мм на довжину 34 мм; з Ø97 ^{-0,35} мм до Ø140 ^{-0,8} мм; з Ø140 мм до Ø205 мм витримуючи ширину 43 ^{-0,62} мм; Ø205 ^{-0,8} мм на довжину 25 мм; з Ø205 мм до Ø270 мм витримуючи ширину 18 ^{-0,43} мм
3.	Точити канавку по програмі витримуючи розміри: Ø91 мм; ширина 5 мм
4.	Точити канавку кутову канавку по програмі витримуючи розміри: Ø200 мм; Ø215 мм; ширина 5 мм
5.	Розточити отвір Ø48 ^{+0,25} мм по програмі напрохід та фаску з кутом 120°
6.	Розточити канавку по програмі витримуючи розміри: Ø54; ширина 5 мм

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

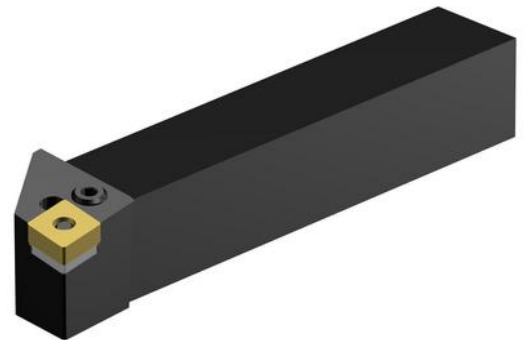
7.	Нарізати різьбу M52 на довжину 20 мм по програмі
8	Точити поверхню по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 95,5_{-0,087}$ мм на довжину 34 мм
9.	Точити поверхню по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 203,5_{-0,115}$ мм на довжину 25 мм
10.	Свердли 4 отв. $\varnothing 10,2$ мм
11.	Нарізати різьбу у 4 отв. M12

2.5.2 Вибір різального інструменту та вимірювального інструменту

Різальний інструмент, який буде використовуватися на комплексній операції з ЧПК, повинен мати високу стійкість та забезпечувати точність та якість оброблених поверхонь, а також забезпечувати високу продуктивність обробки. Токарний інструмент, свердла та мітчики такого світового виробника, як Sandvik Coromant, повністю задовільняє ці вимоги [12-19]. Різальні інструменти фірми Sandvik Coromant для комплексної операції з ЧПК приведені у табл. 2.5

Таблиця 2.5 Вибраний різальний інструмент

Номер переходу	Зміст переходу	Різальний інструмент
1	Підрізати торець на довжину $112_{-0,87}$ мм	Різець токарний серії T-Max P PCLNR2525M з ромбічною пластиною CNMG120408 з твердого сплаву GC4425 [12]

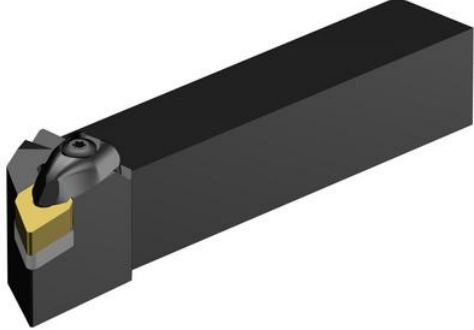
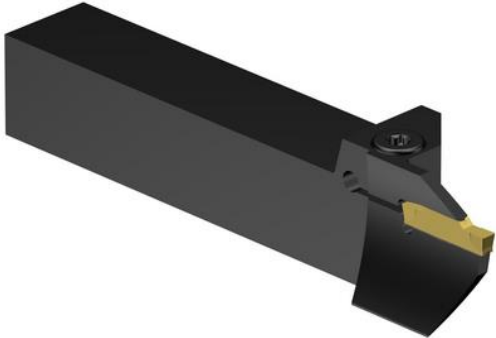
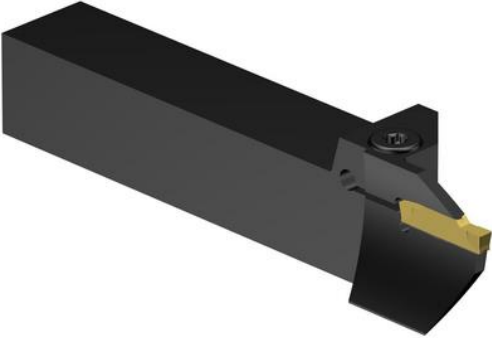


Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

35




2	Точити поверхню контуру по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 97_{-0,35}$ мм на довжину 34 мм; з $\varnothing 97_{-0,35}$ мм до $\varnothing 140_{-0,8}$ мм; з $\varnothing 140$ мм до $\varnothing 205$ мм витримуючи ширину $43_{-0,62}$ мм; $\varnothing 205_{-0,8}$ мм на довжину 25 мм; з $\varnothing 205$ мм до $\varnothing 270$ мм витримуючи ширину 18.043 мм	Різець токарний серії T-Max P DDJNR2525M з ромбічною пластиною DNMG 15 06 08-PM з твердого сплаву GC4425 [13] 
3.	Точити канавку по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 91$ мм; ширина 5 мм	Різець канавочний серії CoroCut 1-2 LF123H25-2525B-064B з пластиною C2I-H2N-0400-0002-CO1135 з твердого сплаву GC4325 [14] 
4.	Точити канавку кутову канавку по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 200$ мм; $\varnothing 215$ мм; ширина 5 мм	Різець канавочний серії CoroCut 1-2 LF123H25-2525B-064B з пластиною C2I-H2N-0400-0002-CO1225 з твердого сплаву GC4325 [14] 

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

5.	Розточити отвір $\text{Ø}48^{+0,25}$ мм по програмі напрохід та фаску з кутом 120°	Різець розточний R429U-A20-23070 TC09A з пластиною TCGT 09 02 02L-K 1625 з твердого сплаву 1625 [156] 
6.	Розточити канавку по програмі витримуючи розміри: $\text{Ø}54$; ширина 5 мм	Різець для розточування канавки T-Max Q-Cut RAG151.32-20Q-20 з пластиною N151.3-185-20-4G з твердого сплаву 1125 [16] 
7.	Нарізати різьбу M52 на довжину 20 мм по програмі	Різець різьбовий серії CoroThread 266 RKF-25-16-R з пластиною 266RL-16MM02A150M з твердого сплаву 1135 [17] 

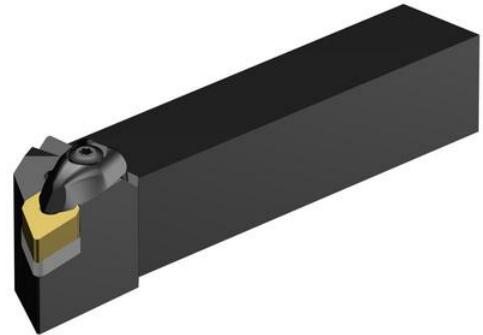
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

37

8	Точити поверхню по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 95,5_{-0,087}$ мм на довжину 34 мм	Різець токарний серії T-Max P DDJNR2525M з ромбічною пластиною DNMG 15 06 08-PM з твердого сплаву GC4425 [13]
9.	Точити поверхню по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 203,5_{-0,115}$ мм на довжину 25 мм	
10.	Свердлити 4 отв. $\varnothing 10,2$ мм	Свердло спіральне серії CoroDrill® 860-PM 860.1-1020-037A0-PM P1BM з твердого сплаву GC4234 [18]
11.	Нарізати різьбу у 4 отв. M12	Мітчик серії CoroTap™ 200 T200-PM100AA-M12 із швидкорізальної сталі HSS-E-PM з покриттям TiAlN [19]



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

38

Для комплексної операції з ЧПК здійснено вибір наступного вимірювального інструменту [20, 21]:

- штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ166-80;
- штангенциркуль цифровий ШЦЦ-I 300 (0-300) 0,01
- мікрометр МК-225 ГОСТ 6507-90;
- мікрометр МК-100 ГОСТ 6507-90;
- різьбовий калібр-пробка М52 6Н;
- різьбовий калібр-пробка М12 6Н.

2.5.3 Вибір режимів різання

Для вибраних у п. 2.5.2. різальних інструментів фірма Sandvik Coromant рекомендує наступні режими обробки [12-19]: швидкість різання V , м/хв; подача S , мм/об. Глибина різання визначається із припусків на чорнову і чистову токарну обробку. Для свердління глибина різання рівна $D/2$, де D – діаметр свердла.

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою [9]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.} \quad (2.1)$$

Вибрані режими різання для виконання комплексної операції з ЧПК приведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Вибрані режими різання для виконання комплексної операції з ЧПК

Номер переходу	Найменування і короткий зміст переходу	t , мм	S , мм/об	V , м/хв	n , об/хв
1.	Підрізати торець на довжину 112 _{-0,87} мм	1,5	0,15	220	720
2.	Точити поверхню контуру по програмі витримуючи розміри:				

	Ø97 _{-0,35} мм на довжину 34 мм;	1,5	0,15	220	720
	з Ø97 _{-0,35} мм до Ø140 _{-0,8} мм;	1,5	0,15	220	500
	з Ø140 мм до Ø205 мм витримуючи ширину 43 _{-0,62} мм;	1,5	0,15	220	340
	Ø205 _{-0,8} мм на довжину 25 мм;	1,5	0,15	220	342
	з Ø205 мм до Ø270 мм витримуючи ширину 18 _{-0,43} мм	1,5	0,15	220	260
4.	Точити канавку по програмі витримуючи розміри: Ø91 мм; ширина 5 мм	5	0,08	160	525
5.	Точити канавку кутову канавку по програмі витримуючи розміри: Ø200 мм; Ø215 мм; ширина 5 мм	5	0,08	160	235
6.	Розточити отвір Ø48 ^{+0,25} мм по програмі напрохід та фаску з кутом 120°	1,0	0,1	220	1460
7	Розточити канавку по програмі витримуючи розміри: Ø54; ширина 5 мм	5	0,06	160	940
8	Нарізати різьбу М52 на довжину 20 мм по програмі	0,2	1,5	120	730
9.	Точити поверхню по програмі в розміри: Ø95,5. 0,087 мм на довжину 34 мм	0,75	0,1	350	1160

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

10	Точити поверхню по програмі витримуючи розміри: $\varnothing 203,5_{-0,115}$ мм на довжину 25 мм	0,75	0,1	350	545
11	Свердлити 4 отв. $\varnothing 10,2$ мм	5,1	0,2	110	3430
12	Нарізати різьбу у 4 отв. М12	-	1,75	20	530

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Головний рух здійснюється від регульованого привідного електродвигуна постійного струму 1, який через та поліклінову пасову передачу 2, 3, 4 передає рух на шпindel 5, на якому розташований трикулачковий механізований токарний патрон 6. Приведення в дію кулачків токарного патрона здійснюється через трубу затиску від обертового гідравлічного циліндра 7. Контроль положення шпинделя здійснюється оптичним датчиком кругового типу 11. Рух від шпинделя на датчик 11 передається через передачу зубчатим пасом 8, 9, 10.

Привід позиціонування шпинделя 4 здійснюється від регульованого синхронного електродвигуна 13, вал якого за допомогою муфти 14 з'єднаний із двоступеневим планетарним редуктором. Перший ступінь редуктора включає вхідну шестерню Z1, яка передає рух трьом планетарним шестерням (сателітам) Z2, що обкочуються по нерухомій шестерні внутрішнього зачеплення Z3. В результаті обкочування шестерень Z2 рух передається до водила, на якому закріплена центральна шестерня Z4 другого ступеня. Центральна шестерня Z4 другого ступеня, яка приводиться в рух водилом першого ступеня, передає рух трьом планетарним шестерням (сателітам) Z5. В результаті обкочування шестерень Z5 по нерухомій шестерні внутрішнього зачеплення Z6 рух передається до водила другого ступеня. Водило другого ступеня служить виходом з редуктора. На вихідному валу двоступеневого планетарного редуктора розташоване зубчате циліндричне зубчате колесо 16, яке для здійснення позиціонування шпинделя вводиться у зачеплення із зубчатим колесом 17, що жорстко закріплене на шпинделі 5.

Включення (виключення) режиму позиціонування шпинделя здійснюється при зачепленні (розчепленні) зубчатих коліс 16 та 17 шляхом переміщення за допомогою гідроциліндра ГЦ2 платформи, на які розташовані синхронний електродвигун, планетарний редуктор та зубчате колесо 16. Для точного попадання зубів колеса 16 у впадини зубчастого колеса 17 служать датчик роторного типу електричного серводвигуна 13, який контролює кутове положення колеса 16, та оптичний датчик кругового типу 11, що контролює кутове положення шпинделя із жорстко закріпленим колесом 17.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

Для фіксації шпинделя служить гальмівний диск, який виконаний за одне ціле із зубчатим колесом 17. Він взаємодіє із гальмівними колодками, що спрацьовують через кулачок та систему важелів від гідроциліндра ГЦ1.

3.2 Кінематичний та силовий розрахунок приводу позиціонування шпинделя

Для здійснення кінематичного та силового розрахунку модернізованого приводу позиціонування шпинделя вихідними даними будуть кінематичні та силові параметри приводу позиціонування шпинделя токарно-револьверного багатоцільового верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40:

- точність позиціонування шпинделя по осі С – 2';
- мінімальна дискретність задання координати – до 0,001°;
- швидкість позиціонування в шпинделя в задану точку – 30 об/хв;
- діапазон робочих кругових подач – 0,01 до 3600°/хв;
- номінальний крутний момент на шпинделі – 150 Н·м.

На основі кінематичного аналізу приводу позиціонування шпинделя токарно-револьверного багатоцільового верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 його загальне передавальне число рівне:

$$u = u_1 \cdot u_2 = (36/30) \cdot (84/1) = 100,$$

де u_1 – передавальне число зубчатої передачі;

u_2 – передавальне число черв'ячної передачі.

Приймаємо для модернізованого приводу позиціонування шпинделя передавальне число $u = 100$.

Виходячи із кінематичної схеми модернізованого приводу позиціонування шпинделя його загальне передавальне число рівне:

$$u = u_{\text{пр}} \cdot u_{\text{зп}}, \quad (3.1)$$

де $u_{\text{пр}}$ – передавальне число планетарного редуктора;

$u_{\text{зп}}$ – передавальне число зубчатої передачі.

В якості редуктора будемо використовувати планетарний двоступеневий

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

редуктор стандартної серії типу HPG фірми Harmonic Drive Systems [22].
Виберемо такого типу редуктор із передавальним числом $u_{\text{пр}} = 33$ [22].

Тоді передавальне число зубчастої передачі:

$$u_{\text{зп}} = u / u_{\text{пр}} = 100/33 \approx 3. \quad (3.2)$$

Номінальна частота обертання на виході планетарного редуктора:

$$n_{\text{пр}} = n \cdot u_{\text{зп}} = 30 \cdot 3 = 90 \text{ об/хв.} \quad (3.3)$$

Номінальна частота обертання на валу регульованого синхронного електродвигуна:

$$n_{\text{ном дв}} = n \cdot u = 30 \cdot 100 = 3000 \text{ об/хв.} \quad (3.4)$$

Номінальний крутний момент на виході планетарного редуктора:

$$M_{\text{пр ном}} = M_{\text{ном}} / u_{\text{зп}} = 150/3 = 50 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (3.5)$$

Номінальний крутний момент на валу регульованого синхронного електродвигуна:

$$M_{\text{дв ном}} = M_{\text{ном}} / u = 150/100 = 1,5 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (3.6)$$

3.3 Вибір планетарного двоступеневого редуктора

Планетарний двоступеневий редуктор стандартної серії HPG фірми Harmonic Drive Systems (рис. 3.2) складається із корпусу 1, в який жорстко блок 7 із вінцями внутрішнього зачеплення першої і другої ступені передач із компенсацією люфту. У корпусі редуктора 1 на радіальному кульковому підшипнику 3 встановлений вхідний вал 2 із з'єднувальною муфтою, до якого жорстко приєднана центральна шестерня 4 першої ступені. Вона знаходиться в зачепленні із сателітами 5 першої ступені, які обертаються на голчастих підшипниках осей 6 сателітів, що жорстко встановлені у водило 8 першої ступені із центральною шестернею другої ступені. Центральна шестерня другої ступені взаємодіє із сателітами 9 другої ступені. Вони обертаються на голчастих підшипниках осей 10 сателітів, що запресовані у водило 11 із вихідним приєднувальним фланцем другої ступені. Водило 11 із вихідним приєднувальним фланцем встановлене на підшипнику 12 з короткими циліндричними роликами.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

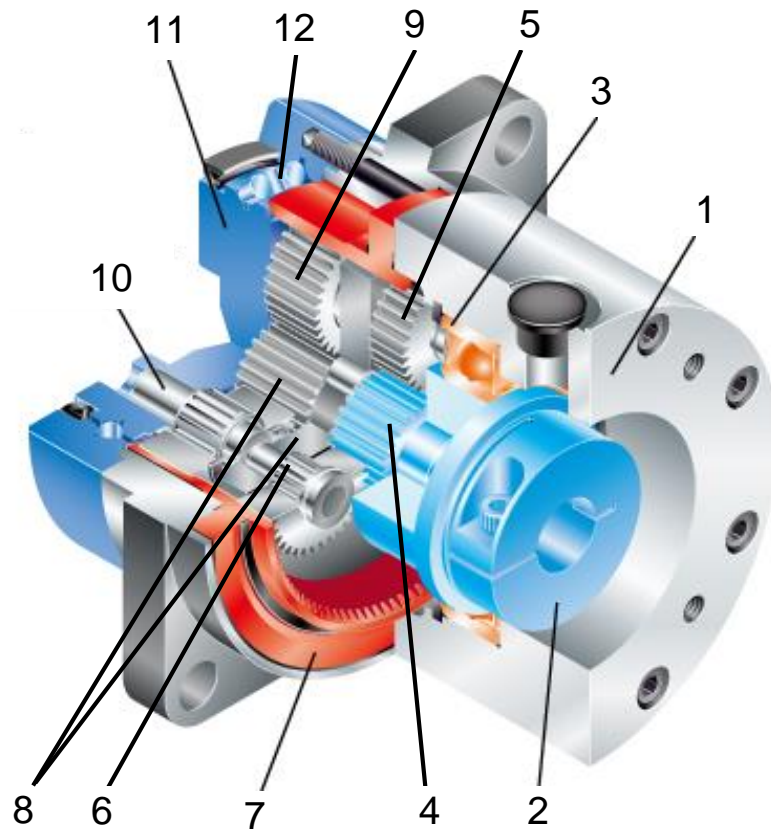


Рисунок 3.2 – Конструкція планетарного двоступеневого редуктора стандартної серії HPG фірми Harmonic Drive Systems

За передавальним числом $i_{пр}$ та номінальним крутним моментом на виході редуктора $M_{пр}$ вибираємо планетарний двоступеневий редуктор стандартної серії мод. HPG 20A-33-BL1-Z-J6 фірми Harmonic Drive Systems [22] з наступними технічними характеристиками:

- передавальне число – 33;
- номінальний крутний на виході момент – 60 Н·м;
- граничне значення повторюваного пікового крутного моменту – 117 Н·м;
- граничне значення миттєвого крутного моменту – 217 Н·м;
- максимальна середня вхідна частота обертання – 3000 об/хв;
- максимальна вхідна частота обертання – 6000 об/хв;
- момент інерції редуктора – $0,45 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Габаритні та приєднувальні розміри двоступеневого редуктора стандартної серії мод. HPG 20A-33-BL1-Z-J6 фірми Harmonic Drive Systems приведені на рис.3.3 [22].

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

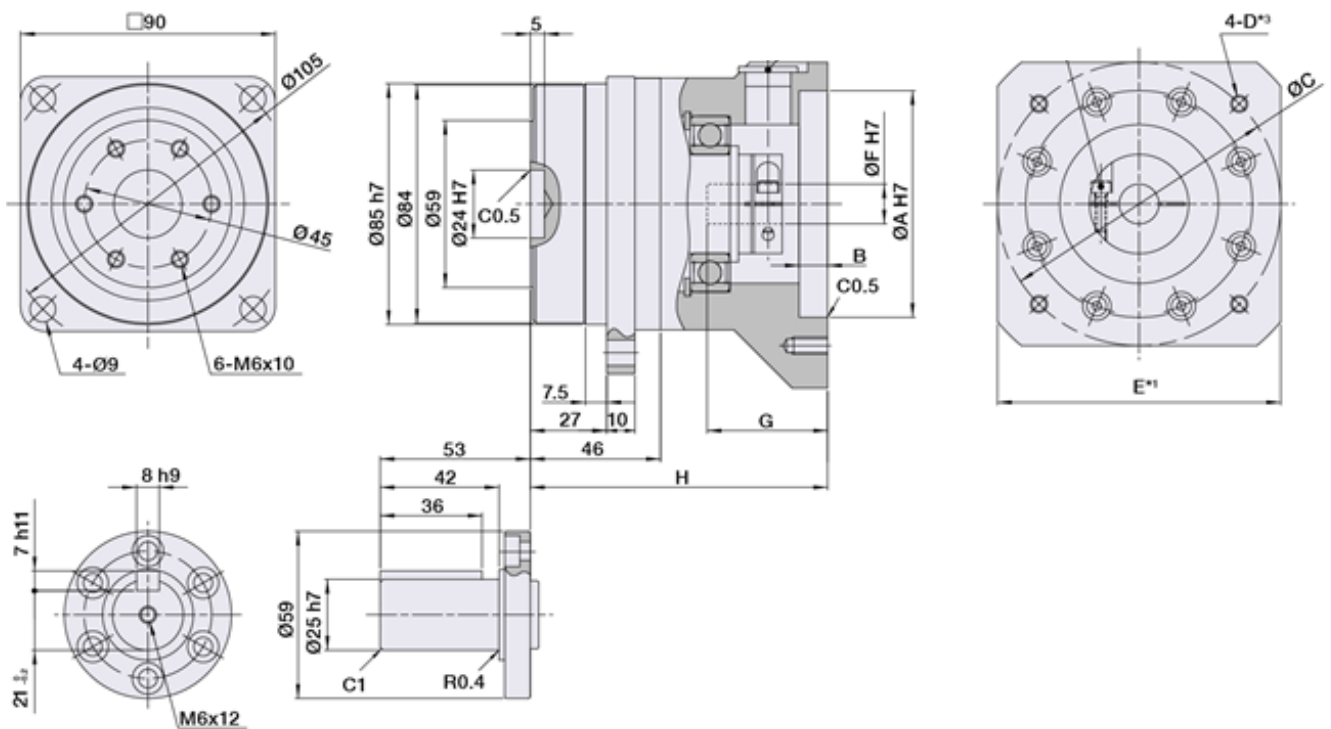


Рисунок 3.3 – Габаритні та приєднувальні розміри двоступеневого редуктора стандартної серії мод. HPG 20A-33-BL1-Z-J6 фірми Harmonic Drive Systems

3.4 Вибір та перевірочний розрахунок регульованого синхронного серводвигуна

В якості серводвигуна приводу позиціонування шпинделя оптимальним вибором є синхронний електродвигун серії 1FT6 фірми Siemens. Це високодинамічний трифазний безколекторний електродвигун з постійними магнітами, який відрізняється компактністю, високою перевантажувальною здатністю та надзвичайною точністю позиціонування. Двигун комплектується вбудованим датчиком зворотного зв'язку (енкодером) та стоянковим гальмом.

За номінальною частотою обертання $n_{\text{ном}} \text{ д/в}$ та номінальним крутним моментом $M_{\text{дв ном}}$ на валу електродвигуна вибираємо синхронний електродвигун 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG [23] з наступними технічними характеристиками:

- номінальна частота обертання – 3000 об/хв;
- максимальна частота обертання – 7700 об/хв;
- номінальний крутний момент – 2,15 Н·м;

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

- максимальний крутний момент – 10 Н·м;
- оптимальна потужність – 0,68 кВт;
- номінальний струм – 1,7 А;
- максимальний струм – 7,7 А;
- кількість полюсів – 4;
- момент інерції (з гальмом) – $3,98 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Габаритні та приєднувальні розміри синхронного електродвигуна 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG приведені на рис.3.4 [23].

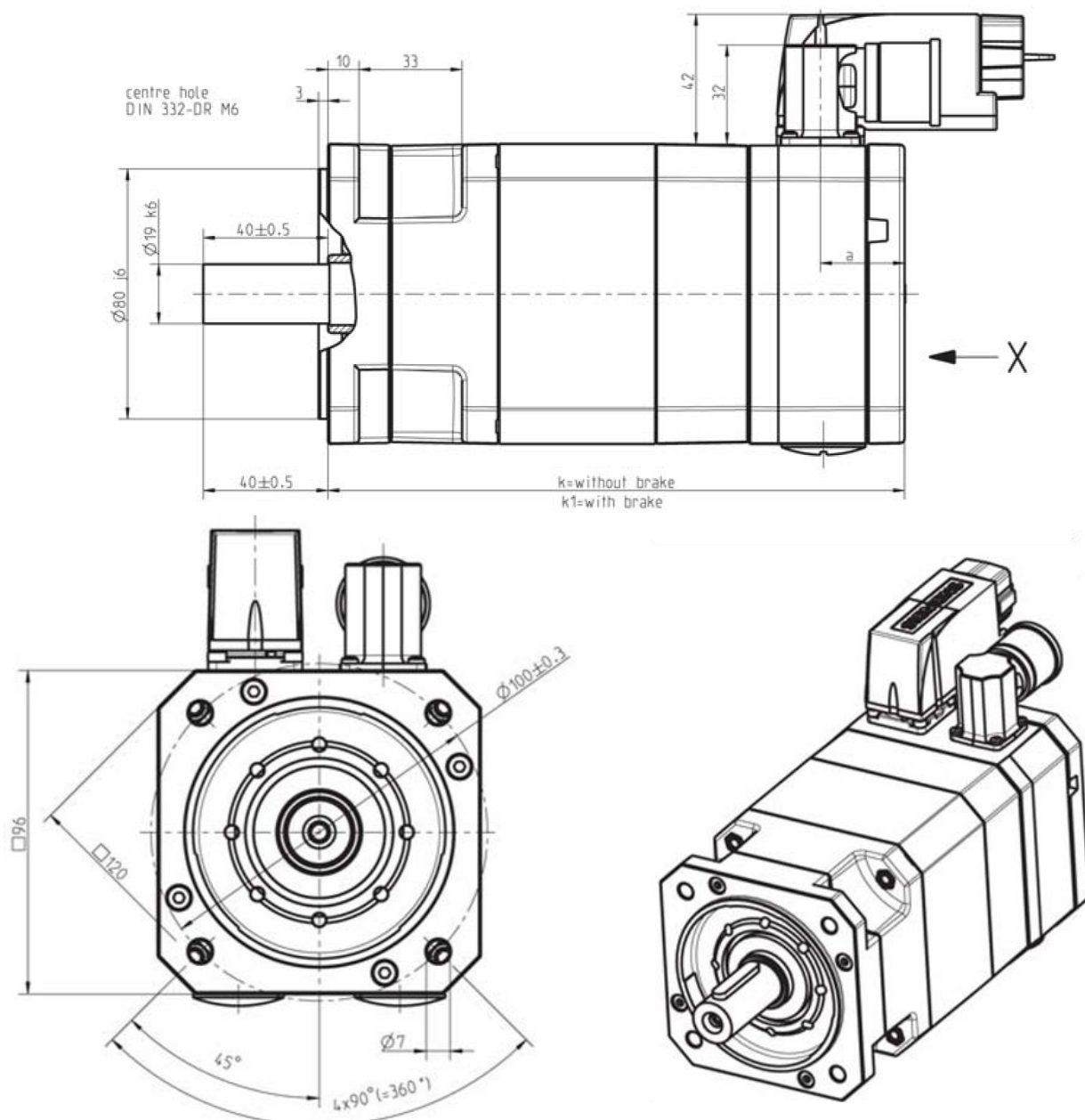


Рисунок 3.4 – Габаритні та приєднувальні розміри синхронного електродвигуна 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

Важливими характеристиками синхронного серводвигуна є зміна крутного моменту на його валу в залежності від частоти обертання для різних режимів роботи, графіки яких приведені на рис. 3.5.

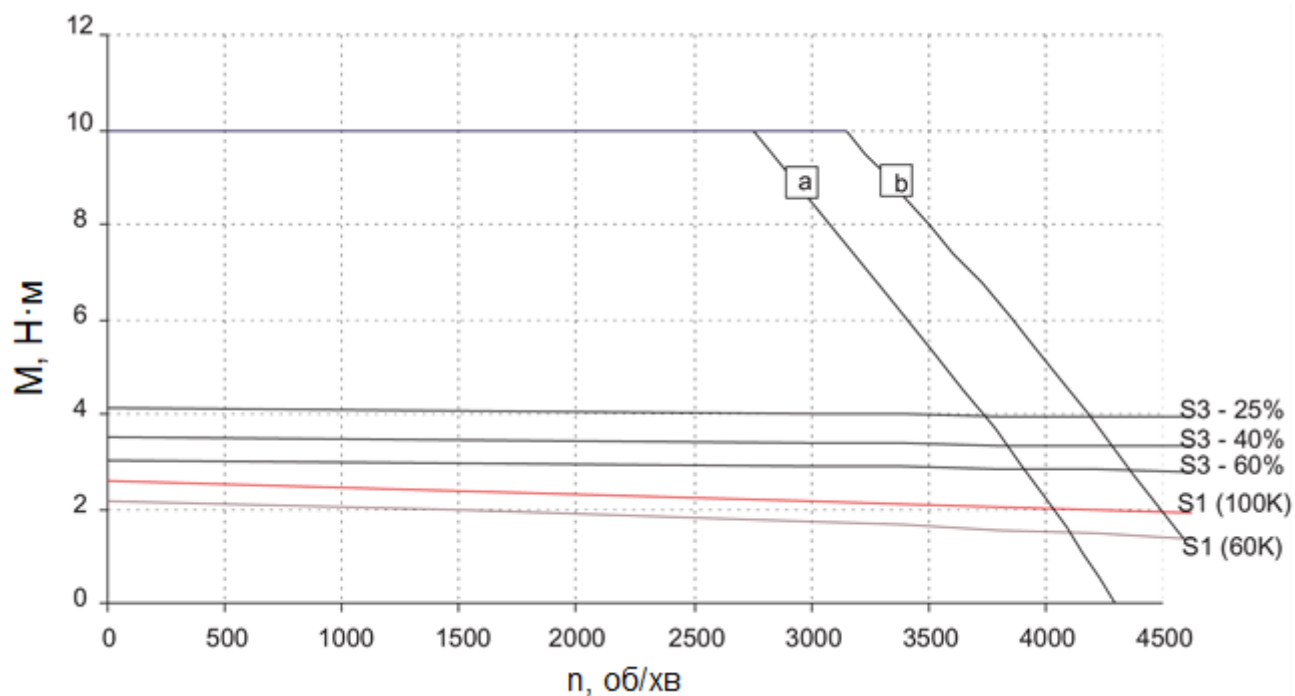


Рисунок 3.5 – Графіки зміни обертового моменту від частоти обертання на валу синхронного серводвигуна 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG

Визначимо моменту опору, що переборює серводвигун при розгоні в режимі дискретного позиціонування шпинделя.

Приведений до валу двигуна момент інерції:

$$J = J_{ш\sigma} + J_{пр} + J_{д} + J_{шес}, \quad (3.7)$$

де $J_{ш\sigma}$ – приведений до валу двигуна момент інерції шпинделя з шківками, гальмівним диском, токарним затискним патроном та обертовим гідроциліндром затиску;

$J_{пр}$ – приведений до валу двигуна момент інерції планетарного редуктора;

$J_{д}$ – момент інерції серводвигуна;

$J_{шес}$ – приведений до валу двигуна момент інерції привідної шестерні.

Момент інерції шпинделя з шківками, гальмівним диском, токарним затискним патроном та обертовим гідроциліндром затиску:

$$J_{шп} = J_{ш} + J_{шкв} + J_{шквз} + J_{гд} + J_{тп} + J_{гц}, \quad (3.8)$$

де $J_{ш}$ – момент інерції шпинделя;

$J_{шкв}$ – момент інерції шківки клинопасової передачі;

$J_{шквз}$ – момент інерції шківки зубчато-пасової передачі;

$J_{гд}$ – момент інерції гальмівного диска;

$J_{тп}$ – момент інерції токарного патрона;

$J_{гц}$ – момент інерції обертового гідроциліндра затиску.

Момент інерції токарного механізованого патрона мод. KFD H200 фірми RÖHM GmbH $J_{тп} = 0,038 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ [24].

Момент інерції обертового гідроциліндра затиску мод. SZS-65/157 фірми RÖHM GmbH $J_{гц} = 0,07 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ [24].

На основі розробленої 3D-моделі тіла шпинделя (рис. 3.6) токарно-револьверного багатоцільового верстату з ЧПК мод. 1П420ПФ40 його момент інерції $J_{ш} = 0,059 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

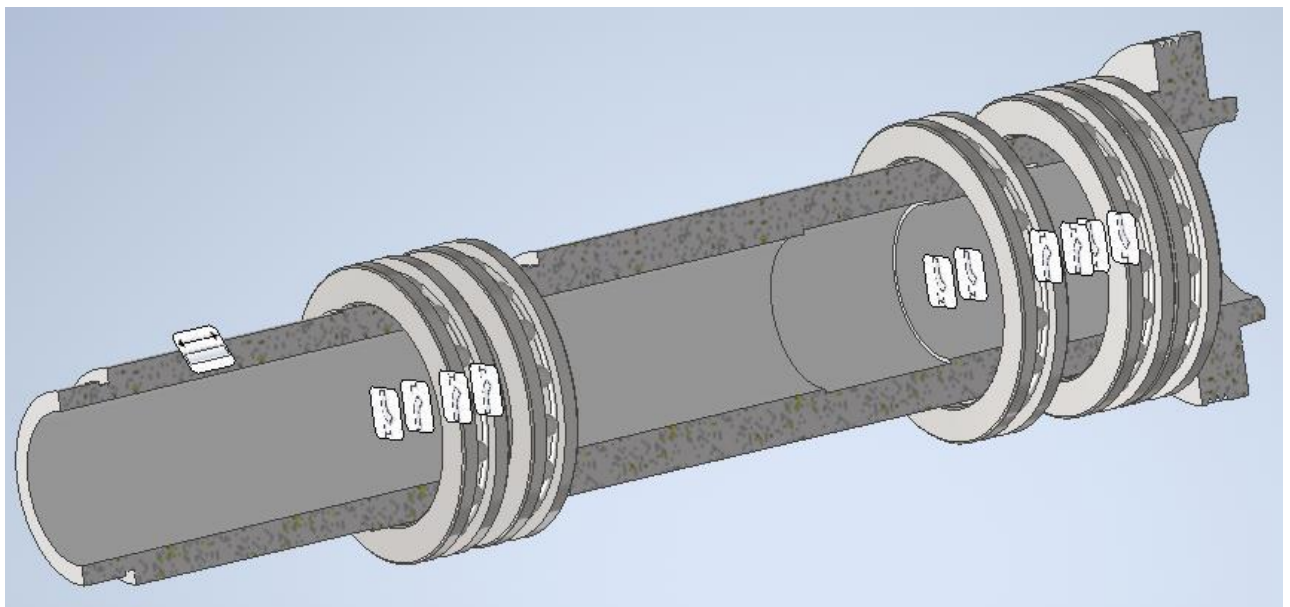


Рисунок 3.6 – 3D-моделі тіла шпинделя

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

Момент інерції шківів клинопасової передачі:

$$J_{\text{шнп}} = \frac{\pi \cdot b \cdot \rho \cdot (D_1^4 - D_0^4)}{32}, \quad (3.9)$$

де D_1, D_0 – зовнішній діаметр та діаметр отвору шківів відповідно клинопасової передачі;

b – ширина шківів клинопасової передачі;

ρ – густина матеріалу шківів; для сталі $\rho = 7800$ кг/м³.

Підставивши значення у залежність (3.9) отримаємо:

$$J_{\text{шнп}} = \frac{\pi \cdot 0,11 \cdot 7800 \cdot ((0,18)^4 - (0,095)^4)}{32} = 0,077 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції шківів зубчато-пасової передачі:

$$J_{\text{зпт}} = \frac{\pi \cdot b_1 \cdot \rho \cdot (D_3^4 - D_2^4)}{32}, \quad (3.10)$$

де D_3, D_2 – зовнішній діаметр та діаметр отвору шківів зубчато-пасової передачі відповідно;

b_1 – ширина шківів зубчато-пасової передачі.

Підставивши значення у залежність (3.10) отримаємо:

$$J_{\text{зпт}} = \frac{\pi \cdot 0,023 \cdot 7800 \cdot ((0,145)^4 - (0,1)^4)}{32} = 0,006 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції гальмівного диска:

$$J_{\text{гд}} = \frac{\pi \cdot b_0 \cdot \rho \cdot (d_1^4 - d_0^4)}{32}, \quad (3.11)$$

де d_1, d_0 – зовнішній діаметр та діаметр отвору гальмівного диска відповідно;

b_0 – ширина гальмівного диска.

Підставивши значення у залежність (3.11) отримаємо:

$$J_{\text{зпт}} = \frac{\pi \cdot 0,015 \cdot 7800 \cdot ((0,322)^4 - (0,095)^4)}{32} = 1,21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Підставивши значення у залежність (3.8) отримаємо момент інерції шпинделя з шківів, гальмівним диском, токарним затискним патроном та обертовим гідроциліндром затиску:

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

$$J_{шп} = 0,059 + 0,077 + 0,006 + 1,21 + 0,038 + 0,07 = 1,46 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Приведений до валу двигуна момент інерції шпинделя з шківками, гальмівним диском, токарним затискним патроном та обертовим гідроциліндром затиску:

$$J_{ш\sigma} = \frac{J_{шп}}{u_{zn}^2 \cdot u_{np}^2} = \frac{1,46}{3^2 \cdot 33^2} = 0,00015 \text{ кг}\cdot\text{м}^2. \quad (3.12)$$

Приведений до валу двигуна момент інерції шестерні:

$$J_{шес} = \frac{\pi \cdot b_1 \cdot \rho \cdot (d_3^4 - d_2^4)}{32 \cdot u_{np}^2}, \quad (3.13)$$

де d_3, d_2 – зовнішній діаметр та діаметр отвору шестерні відповідно;

b_1 – ширина шестерні.

Підставивши значення у залежність (3.13) отримаємо:

$$J_{шес} = \frac{\pi \cdot 0,015 \cdot 7800 \cdot ((0,107)^4 - (0,025)^4)}{32 \cdot 33^2} = 0,000014 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Приведений до валу двигуна момент інерції:

$$J = 0,00015 + 0,000045 + 0,000398 + 0,000014 = 0,000607 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Кутове прискорення при зміні швидкості руху в період розгону по лінійному закону визначається за залежністю [25]:

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot n_{ном.д}}{30 \cdot t_p \cdot \eta}, \quad (3.14)$$

де $t_p = 0,1$ – час розгону при позиціюванні шпинделя з максимальною частотою $n = 30$ об/хв.

Підставивши відповідні значення у (3.14) отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{3,14 \cdot 3000}{30 \cdot 0,07 \cdot 0,89} = 5040 \text{ рад/с}^2.$$

Динамічний момент, потрібний для переборення інерції рухомих мас визначається за залежністю [25]:

$$M_{д} = J \cdot \varepsilon. \quad (3.15)$$

Підставивши відповідні значення у (3.15) отримаємо:

$$M_{д} = 0,000607 \cdot 3528 = 3,06 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Момент, який переборює двигун при розгоні без врахування втрат на тертя:

$$M_{дг} = M_{д} = 3,06 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

За паспортними даними серводвигуна 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG його максимальний крутний момент в режимі S3 (25%) $M_{max} = 4,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Так як $M_{дг} = 3,06 \text{ Н}\cdot\text{м} < M_{max} = 4,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$, то серводвигун забезпечує визначений динамічний момент, потрібний для переборення інерції рухомих мас.

3.5 Розрахунок циліндричної зубчатої передачі

3.5.1 Проектний розрахунок зубчатої передачі

Виходячи із пропрацьованого ескізного проекту приводу позиціювання шпинделя приймаємо віддаль між віссю шпинделя та віссю вихідного вала двоступеневої планетарної коробки швидкостей $a = 215 \text{ мм}$.

Із конструктивних міркувань приймаємо ширину вінця шестерні і колеса $b = 15 \text{ мм}$.

В якості матеріалу коліс вибираємо конструкційну сталь 40ХН.

Для стандартної циліндричної зубчатої передачі [26]:

$$a = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2}, \quad (3.16)$$

де m - модуль зубчатої пари коліс;

z_1 - число зубів шестерні;

z_2 - число зубів колеса.

Передавальне число зубчатої передачі:

$$u_{zn} = \frac{z_2}{z_1}. \quad (3.17)$$

Звідки $z_2 = z_1 \cdot u_{zn}$.

Підставивши значення z_2 у залежність (3.16), отримаємо:

$$a = \frac{m \cdot z_1 (1 + u_{zn})}{2}. \quad (3.18)$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

Звідки ділительний діаметр шестерні:

$$d_1 = mz_1 = \frac{2a}{1 + u_{zn}} = \frac{2 \cdot 215}{1 + 3} = 107,5 \text{ мм.} \quad (3.19)$$

Вибираємо стандартний модуль $m = 2,5$ мм [26].

Тоді кількість зубів шестерні:

$$z_1 = \frac{d_1}{m} = \frac{107,5}{2,5} = 43. \quad (3.20)$$

Кількість зубів колеса: $z_2 = z_1 \cdot u_{zn} = 43 \cdot 3 = 129$.

Ділительний діаметр зубчатого колеса:

$$d_2 = m \cdot z_2 = 2,5 \cdot 129 = 322,5 \text{ мм.}$$

Діаметр вершин шестерні:

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 107,5 + 2 \cdot 2,5 = 112,5 \text{ мм.}$$

Діаметр вершин колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 322,5 + 2 \cdot 2,5 = 327,5 \text{ мм.}$$

Діаметр впадин шестерні:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m = 107,5 - 2,5 \cdot 2,5 = 101,25 \text{ мм.}$$

Діаметр впадин колеса:

$$d_{a2} = d_2 - 2,5 \cdot m = 322,5 - 2,5 \cdot 2,5 = 303,05 \text{ мм.}$$

3.5.2 Перевірочний розрахунок зубчатої передачі

Колова сила, яка діє в зачепленні [26]:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{np.ном}}{d_1} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{107,5} = 930 \text{ Н.} \quad (3.21)$$

Допустимі контактні напруження [26]:

$$[\sigma_H] = 1,8 \cdot HB + 18 = 1,8 \cdot 280 + 18 = 522 \text{ МПа,} \quad (3.22)$$

де $HB = 280$ - твердість термічно покращеної сталі 40ХН [26].

Межа витривалості при згині для сталі 40ХН [26]:

$$\sigma_{F \lim} = 1,8 \cdot HB = 1,8 \cdot 280 = 504 \text{ МПа.} \quad (3.23)$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

Допустимі напруження згину [26]:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_R}{S_F}, \quad (3.24)$$

де $Y_R = 0,82$ - коефіцієнт довговічності [26];

$S_F = 1,7$ - коефіцієнт безпеки [26].

Підставивши значення у (3.24) отримаємо:

$$[\sigma_F] = \frac{504 \cdot 0,82}{1,7} = 243 \text{ МПа.}$$

Контактні напруження [26]:

$$\sigma_H = 270 \sqrt{\frac{F_t (u_{zn} + 1)}{b \cdot d_1 \cdot u_{zn}}}. \quad (3.25)$$

Підставивши значення у (3.25) отримаємо:

$$\sigma_H = 270 \sqrt{\frac{930 \cdot (3 + 1)}{15 \cdot 107,5 \cdot 3}} = 236 \text{ МПа.}$$

Отже, контактна міцність зубчатої передачі забезпечується, так як

$$\sigma_H = 236 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 522 \text{ МПа.}$$

Напруження згину визначається за формулою [26]:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot Y_F \cdot K_F, \quad (3.26)$$

де Y_F - коефіцієнт форми зуба;

K_F - динамічний коефіцієнт навантаження.

Для шестерні із $z_1 = 43$ коефіцієнт форми зуба $Y_F \approx 3,65$ [26].

Динамічний коефіцієнт навантаження $K_F \approx 1,1$ [26].

Підставивши значення у (3.26) отримаємо:

$$\sigma_F = \frac{930}{15 \cdot 2,5} \cdot 3,65 \cdot 1,1 = 90,5 \text{ МПа.}$$

Отже, міцність на згин зубів зубчатої передачі забезпечується, так як

$$\sigma_F = 90,5 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 243 \text{ МПа.}$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

3.6 Розрахунок шпонкового з'єднання шестерні з вихідним валом планетарного редуктора

Виходячи з приєднувальних розмірів двоступеневого редуктора мод. HPG 20A-33-BL1-Z-J6 фірми Harmonic Drive Systems вихідний вал має наступні параметри: діаметр вала $d = 25$ мм; довжина $l = 42$ мм

За ДСТУ/ГОСТ 23360-78 для вала діаметром 25 мм рекомендується призматична шпонка з перерізом $b \times h = 8 \times 7$ з повною довжиною $L = 25$ мм та робочою довжиною $l_p = 17$ мм. Для цієї шпонки глибина пазу у валу $t_1 = 4$ мм, а глибина пазу у маточині шестерні $t_2 = 3$ мм.

Напруження зминання у шпонковому з'єднанні [26]:

$$\sigma_{3M} = \frac{2 \cdot M_{пр.ном}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \quad (3.27)$$

Підставивши значення у (3.27) отримаємо:

$$\sigma_{3M} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{25 \cdot 17 \cdot (7 - 4)} = 78,43 \text{ МПа.}$$

Умова міцності [26]:

$$\sigma_{3M} = 78,43 \text{ МПа} < [\sigma_{3M}] = 130 \text{ МПа,}$$

де $[\sigma_{3M}] = 130$ МПа – допустиме напруження на зминання [26].

Отже, за таких умов роботи шпонка зминатися не буде.

3.7 Розроблення пружинного блоку виключення приводу позиціонування шпинделя

Модернізований привод позиціонування шпинделя 1 розташований на платформі 2, що встановлена на шпиндельній бабці 3. Платформа має три пружинних блоки 4, що містять по три пружини стиску (рис 3.7). При розтиснутих пружинах 4 платформа 2 знаходиться у верхньому положенні, при якому привідна шестерня, що знаходиться на вихідному валу планетарного двоступеневого редуктора, не входить у зачеплення із колесом, жорстко

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

закріпленім на шпинделі. Для з'єднання приводу позиціювання шпинделя 1 із шпинделем робоча рідина подається у три гідроциліндри 5, які стискаючи пружини переміщують платформу 2 вниз. В результаті цього відбувається зачеплення привідної шестерні із зубчатим колесом шпинделя, яке виконує також роль гальмівного диска. Після цього відбувається включення серводвигуна приводу позиціювання шпинделя.

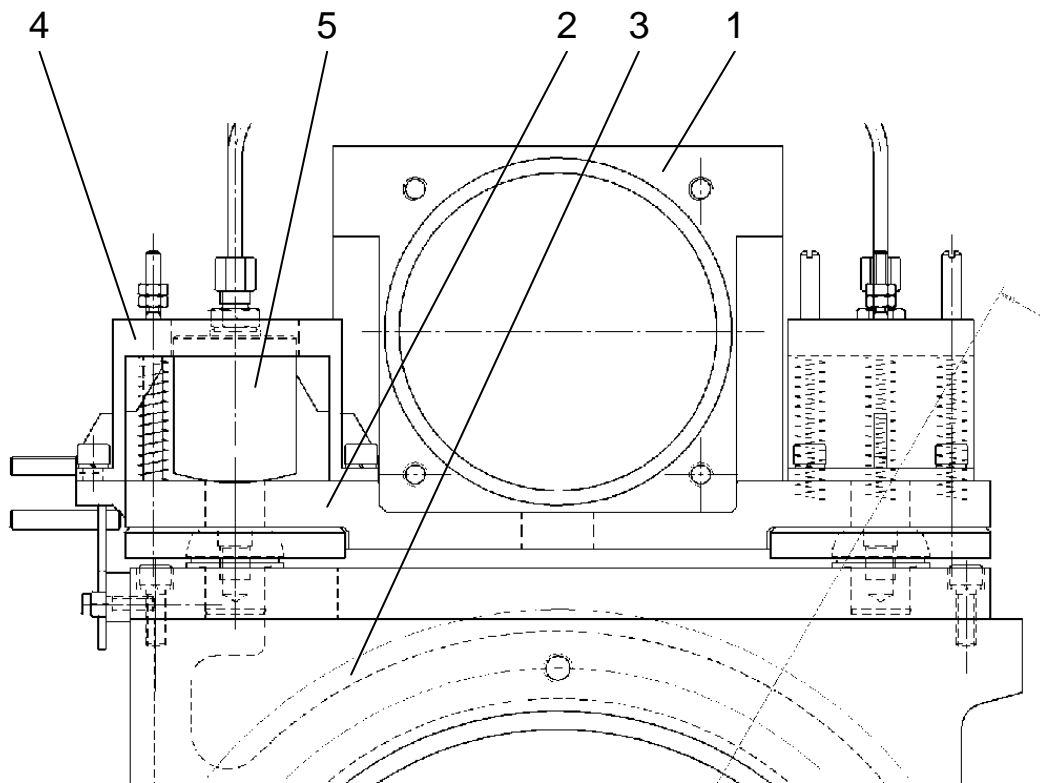


Рисунок 3.7 – Механізм вмикання (вимикання) приводу позиціювання шпинделя

Проведемо вибір циліндричних пружин стиску для підняття платформи у верхнє положення.

Вихідні дані для розрахунку: кількість пружин – 9 (по 3 шт. у кожному блоці); внутрішній діаметр пружини під стержень Ø10 мм – 12 мм. Матеріал пружини – сталь 65Г ДСТУ 8429:2025.

Загальна підпружинена маса буде рівна:

$$M = m_{\text{д}} + m_{\text{пр}} + m_{\text{пл}} , \quad (3.28)$$

де $m_{\text{д}} = 6,6$ кг – маса серводвигуна із електромагнітним гальмом;

$m_{\text{пр}} = 5,3$ кг – маса планетарного редуктора із шестернею;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

57

$m_{пл} = 19,1$ кг – маса платформи.

Підставивши значення у (3.28) отримаємо:

$$M = 6,6 + 5,3 + 19,1 = 31 \text{ кг.}$$

Висота зуба зубчатого колеса:

$$H = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 2,5 = 5,6 \text{ мм.} \quad (3.29)$$

Прийmemo висоту підйому платформи із приводом позиціювання шпинделя більшою за висоту зуба зубчатого колеса:

$$S = H + 4,4 = 10 \text{ мм.}$$

Прийmemo, що загальна підпружинена маса рівномірно розподіляється на 9 пружин.

Загальна підпружинена вага:

$$F_{заг} = M \cdot g = 31 \cdot 9,81 = 304,1 \text{ Н.} \quad (3.30)$$

Зусилля, яке припадає на одну пружину:

$$F = \frac{F}{9} = \frac{304,1}{9} = 33,8 \text{ Н.} \quad (3.31)$$

Для внутрішнього діаметра пружини $D_{вн} = 12$ мм рекомендується стандартний дріт діаметром $d = 2$ мм [26].

Середній діаметр пружини :

$$D = D_{вн} + d = 12 + 2 = 14 \text{ мм.} \quad (3.32)$$

Індекс пружини [26]:

$$c = \frac{D}{d} = \frac{14}{2} = 7. \quad (3.33)$$

Коефіцієнт кривизни витка [26]:

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c} = \frac{4 \cdot 7 - 1}{4 \cdot 7 - 4} + \frac{0,615}{7} = 1,213. \quad (3.34)$$

Напруження кручення пружини [26]:

$$\tau = k \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} = 1,213 \cdot \frac{8 \cdot 33,8 \cdot 14}{3,14 \cdot 2^3} = 182,7 \text{ МПа.} \quad (3.35)$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

Для сталі 65Г модуль зсуву $G = 78,5 \cdot 10^3$ МПа та допустиме напруження при крученні (із запасом міцності для середнього режиму навантаження) $[\tau] = 500$ МПа [26].

Так як $\tau = 182,7$ МПа $< [\tau] = 500$ МПа, то умова міцності виконується.

За умовою, робочий хід (стиснення) пружини має становити $S = 10$ мм.

Формула для визначення деформації пружини [26]:

$$S = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot n}{G \cdot d^4}, \quad (3.36)$$

де n – кількість робочих витків пружини.

Із залежності (3.36) кількість робочих витків пружини:

$$n = \frac{S \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot F \cdot D^3} = \frac{10 \cdot 78500 \cdot 2^4}{8 \cdot 33,8 \cdot 14^3} = 16,9 \text{ мм.} \quad (3.37)$$

Округляємо до найближчого конструктивного значення: $n = 18$ витків.

Повна кількість витків з врахуванням підтиснутих та шліфованих опорних витків (по 1,5 витка з кожного боку для стійкості):

$$n_2 = n + 2 \cdot 1,5 = 18 + 3 = 21.$$

Щоб пружина могла вільно стиснутися на 10 мм, між її витками у стиснутому стані має залишатися мінімальний зазор (приблизно $0,1 \cdot d = 0,1 \cdot 2 = 0,2$ мм на виток).

Крок пружини у вільному стані:

$$t = d + \frac{S}{n} + 0,2 = 2 + \frac{10}{18} + 0,2 = 2,75 \approx 2,8 \text{ мм.}$$

Висота пружини при повному стисненні (до дотикання витків):

$$H_c = n_2 \cdot d = 21 \cdot 2 = 42 \text{ мм.}$$

Висота пружини у вільному стані:

$$H_0 = n \cdot t + d = 18 \cdot 2,8 + 2 = 52,4 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр пружини:

$$D_{zn} = D_{вн} + 2 \cdot d = 12 + 2 \cdot 2 = 16 \text{ мм.}$$

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

Ці параметри забезпечать швидке та плавне підняття платформи приводу позиціювання шпинделя та гарантують, що пружини працюватимуть у зоні пружних деформацій без ризику просідання чи поломки.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		60

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Захист від механічних небезпек при роботі на токарно-револьверному багатоопераційному верстаті з ЧПК

Захист від механічних небезпек, викликаних затискними механізмами.
Конструкція верстата повинна гарантувати неможливість увімкнення або вимкнення вручну затискного патрона оброблюваної деталі при шпинделі, що обертається. На затискних патронах оброблюваної деталі повинна бути позначена максимально допустима частота обертання [27, 28].

Конструкцією затискних механізмів верстата має бути передбачене виключення попадання в них пальців рук людини при ручному завантаженні (розвантаженні) [27, 28]:

- повинен бути передбачений регульований хід кулачків затискного патрона (цанги) не більше 4 мм або розділяюча захистна огорожа, що має зазори безпеки;
- швидкість спрацьовування затискного пристрою, що не перевищує 4 мм/с;
- управління вручну роботою затискного пристрою оброблюваної деталі повинне здійснюватися поза робочою зоною, наприклад, з використанням дворучного органу управління.

У режимі «Обробка по керуючій програмі» програма повинна працювати тільки тоді, коли виконані наступні умови:

- верстат повинні мати можливості введення або підтвердження запрограмованої максимальної частоти обертання шпинделя оброблюваної деталі та максимально допустимого числа обертів для закріпленого на верстаті затискного патрона; якщо при зміні програми у користувача немає можливості вводити або підтверджувати частоту обертання, необхідний пристрій, що перешкоджає запуску верстату (у цьому випадку програма повинна працювати

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив		Олійник Б.Р.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Окільний І.Б.				Н	61	7
Н. контр.		Кобельник В.Р.				ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Затв.		Крупа В.В.						

тільки за більш низьких значень частоти обертання, передбачених стандартною програмою для верстата;

- при використанні механізованих затискних патронів оброблюваних деталей повинні бути в наявності пристрої для контролю зусилля затискання деталі, наприклад, контролю гідравлічного тиску;

- потрібно контролювати хід кулачків (цанги), щоб переконатися, що залишився достатній хід після того, як деталь закріплена; якщо необхідне зусилля затиску не отримано або хід кулачків (цанги), що залишається, недостатній, не повинен включатися привід шпинделя;

- якщо привід шпинделя працює, а зусилля затиску або хід кулачків (цанги), що залишається, зменшується по відношенню до встановленого значення, повинна початися зупинка верстата.

При використанні механізованих затискних патронів зусилля затиску, достатнє для надійного закріплення деталі, що обробляється, повинно зберігатися допоки шпиндель не зупиниться. Це реалізовано на верстаті за допомогою зворотного клапана в гідравлічній системі.

При використанні токарних патронів, що керуються вручну, слід виключити ситуацію, коли ключ залишається в токарному патроні, а шпиндель може почати обертатися [27, 28].

Навколо робочої зони повинні бути передбачені нерухомі та/або переміщувані огорожі, що щоб знизити ризики від викиду деталей, частин верстата, інструменту (або частин інструменту), стружки або ЗОР. Захисні огороження повинні бути сконструйовані і зроблені таким чином, щоб витримувати ймовірну найбільшу енергію удару, що залежить від найбільшого діаметра затискного патрона оброблюваної деталі, яким може бути обладнаний верстат, та найбільшої кількості обертів патрона [27, 28].

Захист від механічних небезпек, викликаних пристроями подачі прутка. Доступ до прутків, що обертаються або переміщаються, або до рухомих частин пристрою подачі прутка, що рухаються, повинен бути закритий по всій довжині за допомогою нерухомих і/або переміщуваних огорож. Доступ може бути

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

дозволений лише тоді, коли рухи, які можуть викликати небезпеку, закінчені. Огородження, що переміщуються, для доступу в робочу зону верстата повинні блокувати систему подачі прутка, щоб запобігти подачі прутка в робочу зону в режимі «Обробка по програмі» при відкритій захисній огорожі. Подача прутка при відкритій захисній огорожі може здійснюватися тільки при ручному керуванні в режимі поштовху при швидкості не більше 2 м/хв. Верстат повинен бути зупинений, коли частина прутка, що залишилася, повністю вийшла з магазину для прутків.

Захист від механічних небезпек, викликаних механізмами збору і видалення стружки. Доступ до частин системи збору і видалення стружки, що представляють небезпеку, повинен бути виключений за допомогою нерухомих і (або) переміщуваних захисних пристроїв з блокуванням. Там, де доступ до частин системи збору стружки (наприклад, стрічкового або шнекового транспортера), що представляють небезпеку, можливий з місць обслуговування верстата, рухи цих частин при відкритій захисній огорожі повинні бути відключені [27, 28].

Зона викиду стружки повинна мати табличку, що попереджає про можливі травми, наприклад роздавлювання, захоплення або замотування. Коли рух вузлів систем збирання та видалення стружки необхідний при відкритій захисній огорожі (наприклад, для очищення), вона може здійснюватися тільки при ручному керуванні в поштовховому режимі, при цьому поблизу повинен знаходитись пристрій аварійної зупинки [27, 28].

Захист від механічних небезпек, викликаних механізмами заміни інструментів. Механізми заміни інструментів, що знаходяться всередині розсувних захисних огорож робочої зони, повинні бути доступні для людини тільки в режимі «Налагодження» або в режимі готовності верстата до роботи.

Доступ зовні до механізмів заміни інструментів повинен запобігати в режимі «Обробка по програмі» поєднанням нерухомих і переміщуваних захисних огорож з блокуванням. Нерухомі або захисні огорожі, що переміщуються, повинні перешкоджати доступу до рухомих частин пристрою зміни інструменту. Якщо існує небезпека доступу до частин пристрою, що рухаються, зміни інструмента з

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

робочої зони, то такі рухи повинні бути зупинені при відкритих захисних огородженнях [27, 28].

У режимі «Налагодження» при відкритій захисній огорожі приводні рухи пристрою заміни інструменту повинні допускатися тільки при ручному керуванні в поштовховому режимі, що забезпечує окремі рухи від однієї інструментальної позиції до іншої або за допомогою дворучного перемикача для безперервного руху. Цей рух може мати максимальну швидкість 2 м/хв, або він повинен керуватися командним пристроєм, при якому оператор відповідно знаходиться поза зоною рухів, що викликають небезпеку.

Там, де можливий доступ самого оператора до пристрою заміни інструменту, повинні бути передбачені захисні пристрої з реакцією на наближення з метою запобігання будь-якому руху пристрою заміни інструменту або інших рухів верстата, що викликають небезпеку. Інструменти, щоб запобігти їх випаданню або викиду, повинні бути надійно закріплені в пристрої заміни інструменту [27, 28].

Захист приводів. Доступ до частин приводу повинен бути оснащений нерухомим і (або) переміщуваним захисним огородженням. Якщо потрібний доступ до таких частин при звичайній експлуатації, то повинні бути в наявності захисні огородження з блокуванням, що переміщуються.

На верстаті повинні бути передбачені засоби для переміщення вузлів в аварійній ситуації (наприклад, при вивільненні захопленої у верстат людини) та відповідна інформація про це. Ці засоби повинні включати наступне:

а) при вимкненій подачі енергії:

- клапани розвантаження для зниження тиску у системі;
- пристрої для механічного звільнення (розтискання) приводних гальм за наявності системи врівноваження ваги вузла, що звільняється;
- пристрої для вільного провороту затискного патрона;

б) при включеній подачі енергії:

- влаштування ручного управління переміщенням вузлів верстата зі швидкістю не більше 2 м/хв;
- керуючі пристрої для реверсу рухів вузлів верстата.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

4.2 Захисні заходи від немеханічних небезпек при роботі на токарно-револьверному багатоопераційному верстаті з ЧПК

Емісії. Конструкцією верстата має бути передбачена можливість приєднання відсмоктувальних пристроїв для усунення шкідливих емісій (наприклад, масляного туману тощо).

Освітлення. У режимі роботи «Налагодження» має бути передбачена освітленість робочої зони освітленість перед шпиндельним вузлом на відстані, що дорівнює діаметру токарного патрона, повинна бути не менше 500 лк [27, 28].

Електроустаткування. Електроустаткування має відповідати нормам стандарту, якщо цей стандарт не встановлює нічого іншого та повинно передбачати: запобігання ураженню електричним струмом; захист від короткого замикання та перевантаження. Ступінь захисту всіх електричних блоків має бути мінімум IP 54 [27, 28].

Електричні розподільні щитки і шафи не повинні наражатись на небезпеку пошкодження від оброблюваних деталей та (або) інструментів, що викидаються. Доступ до частин верстата, що знаходяться під напругою, повинен бути закритий. Небезпека спалаху на верстаті не розглядається як значна, якщо силовий вимикач розрахований на максимальний струм навантаження [27, 28].

Ергономіка. Верстат повинен бути обладнаний відповідно до ергономічних принципів. Конструкцією верстата має бути передбачена можливість забезпечення вільного доступу до робочої зони при застосуванні наявних пристроїв для налагодження, завантаження (розвантаження) тощо [27, 28].

Мастильно-охолоджувальна рідина. Подача мастильно-охолоджувальної рідини повинна автоматично вимикатися при відкритих захисних огороженнях робочої зони. Верстат повинні мати пристрої для видалення мастильно-охолоджувальної рідини, чищення системи та заміни фільтрів. Мастильно-охолоджувальна рідина повинна витікати з верстата у спеціальний резервуар під впливом сили тяжіння, щоб не утворювався застій мастильно-охолоджувальної рідини зовні чи всередині верстата [27, 28].

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

Вимкнення та розсіювання енергії. Пристрій вимкнення подачі електроенергії повинен відповідати відповідному стандарту. Повинні бути передбачені пристрої для вимкнення подачі електроенергії та для відведення накопиченої енергії. Відключення електричної системи верстата повинно також призвести до вимкнення пневматичної та гідравлічної систем. Якщо енергія накопичується, наприклад, у резервуарі, трубі або трубопроводі повинні бути передбачені пристрої для випуску (скидання) залишкового тиску. Ці пристрої повинні мати відповідні клапани, що не потребує розбирання трубних з'єднань [27, 28].

4.3 Організація робочого місця оператора токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК

Основним елементом виробничої структури підприємства є робоче місце, від правильності організації якого суттєво залежить ефективність та безпека кожної технологічної операції та виробничого процесу в цілому. Тому важливо, щоб організація та стан робочих місць забезпечували зручні та безпечні дії з матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, а також технічне обслуговування та ремонт верстату [27, 28].

Організація робочого місця, його розміри та взаємне розташування органів керування та відображення інформації повинні відповідати антропометричним, фізіологічним та психофізіологічним особливостям людини, а також характеру виконуваної роботи [27, 28].

На робочих місцях повинна бути передбачена площа, на якій розміщуються стелажі, тара, столи, пристрої для зберігання на накопичення оснащення, матеріалів, заготовок, напівфабрикатів готових деталей та відходів виробництва [27, 28].

Планування робочого місця оператора токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК показано на рис. 4.1.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		66

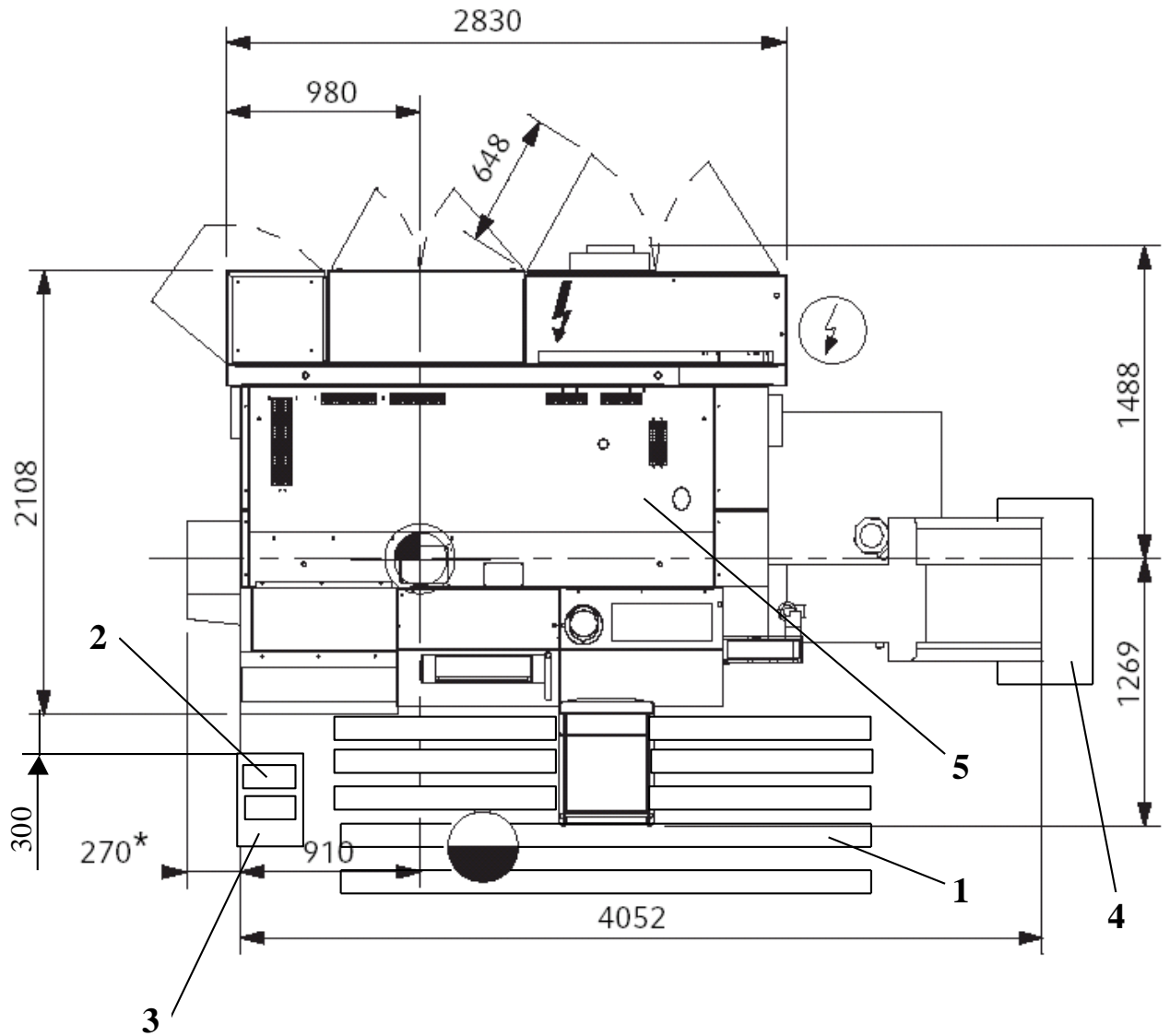


Рисунок 4.1 – План робочого місця оператора проектованого верстата:
 1– решітка для ніг; 2 – тара з оброблюваними деталями та заготовками;
 3 – прийомний стіл; 4 – тара для стружки; 5 – токарно-револьверний
 багатоопераційний верстат з ЧПК

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ

Арк.

67

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз конструкції приводу обертання та позиціонування шпинделя токарно-револьверного багатоопераційного верстату з ЧПК та виявлено його недоліки такі як складність конструкції, низька швидкодія та погіршення динамічних характеристик шпиндельного вузла через наявність додаткової маси посередині шпинделя.

2. Проведено аналіз конструкції приводів кутового позиціонування шпинделя багатоопераційних токарних верстатів з ЧПК від двигуна приводу головного руху та від окремого сервоприводу. Встановлено їх переваги і недоліки.

3. Приведено аналіз конструкції деталі «Фланець», її технологічності, точності і якості основних поверхонь, а також запропоновано методи обробки.

4. Здійснено вибір чорнових та чистових баз для токарних операцій з ЧПК. Розроблено технологічний маршрут обробки деталі «Фланець», який включає три операції механічної обробки поверхонь.

5. Розроблено комплексну технологічну операцію на багатоопераційний токарно-револьверний верстат з ЧПК: спроектовано операцію по технологічних переходах, вибрано різальний інструмент фірми Sandvik Coromant, вибрано вимірювальний інструмент, а також встановлено режими різання за рекомендаціями фірми Sandvik Coromant.

6. Розроблено кінематичну схему модернізованого приводу позиціонування та фіксації шпинделя, яка включає привідний синхронний серводвигун, планетарну двоступеневу коробку швидкостей, циліндричну зубчасту передачу, механізм гальмування шпинделя та механізм включення (виключення) приводу позиціонування.

7. Проведено кінематичний та силовий розрахунок приводу позиціонування

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Висновки	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Олійник Б.Р.</i>					<i>Н</i>	68	2
<i>Перевірів</i>	<i>Волошин В.Н.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Крупа В.В.</i>							
						<i>ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

шпинделя.

8. За передавальним числом редуктора та номінальним крутним моментом на виході редуктора вибрано планетарний двоступеневий редуктор стандартної серії мод. HPG 20A-33-BL1-Z-J6 фірми Harmonic Drive Systems.

9. За номінальною частотою обертання та номінальним крутним моментом на валу електродвигуна вибрано синхронний електродвигун 1FT6041-4AF7 фірми Siemens AG [23] із номінальною частотою обертання 3000 об/хв та номінальним крутним моментом 2,15 Н·м. Проведено перевірку серводвигуна по динамічному моменту при розгоні, який потрібний для переборення інерції рухомих мас приводу.

10. Проведено проєктний та перевірочний розрахунки циліндричної зубчатої передачі приводу позиціонування шпинделя та її з'єднань з валами.

11. Розроблено конструкцію пружинного блоку виключення (виключення) приводу позиціонування шпинделя. Проведено проєктний і перевірочний розрахунок циліндричних пружин стиску.

12. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Верстат токарно-револьверний патронно-прутковий з ЧПК моделі 1П420ПФ40. Керівництво по експлуатації, 1989. – 210 с.
2. Hirsch A. Werkzeugmaschinen. Grundlagen, Auslegung, Ausführungsbeispiele – Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2012. – 439 s.
3. Neugebauer R Werkzeugmaschinen. Aufbau, Funktion und Anwendung von spanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen. – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2012 – 478 s.
4. Кузнєцов Ю. М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / Ю.М. Кузнєцов, О.Ф. Саленко, О.О. Харченко, В.Т. Щетинін. – К.: - Кременчук: Точка, 2014. - 500 с.
5. Обладнання для новітніх технологій: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Івченко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – 210 с.
6. TA Series high performance [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.cmz.com/en/ta-series/> (дата звернення: 25.05.2026).
7. Добрянський С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
8. Яковенко І. Е. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І.Е. Яковенко, О.А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 421с.
9. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник/ Ю.Є.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Перелік посилань					
Розробив	Олійник Б.Р.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Волошин В.Н.							Н	70	4
Н. контр.	Кобельник В.Р.							ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Затв.	Крупа В.В.									

Паливода, А.Є. Дячун, Р.Я. Лещук – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

10. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Кобельник Володимир Романович; Тернопіль, 2013 – 168 с.

11. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv// Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. - Vol 96. - No 4. - P. 57–69.

12. PCLNR 2525M T-Max® P, shank tool for turning [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=PCLNR%202525M%2012&m=5738416> (дата звернення: 30.05.2026).

13. DDJNR 2525M T-Max® P, shank tool for turnin [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=DDJNR%202525M%2015&m=5731100&listName=autocomplete&listIndex=0> (дата звернення: 30.05.2026).

14. LF123H25-2525B-064B CoroCut® 1-2, shank tool for face grooving [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=LF123H25-2525B-064BM&m=5732813&listName=product%20result%20set&listIndex=0> (дата звернення: 30.05.2026).

15. R429U-A20-23070 TC09A. Boring bar with indexable insert for fine boring heads [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=R429U-A20-23070%20TC09A&m=5746648> (дата звернення: 30.05.2026).

16. RAG151.32-20Q-20 T-Max® Q-Cut, boring bar for groovingch [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=RAG151.32-20Q-20&m=5738337&listName=search%20result&listIndex=0> (дата звернення: 30.05.2026).

17. 266RKF-25-16-R CoroThread® 266, boring bar for thread turning [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=266RKF-25-16-R>

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

us/product-details?c=266RKF-25-16-R&m=5758043&listName=autocomplete&listIndex=1 (дата звернення: 30.05.2026).

18. 860.1-1020-037A0-PM P1BM CoroDrill® 860-PM, solid carbide drill [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=860.1-1020-037A0-PM%20P1BM&m=8150988> (дата звернення: 30.05.2026).

19. T200-MM101DB-M12X150B145 CoroTap® 200, cutting tap with spiral point [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/product-details?c=T200-MM101DB-M12X150B145&m=8248613> (дата звернення: 30.05.2026).

20. Метрологія [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н.М. Защепкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 397 с.

21. Вимірювальний інструмент [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://siltech.com.ua/index.php/kataloh-tovariv/category/55-vimiryuvalnij-instrument> (дата звернення: 03.05.2026).

22. HPG, HPGP & HRF Series. Harmonic Planetary [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.harmonicdrivegearhead.com/technology/harmonic-planetary/hpg-hpgr> (дата звернення: 25.05.2026).

23. Synchronous servomotor 1FT6. Configuration Manual. – Siemens AG, Edition 12/2004. – 266 p.

24. Kraftspannfutter/ Zylinder / Lunetten. Edition 8.1, Id.-Nr. 1178255 / 1119 – RÖHM GmbH, 10/2015/ - 238 с.

25. Розрахунок автоматизованих електроприводів. Методичні вказівки до самостійних робіт з дисципліни «Конструювання верстатів і машин та мехатронних систем» для другого рівня вищої освіти ступеню „магістр“ спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»/ Укл. І.І. Вербя. – К.: ММІ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 50 с.

					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

26. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

27. Пістун І.П. Охорона праці в галузі машинобудування. Навчальний посібник (стереотипне видання) / І.П. Пістун, Р.Є. Стець, І.О. Трунова – Суми: Університетська книга, 2023 – 556 с.

28. Мезенцева І.О. Безпека виробничих процесів і устаткування. Частина І. Організаційні та технічні заходи безпеки трудового процесу – НТУ «ХПІ», Харків, 2022. – 246 с.

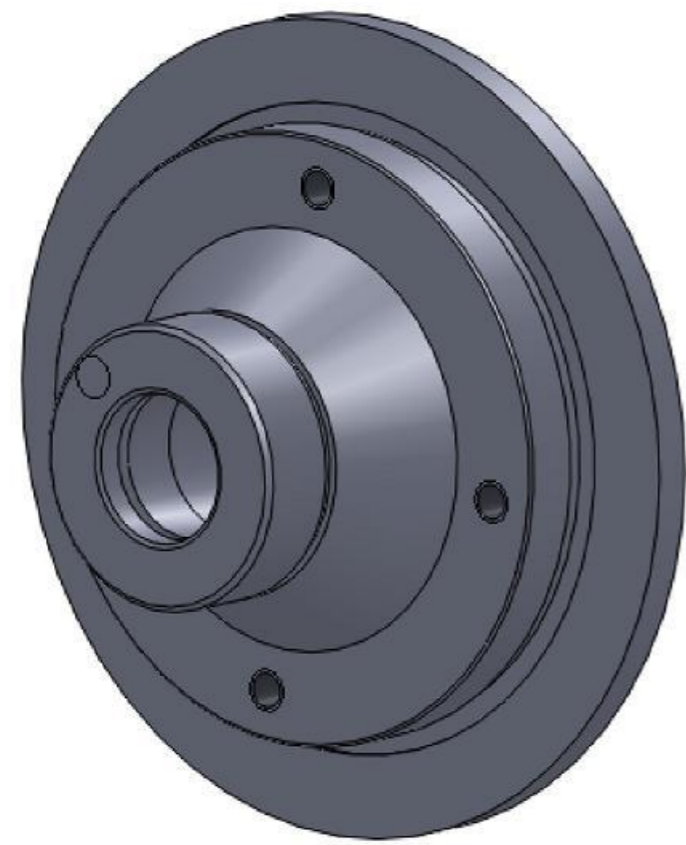
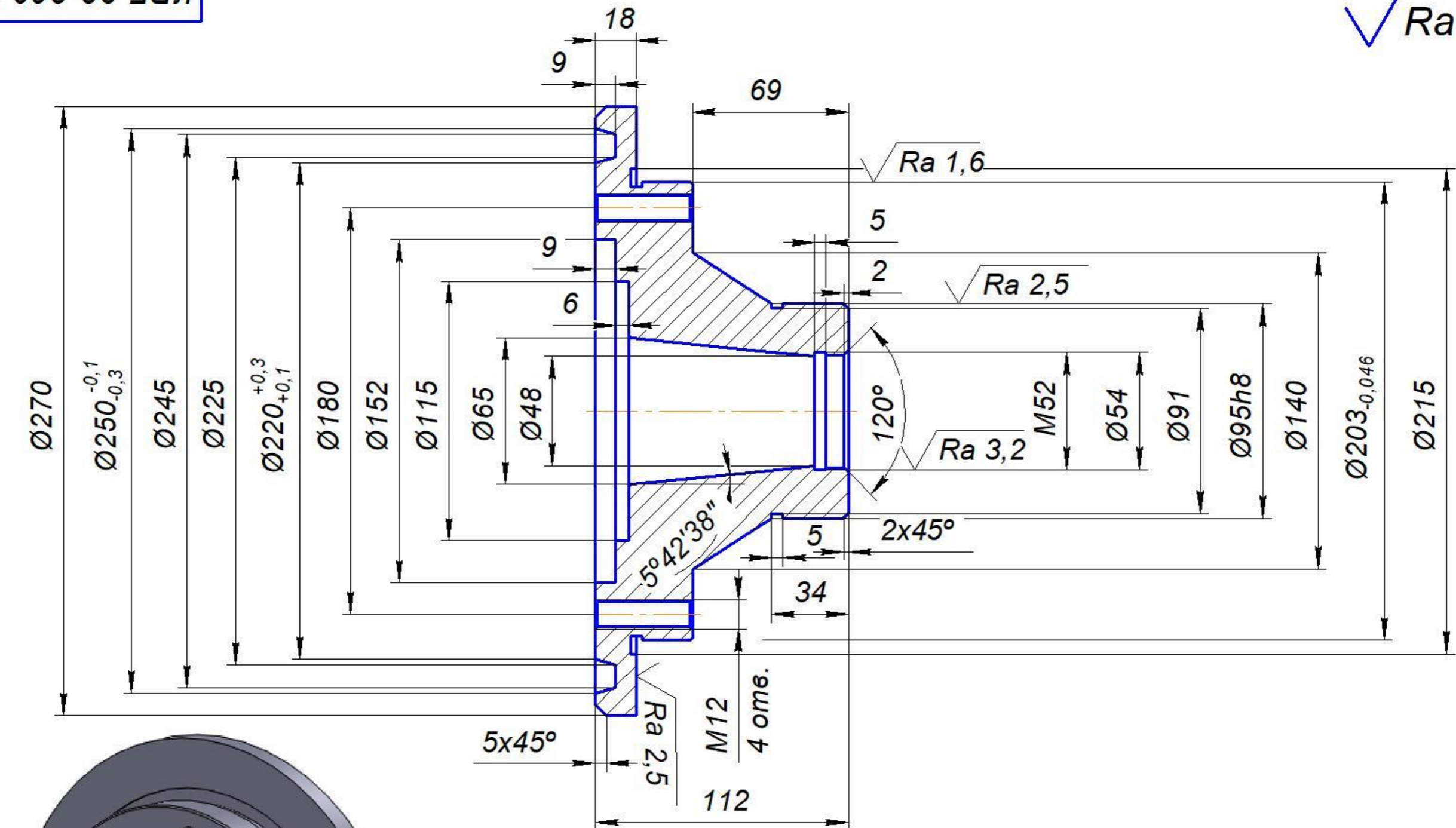
					КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		73

ДОДАТКИ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ 23-360.00.00.000 ПЗ			
Розробив		Олійник Б.Р.			Додатки	Лім.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Волошин В.Н.				Н	74	7
Н. контр.		Кобельник В.Р.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Зате.		Крупа В.В.						

КРБ 23-360.00.000

√ Ra 6,3 (√)



1. Невказані фаски - 1x45°
2. Невказані радіуси - 1 мм
3. h14, H14, ± IT14/2

Перв. примен. / Справ. № / Подп. и дата / Подп. и дата / Взам. инв. № / Инв. № дубл. / Подп. и дата / Инв. № подл.

				КРБ 23-360.00.000		
				Фланец		
				Лит.	Масса	Масштаб
					14,2	1:1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист 1	
					Листов 1	
				Сталь 45 ДСТУ 7809		
				ТНТУ ім. І.Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		
				Копировал / Формат А3		

