

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Модернізація компонентів шпиндельної бабки

вертикального токарного верстата з ЧПК для паралельної

обробки тонкостінних деталей

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

спеціальності

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

		Фурдела А.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Буховець В.М.
	(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)

« » _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Фурделі Артему Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК для паралельної обробки тонкостінних деталей

Керівник роботи Буховець Валерій Миколайович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від « 23 » 01 2025 року № 4/7-356

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі, базовий технологічний процес обробки деталі; конструкторська документація по вертикальному токарному двошпиндельному верстату з ЧПК; матеріали по конструкціях шпиндельних бабок токарних верстатів з ЧПК

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. Загальний вигляд вертикального двошпиндельного токарного верстату з ЧПК (1 лист формату А1)

2. Операційні карти обробки тонкостінної деталі на двох шпинделях (2 листи формату А1)

3. Кінематична схема вертикального токарного двошпиндельного верстату з ЧПК (1 лист формату А1)

4. Модернізована шпиндельна бабка вертикального токарного двошпиндельного 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 27.01.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Фурдела А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Буховець В.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Фурдела А.А. Модернізація компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК для паралельної обробки тонкостінних деталей: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр: спец. 133 – галузеве машинобудування/ кер. В.М. Буховець. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВ-41.: ТНТУ, 2025.

В кваліфікаційній роботі приведено аналіз циліндричних тонкостінних деталей та конструкції основних вузлів вертикального токарного верстата з ЧПК та приводів головного руху, розроблено операційну технологію паралельної обробки тонкостінної деталі, проведено модернізацію компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК з метою спрощення її конструкції та підвищення продуктивності за рахунок заміни зубчатих передач з проміжним валом на зубчатопасову передачу та підвищення частоти обертання шпиндельного вузла. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: тонкостінна деталь, токарний верстат з ЧПК, привід головного руху, операційна технологія, різальний інструмент, жорсткість.

Furdela Artem. Modernization of spindle headstock components of a CNC vertical lathe for simultaneous machining of thin-walled parts. Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2025.

The qualification work provides an analysis of cylindrical thin-walled parts and the design of the main components of a vertical CNC lathe and main motion drives, an operational technology for parallel processing of a thin-walled part has been developed,

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Анотація					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Фурдела А.А.									Н		3	2
Перевірів	Буховець В.М.									ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

and the components of the headstock of a vertical CNC lathe have been modernized in order to simplify its design and increase productivity by replacing gears with an intermediate shaft with a toothed belt transmission and increasing the speed of rotation of the spindle assembly. Occupational health and safety issues have been resolved.

Keywords: thin-walled part, CNC lathe, main motion drive, operational technology, cutting tool, stiffness.

					<i>КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1.	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1.	Характеристика циліндричних тонкостінних деталей та проблеми, які виникають при їх токарній обробці	8
1.2.	Характеристика об'єкту виробництва	10
1.3.	Призначення, компоновка та кінематика вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК	12
1.4.	Аналіз конструкції основних вузлів вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК	17
1.5.	Аналіз конструкції приводів головного руху вертикальних токарних верстатів з ЧПК	21
1.6.	Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра	24
2.	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	27
2.1.	Проектування операційної технології обробки деталі та двошпиндельному вертикальному токарному верстаті з ЧПК	27
2.2.	Обґрунтування та вибір різального та допоміжного інструментів	30
2.3.	Обґрунтування та вибір контрольно-вимірювального інструменту	33
2.4.	Вибір режимів різання для токарної операції з ЧПК	35
3.	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1.	Модернізація компонентів шпиндельної бабки вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК	38
3.1.1.	Вибір і розрахунок основних технічних характеристик приводу головного руху	38
3.1.2.	Структура модернізованого приводу головного руху	43

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Фурдела А.А.								Н		5	2
Перевірів	Буховець В.М.								ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

3.1.3	Вибір параметрів і технічних характеристик привідного двигуна.	
	Графік зміни потужності на валу електродвигуна	44
3.2.	Проектування зубчато-пасової передачі	47
3.3.	Проектування шпиндельного вузла приводу головного руху	50
3.3.1.	Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла та типу опор	50
3.3.2.	Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла, як статично-невизначеної системи	50
3.3.3.	Автоматизований розрахунок деформацій шпинделя в середовищі AutoDesk Inventor	57
4.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	60
4.1.	Робоче місце оператора токарного вертикального двошпиндельного верстата з ЧПК	60
4.2.	Заземлення токарного вертикального двошпиндельного верстату з ЧПК	64
	ВИСНОВКИ	67
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69
	ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Для обробки тонкостінних кільцевих деталей широко використовуються вертикальні токарні верстати з ЧПК, які відрізняються від горизонтальних тим, що вісь обертання шпинделя розташована вертикально, що робить їх ідеальними для обробки коротких деталей. Вони дозволяють досягти високої точності та продуктивності, особливо при серійному виробництві. Компонувки вертикальних токарних верстатів з ЧПК з двома шпинделями дозволяють проводити паралельно токарну обробку на кожному з них, що забезпечує високу продуктивність. У таких верстатах кожен шпиндель обслуговується своєю інструментальною системою, набір інструментів якої визначається операційною технологією обробки на кожному із шпинделів. Тому покращення швидкохідності і жорсткості таких верстатів, розширення технологічних можливостей та покращення динамічних властивостей є основними напрямками їх модернізації.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК для паралельної обробки тонкостінних деталей шляхом спрощення конструкції та підвищення продуктивності за рахунок заміни зубчатих передач з проміжним валом на зубчатопасову передачу та підвищення частоти обертання шпиндельного вузла. Завдяки цьому повинні зменшитися динамічні коливання в приводі головного руху за рахунок зменшення обертових мас та підвищення крутильної жорсткості приводу. Окрім того, робота передбачає розробку операційної технології паралельної обробки тонкостінного кільця, вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту, вибір режимів обробки.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розробив	Фурдела А.А.				Вступ				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.								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. Характеристика циліндричних тонкостінних деталей та проблеми, які виникають при їх токарній обробці

Тонкостінні циліндричні деталі – це деталі з тонкою стінкою, у яких товщина стінки значно менша, ніж їх діаметр. Вони широко використовуються в інженерному проектуванні, оскільки вони дозволяють створювати міцні та відносно легкі машинобудівні конструкції [1, 2]. Хоча використання тонкостінних конструкцій у проектуванні має багато переваг, включаючи жорсткість та зменшення маси, їх використання не позбавлене ускладнень та компромісів. Маса деталей зазвичай повинна бути збалансована відносно міцності, що призводить до створення системи, яка є оптимальною як за масою, так і за міцністю [1, 2]. Для несучих тонкостінних конструкцій вплив згину має першочергове значення, оскільки він часто є основним обмежувальним фактором для безпечного розрахункового навантаження. Зазвичай навантаження на згин значно нижче, ніж границя текучості матеріалу на стиск [1, 2].

Серед тонкостінних циліндричних деталей можна виділити гільзові тонкостінні деталі (рис. 1.1, а), кільцеві тонкостінні деталі (рис. 1.1, б) та тарілчасті тонкостінні деталі (рис. 1.1, в) [1-3].

Тонкостінні кільцеві деталі мають ряд конструктивних особливостей, до яких слід віднести канавки на зовнішній, внутрішній або торцевій поверхні, а також буртики. Конструкція кільцевих тонкостінних деталей характеризується різноманіттям геометричних форм перерізу (від найпростіших тіл обертання до складних, утворених сполученням прямолінійних і криволінійних поверхонь).

Недоліком тонкостінних циліндричних деталей є їх низька жорсткість, що призводить до їх легкої деформації під час виробничого процесу, і при цьому

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Аналітичний розділ			
Розробив	Фурдела А.А.							
Перевірів	Буховець В.М.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Затв.	Крупа В.В.							
						Літ.	Аркуш	Аркушів
						Н	8	19
						ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		

важко гарантувати точність обробки. Тому дуже важливо аналізувати та контролювати деформацію цих деталей під час обробки. Для контролю деформації деталей зазвичай використовуються деякі методи, такі як покращення структурної оброблюваності заготовки, вдосконалення схеми закріплення, перегляд траєкторії руху інструменту та оптимізація параметрів процесу [3].

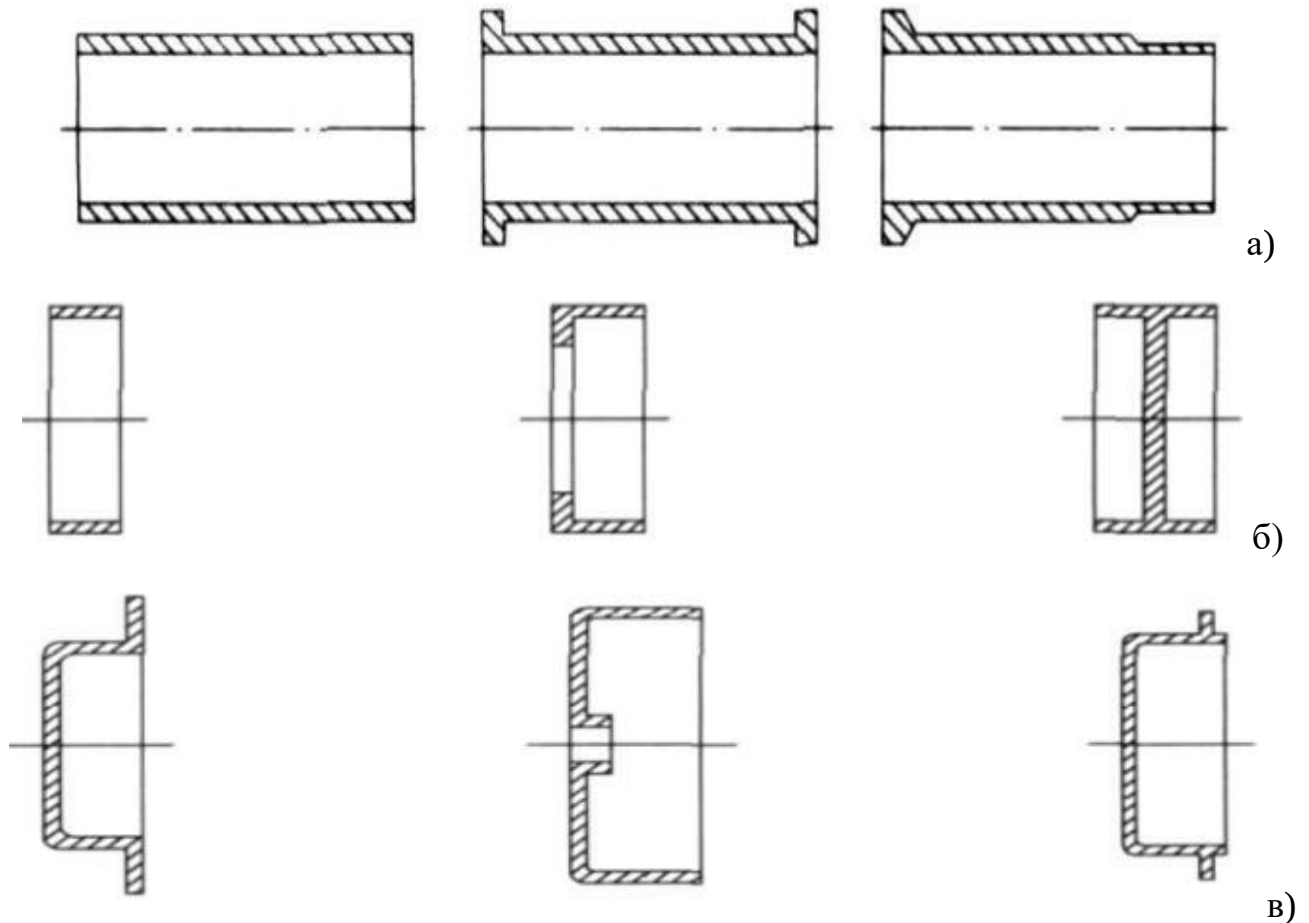


Рисунок 1.1 – Типи тонкостінних циліндричних деталей: а) гільзові тонкостінні деталі; б) кільцеві тонкостінні деталі; в) тарілчасті тонкостінні деталі

Порівняно із звичайними деталями, обробка циліндричних тонкостінних деталей є складнішою, що головним чином відображається в наступних аспектах [4]:

- тонкостінні деталі з низькою міцністю схильні до деформації, спричиненої такими факторами, як зміни тиску та температури під час процесу обробки; деформація не тільки впливає на точність розмірів деталі, але й впливає на її роботу в механічному обладнанні;

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

- під час обробки на токарному верстаті через взаємодію між пристосуванням, інструментами та іншими компонентами технологічної системи виникає вібрація; вібрація не тільки впливає на форму та точність деталі, але й може збільшити складність обслуговування верстата та створити потенційні загрози безпеці.

- роль інструменту при обробці є критично важливою; тонкостінні деталі чутливі до сил різання та вібрації, тому жорсткість інструменту повинна бути помірною, щоб процес різання міг забезпечити достатню жорсткість, не створюючи при цьому надмірної вібрації;

- метод затиску є важливим для підвищення продуктивності, тому вибір правильного методу затиску може зменшити похибки при обробці та підвищити точність обробки та продуктивність.

1.2. Характеристика об'єкту виробництва

Деталь «Кільце» (додаток 1) відноситься до тонкостінних кільцевих деталей є тілом циліндричної форми (рис. 1.2). Вся необхідна інформація для виготовлення і контролю приведена на кресленні деталі «Кільце». Зокрема, на кресленні приведені дані про матеріал та масу деталі. Також приведені технічні вимоги до точності розмірів, форми, взаємного розташування та шорсткості поверхонь.

Матеріал деталі – Сталь ШХ15СГ-ш ГОСТ 801-78. Це підшипникова сталь, яка відноситься до важкооброблюваних, та використовується для зносостійких виробів і може зміцнюватися термічно різними способами. Високий вміст вуглецю та наявність легуючих елементів дозволяє забезпечити хорошу тріщиностійкість і покращену стійкість до трибологічних навантажень і втоми металу [5].

Деталь має низьку жорсткість, що може призвести легкої деформації під час обробки. Важкодоступні місця для обробки майже відсутні, що дозволяє використовувати прогресивний різальний інструмент. Відхилення розмірів, класи шорсткості поверхонь деталі дозволяють вести чистову токарну обробку на

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

[illegible]

Матеріал деталі та її конструкція дозволяють застосовувати високопродуктивне обладнання. Технологічні вимоги до деталі дозволяють при токарній обробці та контролю її поверхонь використовувати стандартний різальний та вимірювальний інструмент. При обробці внутрішніх канавок необхідне використання токарного інструменту із спеціальною твердосплавною пластиною відповідної геометрії. Для контролю доступні задані розміри.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

Основні поверхні тонкостінної деталі «Кільце» та способи їх обробки приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Основні поверхні деталі «Кільце» та способи їх обробки

№ п/п	Назва поверхні, розміри, мм	Допуск (відхилення)	Шорсткі сть, мкм	Вид обробки
1.	2 торці, L = 80,7 мм	+0,2	Ra 5,0	Точіння
2.	Циліндрична поверхня, D = 250 мм	+0,2	Ra 5,0	Точіння
3.	2 фаски, 4,9 мм, кути 22°	+1,2 -1,0	Ra 5,0	Точіння
4.	2 отвори, D = 204,4 мм	-0,2	Ra 5,0	Розточування
5.	Отвір D = 221,25 мм	-0,2	Ra 3,2	Розточування чорнове Розточування чистове
6.	2 торці, L = 14,5 мм	+0,2	Ra 5,0	Розточування
7.	2 канавки, R=1,4 мм	+0,1 -0,1	Ra 5,0	Розточування
8.	4 фаски 1,7x45°	+0,5 -0,3	Ra 5,0	Розточування

1.3. Призначення, компоновка та кінематика вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК

Вертикальний двошпиндельний токарний верстат з ЧПУ мод.ПАБ-350 (рис. 1.3) призначений токарної обробки деталей типу тіл обертання зі сталі, чавуну, кольорових металів та інших матеріалів, у тому числі матеріалів, що вимагають застосування важких режимів різання (наприклад, з жароміцних та інструментальних сталей) в автоматичному циклі [6].

Область застосування: дрібносерійне та серійне машинобудівне виробництво. Клас точності II згідно з ГОСТ 8-82. Верстат оснащений системою ЧПУ SIEMENS SINUMERIK 840 DI E.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд верстата моделі ПАВ-350

Система керування верстату забезпечує незалежне обертання по осях C1, C2 і переміщення по осях X1, X2 і Z1, Z2 двох шпинделів. Це дозволяє впроваджувати прогресивні режими різання і повністю використовувати потенціал сучасного різального інструменту. На верстаті можна вводити корекцію інструменту незалежно на кожному шпинделі.

Основні технічні характеристики верстата наступні: найбільший діаметр заготовки, мм – 360; найбільша довжина заготовки, мм – 200; найбільший хід супортів по осі X не менше, мм – 1300, а по осі Z – 300 мм; діапазон частот обертання шпинделя, об/хв: 100-1000; максимальна швидкість перемщення супорта по осях, м/хв – 20; потужність приводу головного руху, кВт - 18,5; найбільший крутний момент на шпинделі, Нм – 900.

Загальний вигляд верстата показаний на рис. 1.4.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

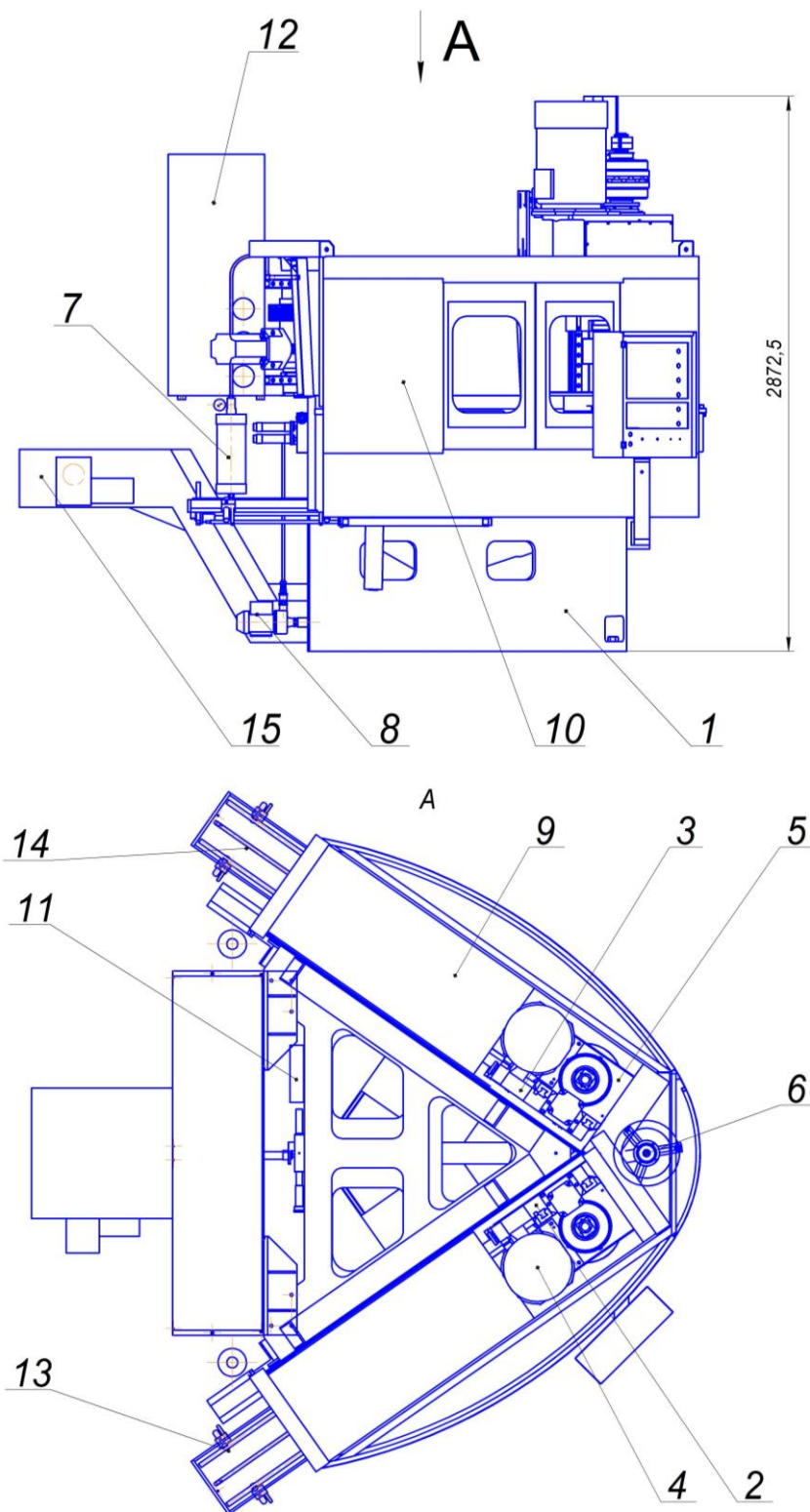


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350: 1 – станина; 2 – супорт лівий; 3 – супорт правий; 4 – бабка ліва; 5 – бабка права; 6 – перевантажувач; 7 – пневмогідророзвантажувач; 8 – система подачі ЗОР; 9 – захист робочої зони; 10 – щити огороження; 11 – пневмосистема; 12 – електрообладнання; 13 – лоток вхідний; 14 – лоток вихідний; 15 – транспортер стружки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

Одночасно здійснювати чорнову обробку на одному шпинделі і чистову на другому відбувається завдяки оптимальній конструкції станини 1 і шпиндельних бабок 4 і 5, що виключає взаємний вплив одного шпинделя на інший. Здійснення повної обробки деталі з двох сторін забезпечується за допомогою двох супортних груп 2, 3 із шпиндельними бабками 4 і 5 та пристрою перевантаження деталі (кантувача) 6. Подача заготовок та забирання готових деталей здійснюється за допомогою вхідного 13 та вихідного 14 лотків. Обробка деталей проводиться інструментом, встановленим на різцевих блоках, які жорстко з'єднанні із станиною 1. Видалення стружки із зони обробки здійснюється транспортером 15.

Кінематична схема вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350 приведена на рис. 1.5.

Приводи головного руху лівої і правої шпиндельних бабок ідентичні. Обертання на шпиндель передається від асинхронного частотно-регульованого електродвигуна номінальною потужністю $N_n=18,5$ кВт та номінальною частотою обертання $n_n=1000$ об/хв через дві циліндричні зубчаті передачі із числами зубів $z=31$, $z=53$, $z=25$ та $z=62$. Шпиндельний вузол змонтований на радіально-упорних кулькових шпиндельних підшипниках по схемі тандем «О» в передній опорі та по схемі «О» в задній опорі.

Приводи поперечних переміщень лівої і правої шпиндельних бабок також ідентичні. Горизонтальне переміщення лівого і правого супортів здійснюється від синхронних електродвигунів 1FK7083-5AF71-1AG0 фірми SIEMENS з номінальним крутним моментом $M_n=10,5$ Нм та номінальною частотою обертання $n_n=3000$ об/хв через жорсткі з'єднувальні муфти та передачі гвинт-гайка кочення з кроком $t=10$ мм. Контроль положення поперечних супортів здійснюється за допомогою оптичних лінійних датчиків положення. Приводи вертикальних переміщень лівої і правої шпиндельних бабок однакові. Вертикальні переміщення лівого і правого супортів здійснюється від синхронних електродвигунів 1FK7083-5AF71-1AH0 фірми SIEMENS з номінальним крутним моментом $M_n=10,5$ Нм та номінальною частотою обертання $n_n=3000$ об/хв через жорсткі з'єднувальні муфти та передачі гвинт-гайка кочення з кроком $t=10$ мм.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

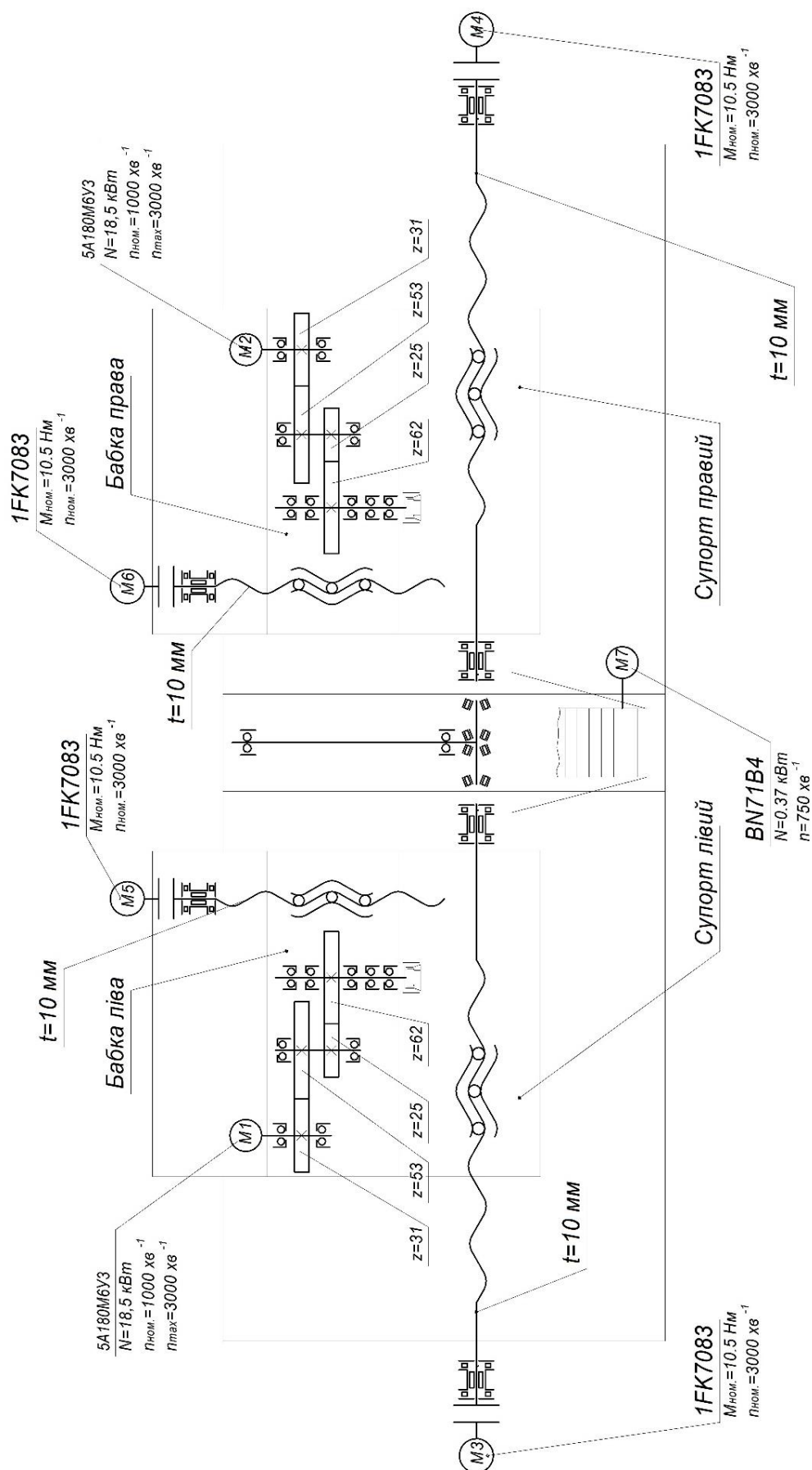


Рисунок 1.5 – Кінематична схема вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод.ПАБ-350

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

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

Контроль положення поперечних супортів здійснюється за допомогою оптичних лінійних датчиків положення.

1.4. Аналіз конструкції основних вузлів вертикального двошпindelного токарного верстата з ЧПК

Станина верстата. До складу станини входять основа 2 і траверса в зборі з підставкою 1 і блоком різцетримачів 3 (рис.1.6)

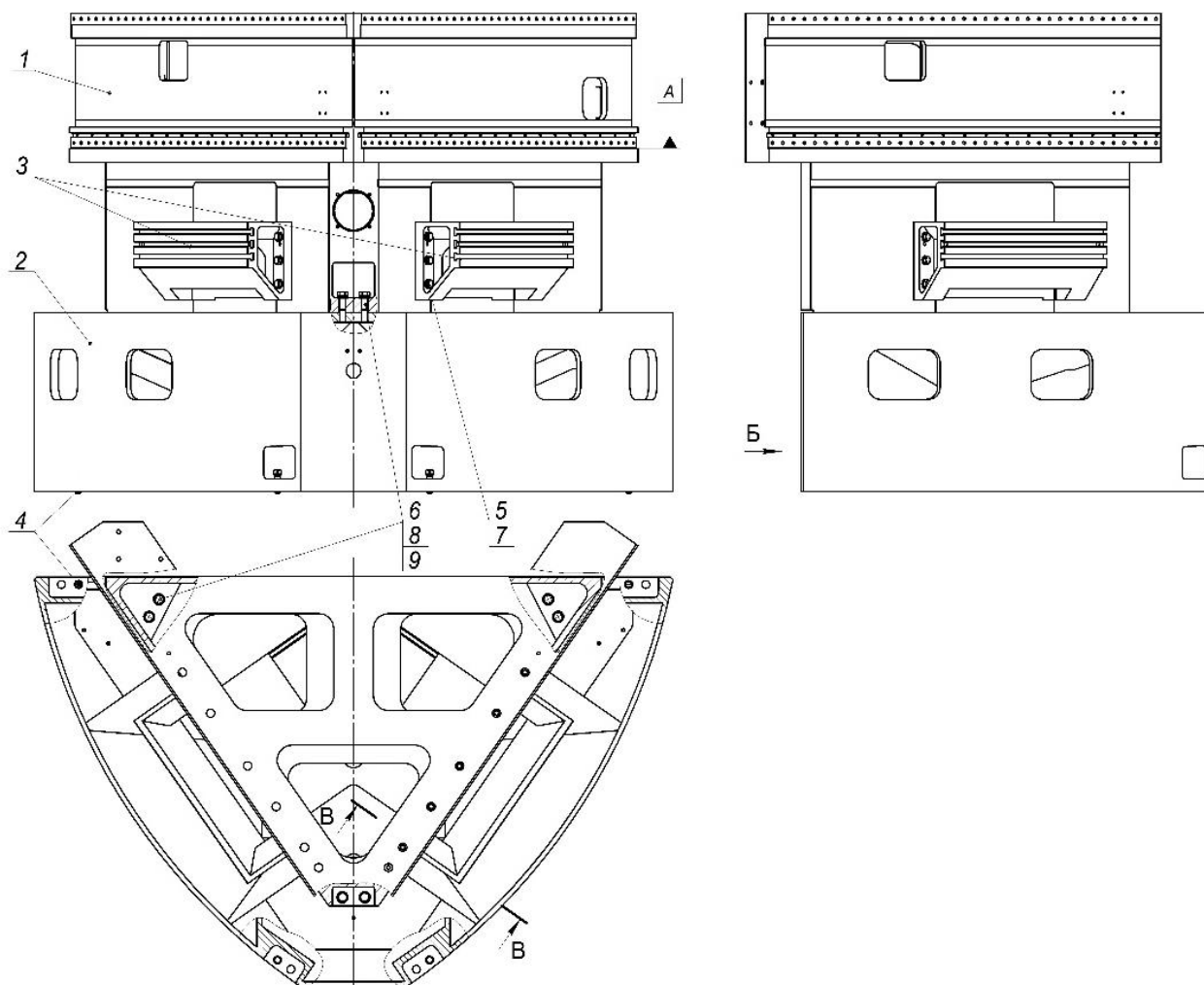


Рисунок 1.6 – Станина вертикального двошпindelного токарного верстата з ЧПК мод.ПАБ-350

Підставка є жорстким виливком, розділеним на відсіки. Середня частина служить збором стружки, яка видаляється приєднаним ззаду транспортером до приймального короба для стружки.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Відсіки ліворуч і праворуч є резервуарами для охолоджуючої рідини. На задній стінці з обох боків від транспортера закріплено два насоси, за допомогою яких ЗОР подається до робочих органів верстата. Верхня частина виконана зі скосами до центру та платиками під установку траверси у зборі з підставкою. Підставка та траверса - корпусні литі деталі, що з'єднуються гвинтами та штифтуються, потім спільно обробляються базові площини у підставці під установку блоків різцетримачів для закріплення інструменту, у траверсі - під установку направляючих для поздовжнього переміщення санчат супортів.

Лівий і правий хрестові супорти мають однакову конструкцію і принцип роботи, і розташовані на двох площинах траверси (рис.1.7). Основною деталлю кожного із супортів є санчата 11. На санчатах встановлені 4 каретки 56 і 65 для поздовжнього переміщення по двох горизонтально закріплених на траверсі напрямних 143 із захисними стрічками. Поздовжнє переміщення санчат здійснюється кулько-гвинтовою парою. Гвинт обертається в комбінованих роликових підшипниках; обертання передається від синхронного електродвигуна. У внутрішній вертикальній площині санчат розміщена поперечна кулько-гвинтова пара. Поперечний гвинт у верхній опорі обертається в комбінованих роликових підшипниках, а обертання також передається від синхронного електродвигуна. Синхронні двигуни розташовані на торцях поздовжнього та поперечного гвинтів та з'єднані з ними за допомогою компенсаційних муфт. Величина зазору-натягу в кулько-гвинтовій парі регулюється заводам виробником за допомогою повороту гайок кулько-гвинтової пари відносно один одного.

На передній площині санчат вертикально закріплені дві напрямні із захисними стрічками для вертикального переміщення шпindelної бабки.

На траверсі закріплені дві поздовжні лінійки 15 із кулачками. На бічній площині санчат знаходиться блок кінцевих вимикачів, що взаємодіє при переміщенні супорта вліво або вправо з кулачками поздовжньої лінійки. У ситуаціях, коли відбувається наїзд кінцевого вимикача на кулачок аварійного відключення, відбувається аварійне вимкнення. Аналогічно спрацьовують кулачки поперечної лінійки 16, закріпленої на бічній поверхні санчат, які

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

призначені для обмеження перебігу шпиндельної бабки при контакті з кінцевими вимикачами шпиндельної бабки.

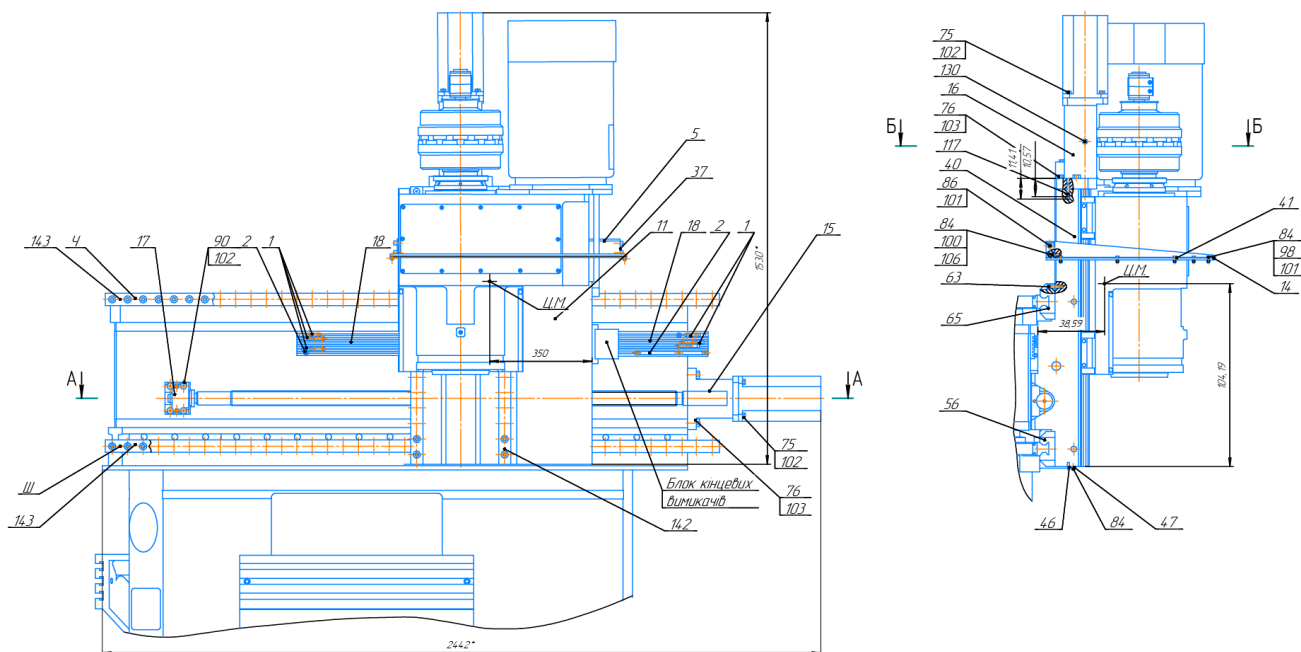


Рисунок 1.7 – Лівий хрестовий супорт вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод.ПАБ-350

Усередині санчат знаходиться порожнина високого тиску У, в якій ходить шток 27, що є також і поршнем. Шток підпирає корпус шпиндельної бабки для компенсації її ваги. При опусканні бабки в крайнє нижнє положення шток упирається в пружну склянку 25, що є в даному випадку амортизатором. Масло під тиском подається в порожнину від пневмогідророзвантажувача через шланг високого тиску.

Шпиндельні бабки ліва та права (рис. 1.8) мають однаковий принцип роботи та розташовані відповідно на лівому та правому супорті. На корпусі 4 шпиндельної бабки закріплені чотири каретки 54 з пазами для переміщення бабки вертикальними напрямними санчат. Переміщення обмежене взаємодією поперечної лінійки та кінцевих вимикачів. Зверху на корпусі закріплений головний електродвигун, обертання від нього передається через дві зубчасті пари на лінію шпинделя. Задня опора шпинделя є дуплексом радіально-упорних підшипників, передня триплексом таких же підшипників. Шпиндельні

підшипники регулюються на заводі-виробнику верстата та не вимагають додаткового регулювання в процесі експлуатації.

Верхній кінець шпинделя з'єднаний з пневмоциліндром, за допомогою якого здійснюється затискання і розтискання заготовки.

У порожнину шпиндельної бабки заливається олія. При обертанні двигуна масло за допомогою розбризкувача 33 похилими каналами потрапляє на зубчасті колеса. Рівень олії контролюється за допомогою жезлового масловказівника 44, 45.

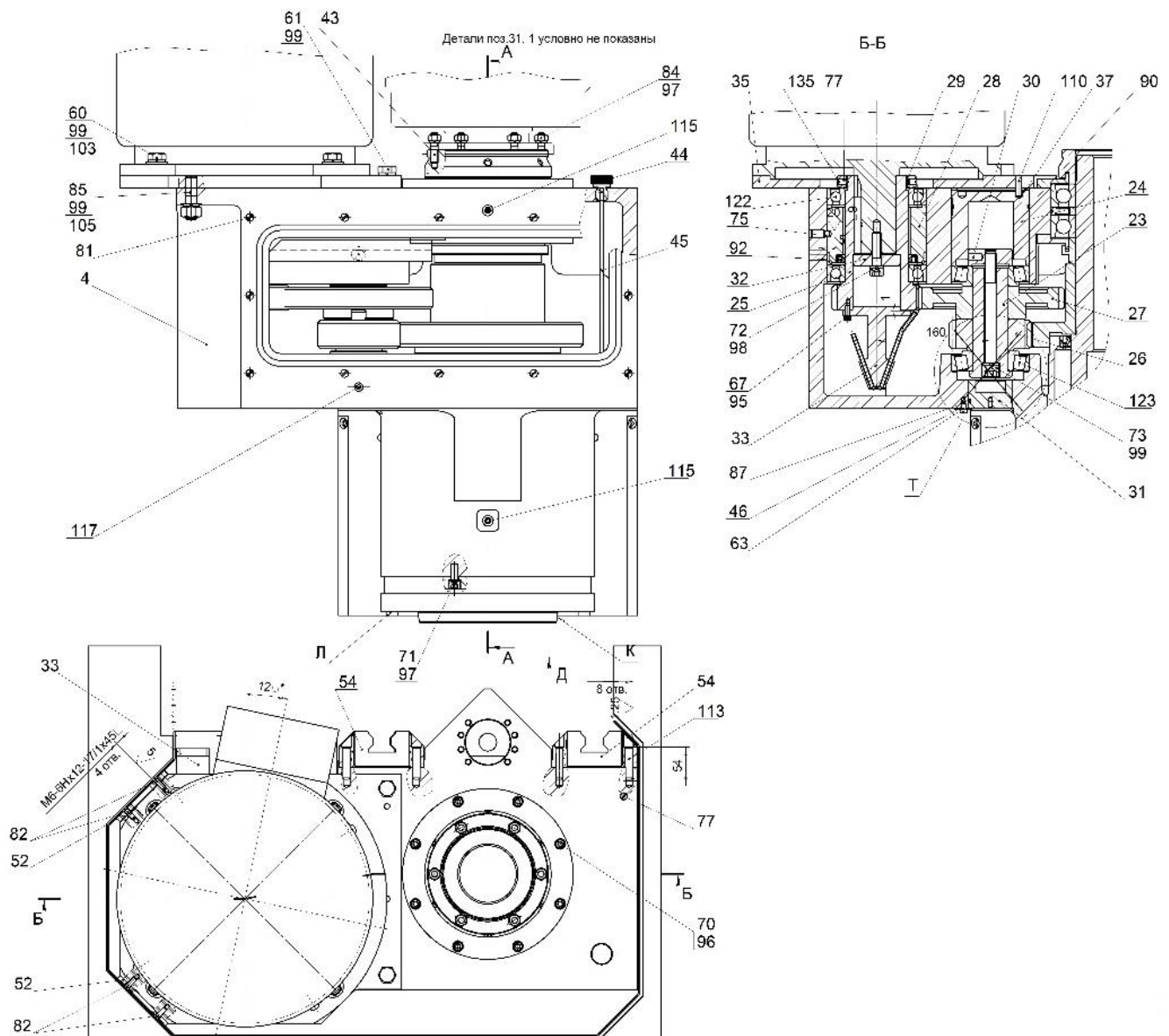


Рисунок 1.8 – Ліва шпиндельна бабка вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод.ПАБ-350

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

1.5. Аналіз конструкції приводів головного руху вертикальних токарних верстатів з ЧПК

Класифікація приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК приведена на рис. 1.9) [7, 8].



Рисунок 1.9 – Класифікація приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК

Найбільш поширеними в сучасних токарних верстатах з ЧПК є такі конструкції приводів [9]:

- з електродвигуном розміщеним на основі верстата та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном розміщеним на основі верстата, планетарним редуктором та пасовою передачею на шпиндель;
- з електродвигуном вбудованим в конструкцію шпиндельного вузла співвісно шпинделю (з моторшпинделем).

Прямі приводи головного руху з пасовою передачею не передбачають розширювальної коробки швидкостей (рис.1.10). Технологічні можливості такого приводу визначаються силовими характеристиками привідного двигуна, тобто він

вибирається із більшою потужністю, ніж розрахункова на шпинделі верстата, що дозволяє розширити діапазон регулювання з постійною потужністю. Основне застосування цього типу приводу – верстати з порівняно невеликою потужністю і високою частотою обертання шпинделя. Оскільки цикл автоматичної токарної обробки деталей на таких верстатах невеликий, то привідний двигун приводу доцільно вибрати з врахуванням короточасного (до 40%) підвищення його потужності [7, 8].



Рисунок 1.10 – Привід головного руху токарного верстата з ЧПК з пасовою передачею

Приводи головного руху з планетарною коробкою швидкостей та пасовою передачею (рис. 1.11) застосовуються переважно в конструкції токарних верстатів з ЧПК для обробки деталей широкої номенклатури [9]. На них поєднують чистову обробку деталей з попередньою обробкою зі значними перетинами зрізів, коли частота обертання може бути не висока, а споживана потужність значна. Як правило, в привіді використовується двоступеневий планетарний редуктор із передавальними відношеннями 1:1 та 1:4 [9]. Це дає можливість розширити діапазон регулювання приводу в режимі постійної потужності в бік низьких частот до чотирьох разів і, як наслідок, можливість обробки заготовок з повною потужністю [9].

Перевагою планетарних коробок є їх компактність та безшумна робота навіть на високих швидкостях обертання шпинделя [9].

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

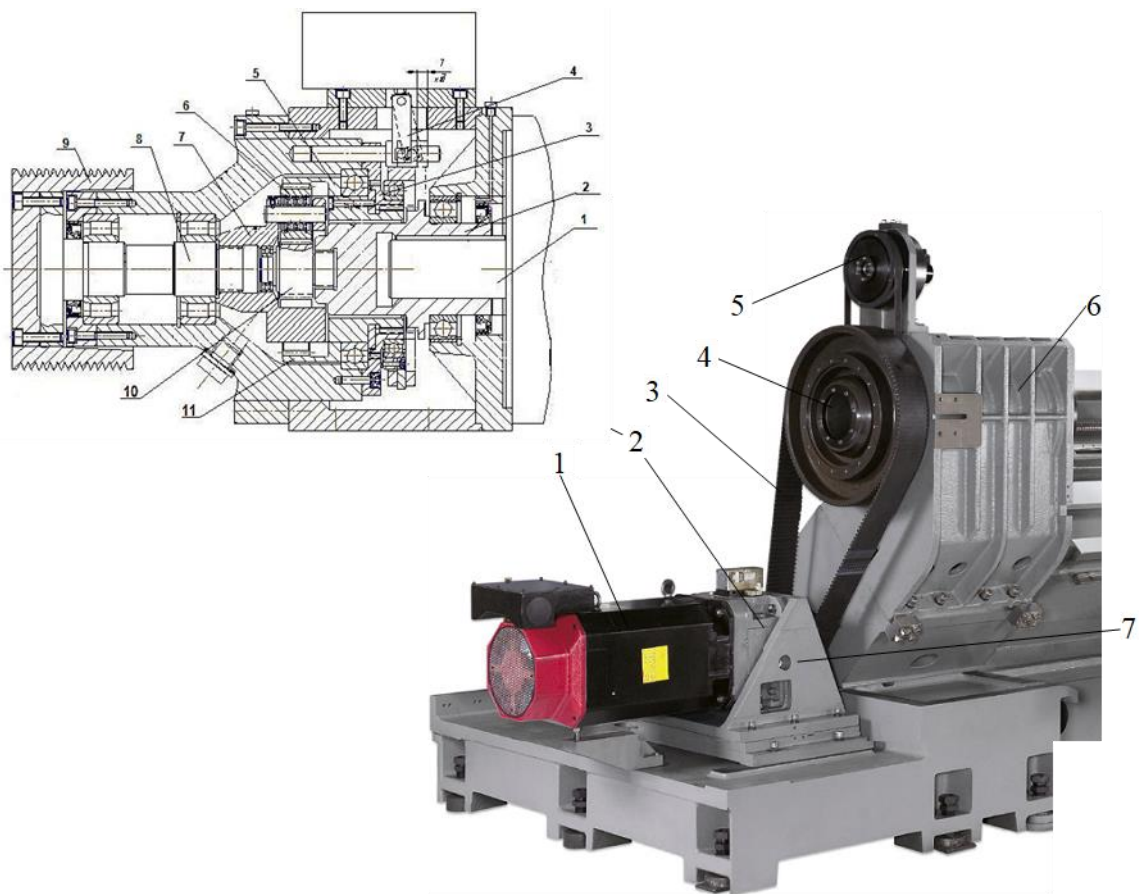


Рисунок 1.11 – Привід головного руху токарного верстата з ЧПК з планетарною коробкою швидкостей: 1 – привідний двигун; 2 – планетарна коробка швидкостей; 3 – пасова передача; 4 – шпиндель; 5 – вимірювальна система; 6 – шпиндельна бабка; 7 – плита кріплення привідного двигуна з планетарною коробкою швидкостей

Привід головного руху токарних верстатів з ЧПК у вигляді моторшпинделя має компактну конструкцію та невелику масу (рис.1.12). Габарити шпиндельної бабки в таких приводах будуть визначатися розмірами елементів привідного асинхронного чи синхронного двигуна [7-9].

Моторшпинделі являють собою уніфіковані мехатронні пристрої і поставляються в комплекті з електронним перетворювачем частоти обертання. Вбудований двигун має меншу інерцію, порівнюючи зі звичайними приводами з пасовими передачами та коробками швидкостей, а також забезпечує швидше прискорення й підвищує загальну ефективність.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

23

Використання моторшпинделів в якості приводу головного руху дозволяє зменшити рівні вібрацій і шуму, втрати енергії та масу верстата [7-9].

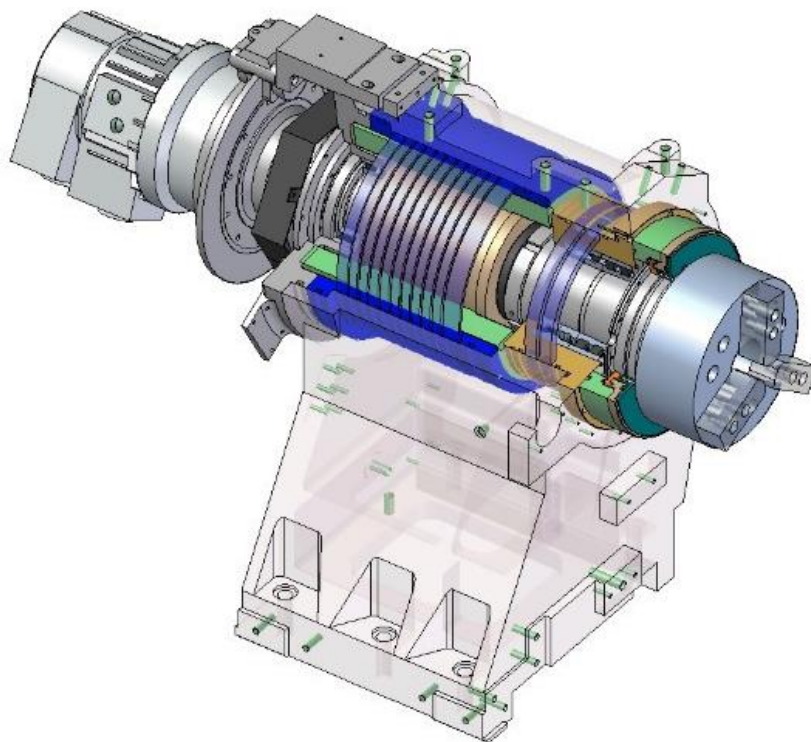


Рисунок 1.12 – Привід головного руху токарного верстата з ЧПК у вигляді моторшпинделя

1.6. Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Використання сучасних інструментальних матеріалів при токарній обробці забезпечують швидкості різання 300–600 м/хв і вище [7, 9]. Тому приводи головного руху сучасних токарних верстатів з ЧПК повинні забезпечувати такі швидкості різання шляхом забезпечення високих частот обертання шпинделя і мати значну потужність..

На даний час все частіше в приводах головного руху токарних верстатів з ЧПК використовуються асинхронні регульовані двигуни змінного струму, які на відміну від регульованих двигунів постійного струму простіші за конструкцією і володіють більшою надійністю (так як відсутні щіткові вузли), особливо при високих частотах обертання шпинделя [7-9]. Останні моделі асинхронних

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

регульованих двигунів ведучих закордонних фірм мають розширений діапазон регулювання при постійній потужності, а також порівняно невеликі габарити і масу. Окрім того, ці двигуни при відповідному керуванні дозволяють здійснити обертання шпинделя в режимі приводу подачі (по координаті С). Це можливо завдяки високим характеристикам точності обертання в області низьких частот обертання (долі оберту в хвилину) [7-9].

Основний напрямок модернізації компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК – спрощення конструкції приводу головного руху та підвищення продуктивності за рахунок заміни зубчатих передач з проміжним валом на зубчатопасову передачу та підвищення частоти обертання шпиндельного вузла. Завдяки цьому повинні зменшитися динамічні коливання в приводі головного руху за рахунок зменшення обертових мас та підвищення крутильної жорсткості приводу [10].

Основні завдання:

1. Дати характеристику циліндричним тонкостінним деталям та описати проблеми, які виникають при їх токарній обробці. Проаналізувати вимоги, які ставляться до виготовлення тонкостінної кільцевої деталі.
2. Описати призначення, компоновку та кінематику вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350. Провести аналіз конструкції основних вузлів вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК мод. ПАБ-350.
3. Провести аналіз конструкції приводів головного руху вертикальних токарних верстатів з ЧПК та вибрати напрямок модернізації компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК.
4. Розробити операційну технологію обробки тонкостінного кільця на двошпиндельному вертикальному токарному верстаті з ЧПК.
5. Обґрунтувати та вибрати різальний, допоміжний та контрольновимірювальний інструменти. Провести вибір режимів різання по переходах технологічної операції.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. Провести вибір двигуна приводу головного руху. Провести проєктний і перевірочний розрахунки зубчатопасової передачі модернізованої шпиндельної бабки. Провести розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість та автоматизований розрахунок деформацій шпинделя.

7. Передбачити заходи по охороні праці та безпеці життєдіяльності.

					<i>КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

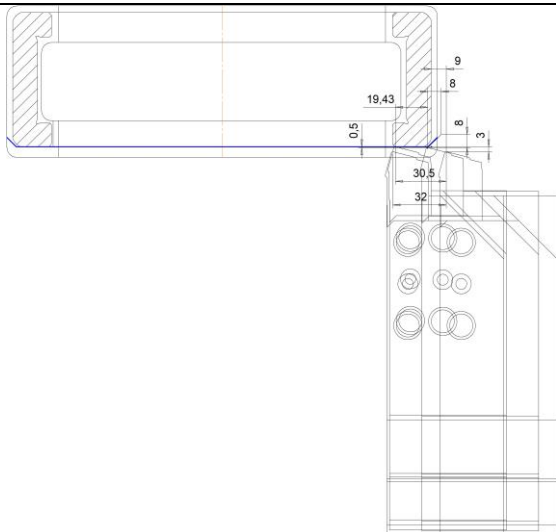
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Проектування операційної технології обробки деталі та двошпindelьному вертикальному токарному верстаті з ЧПК

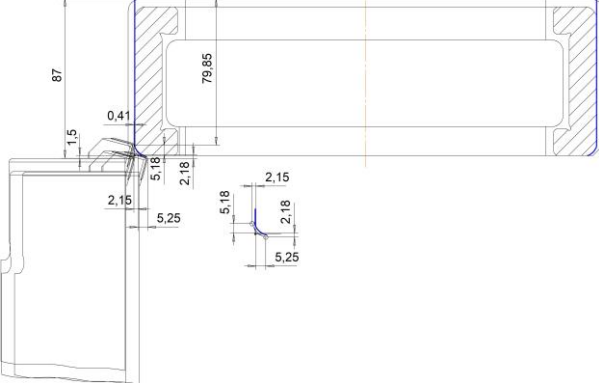
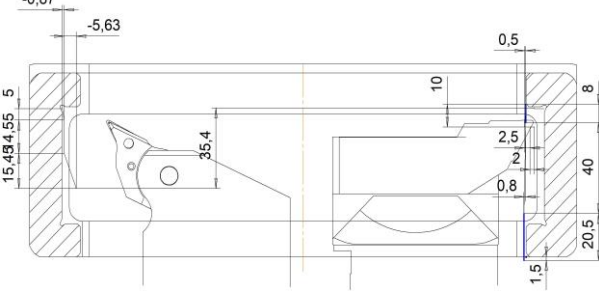
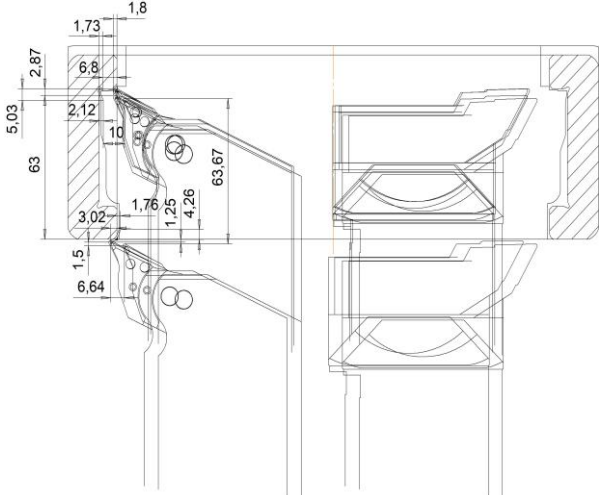
Необхідна точність розмірів, шорсткість оброблюваної поверхні та обрана схема базування впливає на порядок механічної обробки окремих поверхонь [11-15]. При цьому операції технологічного процесу обробки бувають чорнові та чистові. Це викликається як технічними вимогами забезпечення точності розмірів, так і відносного положення і якості поверхонь деталі [11-15].

На основі проведеного аналізу обробки поверхонь і технологічних можливостей двошпindelьного вертикального токарного верстата з ЧПК пропонується варіант операційної технології механічної обробки тонкостінної кільцевої деталі, який приведений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Операційна технологія механічної обробки тонкостінної деталі

№ з/п	Схема обробки	Перехід
Обробка на лівій шпindelьній бабці (установ 1)		
1		1. Точити торець в розмір $82,7^{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм 2. Точити торець в розмір $81,7^{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм начисто

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Технологічний розділ				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Фурдела А.А.								Н		27	11
Перевірів	Буховець В.М.											
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль							

2		1. Обточити деталь в розмір $\varnothing 250,85^{+0,25}$ напрохід 2. Точити фаску витримавши розміри $4,9 \pm 1,0$; $4,8 \pm 1,0$; $22^\circ \pm 30'$
3		1. Розточити отвір до $\varnothing 202,4^{+0,25}$ напрохід 2. Розточити отвір до $\varnothing 212^{+0,25}$ витримавши розміри $65,7 \pm 0,15$; $4,8 \pm 1,0$; $22^\circ \pm 30'$ 3. Розточити отвір до $\varnothing 219,5^{+0,25}$ витримавши розміри $43,8 \pm 0,15$; $67 \pm 0,15$; $159^\circ \pm 30'$
4		1. Підрізати внутрішній торець начисто витримуючи розмір $65,9_{-0,1}$. 2. Розточити фаску $1,5 \times 45^\circ$ 3. Розточити фаску витримуючи розміри $R2,4$; $2,1 \pm 0,3$; $2 \pm 0,3$; $22^\circ \pm 30'$. 4. Розточити канавку в розмірі: $R1,4$; $\varnothing 221,25_{-0,2}$; $5,1^{+0,3}$; $1,1_{-0,2}$; $2^{+0,3}$

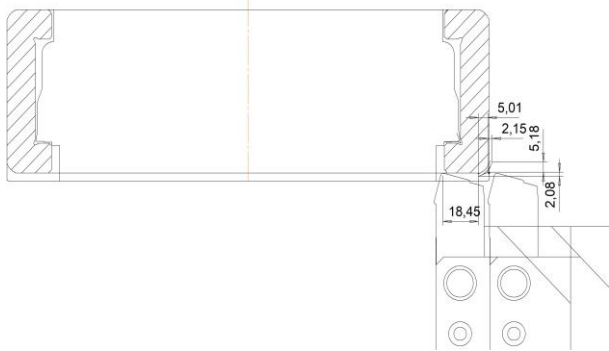
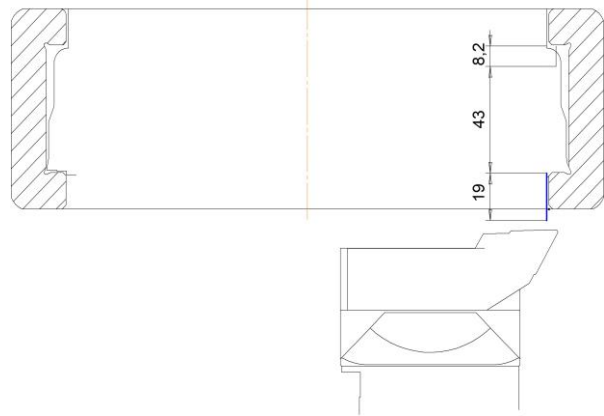
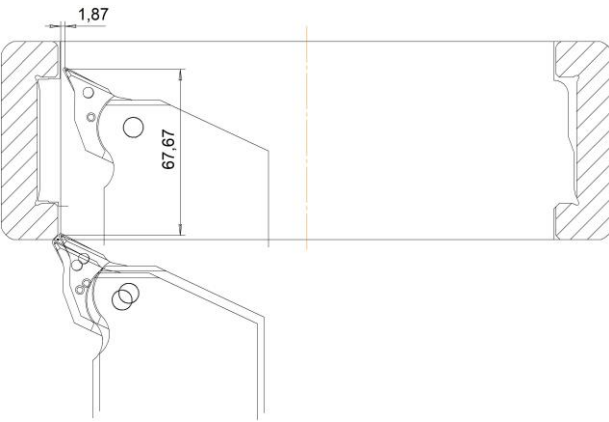
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

28

Обробка на правій шпиндельній бабці (установ 2)

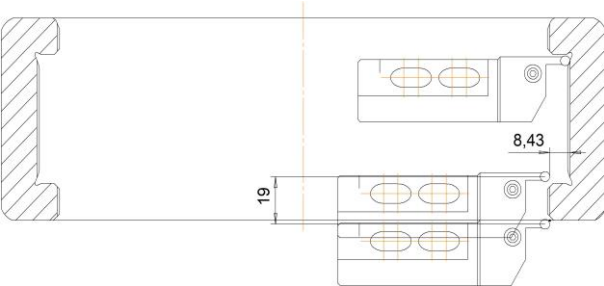
1		1. Точити торець в розмір $80,7^{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм 2. Точити фаску витримавши розміри $4,9 \pm 1,0$; $4,8 \pm 1,0$; $22^\circ \pm 30'$
2		1. Розточити отвір до $\varnothing 202,4^{+0,25}$ напрохід 2. Розточити отвір до $\varnothing 219^{+0,25}$ з витримавши розміри $64,5 \pm 0,15$; $79^\circ \pm 30'$ 3. Розточити отвір до $\varnothing 221^{+0,25}$ з підрізкою внутрішнього торця витримавши розміри $65,5 \pm 0,15$; $79^\circ \pm 30'$
3		1. Розточити фаску $1,7 \times 45^\circ$. 2. Розточити канавку в розмірі: $R1,4$; $\varnothing 221,25_{-0,2}$; $5,1^{+0,3}$; $1,1_{-0,2}$; $2^{+0,3}$ 3. Розточити фаску витримуючи розміри $1,5 \times 45^\circ$; $14,5^{+0,2}$.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

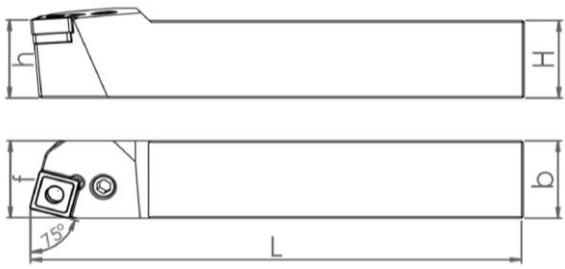
29

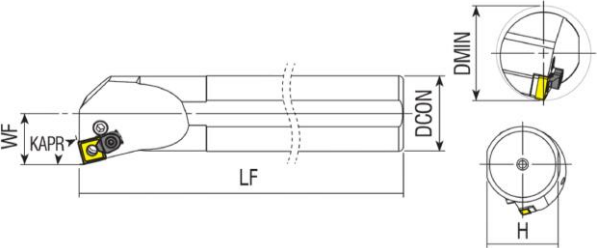
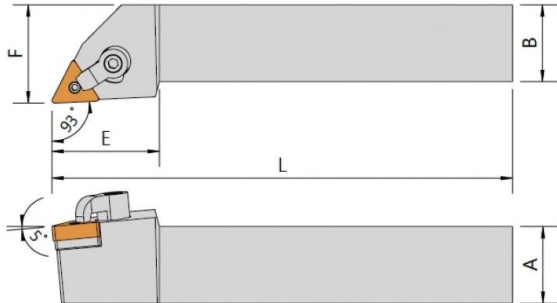
4		1. Розточити отвір до $\varnothing 204,4_{+0,2}$ напрохід 2. Розточити начисто отвір до $\varnothing 221,25_{-0,2}$ на всю довжину між внутрішніми канавками
---	---	--

2.2. Обґрунтування та вибір різального та допоміжного інструментів

Вибір і обґрунтування різального та допоміжного інструментів виконуємо згідно рекомендацій [11-16]. Результати вибору записуємо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Вибраний різальний та допоміжний інструменти

Перехід	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
Обробка на лівій шпиндельній бабці (установ 1)		
1. Точити торець в розмір $82,7_{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм 2. Точити торець в розмір $81,7_{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм начисто	Різець PSBNR 2525M15 Пластина SNMM 15 06 12PR GC 4015 	Оправка для різця спеціальна

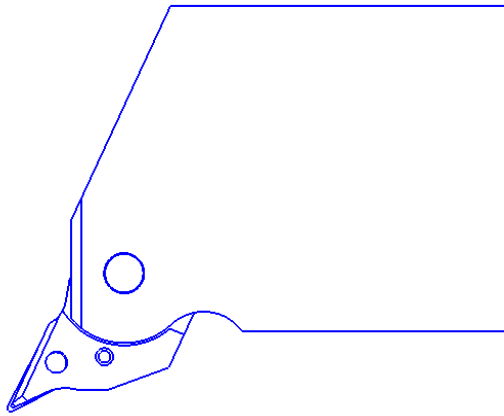
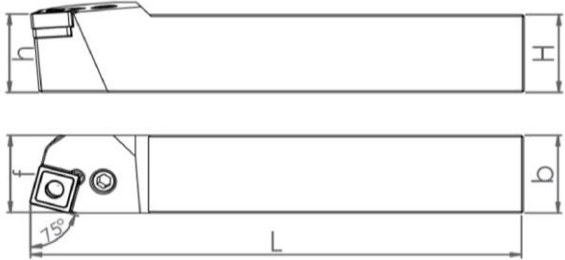
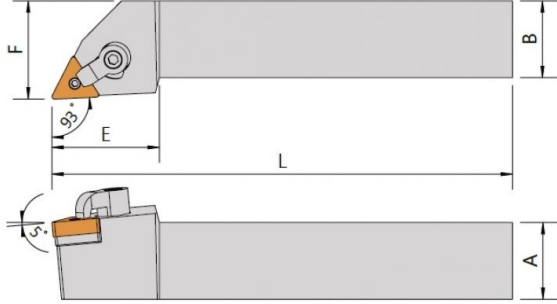
1. Обточити деталь в розмір $\varnothing 250,85^{+0,25}$ напрохід 2. Точити фаску витримавши розміри $4,9 \pm 1,0$; $4,8 \pm 1,0$; $22^\circ \pm 30'$	Різець-PSKNR 16CA-12 Пластина SNMG 12 04 12-QM GC 4015 	Оправка для різця спеціальна
1. Розточити отвір до $\varnothing 202,4^{+0,25}$ напрохід 2. Розточити отвір до $\varnothing 212^{+0,25}$ витримавши розміри $65,7 \pm 0,15$; $4,8 \pm 1,0$; $22^\circ \pm 30'$ 3. Розточити отвір до $\varnothing 219,5^{+0,25}$ витримавши розміри $43,8 \pm 0,15$; $67 \pm 0,15$; $159^\circ \pm 30'$	Різець MTJNR 2525M22 Д Пластина TNMM 22 04 12 PR GC 4015 	Оправка для різця спеціальна
1. Підрізати внутрішній торець витримуючи розмір $65,9_{-0,1}$. 2. Розточити фаску $1,5 \times 45^\circ$. 3. Розточити фаску витримуючи розміри R2,4;	Різець спеціальний канавочний 0657 - 0000 - 101 - 001A Пластина VBMТ 16 04 08-PM GC4025	Оправка для різця спеціальна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

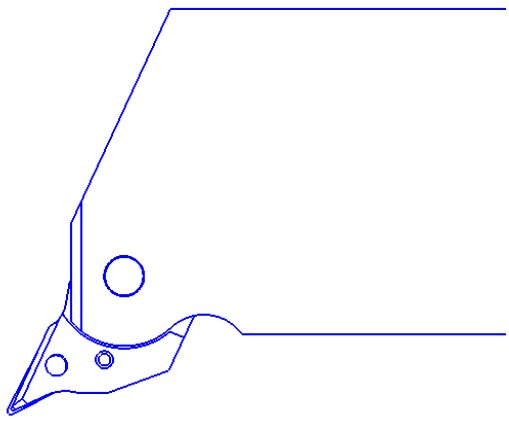
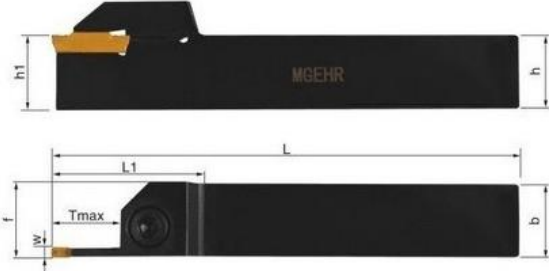
2,1$\pm$0,3; 2$\pm$0,3; 22°$\pm$30'. 4. Розточити канавку в розміри: R1,4; $\varnothing$21,25$_{-0,2}^{0}$; 5,1$^{+0,3}_{-0,2}$; 1,1$_{-0,2}^{+0,3}$; 2$^{+0,3}_{-0,2}$		Оправка для різця спеціальна
Обробка на правій шпиндельній бабці (установ 2)		
1. Точити торець в розмір 80,7$^{+0,2}_{-0,2}$ з $\varnothing$251 мм до $\varnothing$ 200 мм 2. Точити фаску витримавши розміри 4,9$\pm$1,0; 4,8$\pm$1,0; 22°$\pm$30'	Різець PSBNR 2525M15 Пластина SNMM 15 06 12PR GC 4015 	Оправка для різця спеціальна
1. Розточити отвір до $\varnothing$202,4$^{+0,25}_{-0,25}$ напрохід 2. Розточити отвір до $\varnothing$219$^{+0,25}_{-0,25}$ з витримавши розміри 64,5$\pm$0,15; 79°$\pm$30' 3. Розточити отвір до $\varnothing$221$^{+0,25}_{-0,25}$ витримавши розміри 65,5$\pm$0,15; 79°$\pm$30'	Різець MTJNR 2525M22 Д Пластина TNMM 22 04 12 PR GC 4015 	Оправка для різця спеціальна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

32

1. Розточити фаску 1,7x45°. 2. Розточити канавку в розмірі: R1,4; Ø221,25_{-0,2}; 5,1^{+0,3}; 1,1_{-0,2}; 2^{+0,3} 3. Розточити фаску витримуючи розміри 1,5 x45°; 14,5^{+0,2}.	Різець спеціальний канавочний 0657 - 0000 - 101 - 001A Пластина VBMT 16 04 08-PM GC4025 	Оправка для різця спеціальна
1. Розточити отвір до Ø204,4_{+0,2} напрохід 2. Розточити начисто отвір до Ø221,25_{-0,2} на всю довжину між внутрішніми канавками	Різець спеціальний канавочний розточний RF 123G10-2525ВД Пластина N123 G2-0400-RM GC4025 	Оправка для різця спеціальна

2.3. Обґрунтування та вибір контрольно-вимірювального інструменту

Вибір і обґрунтування контрольно-вимірювального інструментів виконуємо згідно рекомендацій [11-16]. Результати вибору записуємо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Вибраний вимірювальний допоміжний інструменти

Перехід	Вимірювальний інструмент
Обробка на лівій шпиндельній бабці (установ 1)	
1. Точити торець в розмір $82,7+0,2$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм 2. Точити торець в розмір $81,7+0,2$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм начисто	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
1. Обточити деталь в розмір $\varnothing 250,85^{+0,25}$ напрохід. 2. Точити фаску витримавши розміри $4,9\pm 1,0$; $4,8\pm 1,0$; $22^\circ\pm 30'$	Штангенциркуль ШЦ-III-300-0,02 IDF (Італія) Шаблон для фаски
1. Розточити отвір до $\varnothing 202,4^{+0,25}$ напрохід 2. Розточити отвір до $\varnothing 212^{+0,25}$ витримавши розміри $65,7\pm 0,15$; $4,8\pm 1,0$; $22^\circ\pm 30'$ 3. Розточити отвір до $\varnothing 219,5^{+0,25}$ витримавши розміри $43,8\pm 0,15$; $67\pm 0,15$; $159^\circ\pm 30'$	Штангенциркуль ШЦ-III-300-0,02 IDF (Італія) Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
1. Підрізати внутрішній торець витримуючи розмір $65,9_{-0,1}$. 2. Розточити фаску $1,5\times 45^\circ$. 3. Розточити фаску витримуючи розміри $R2,4$; $2,1\pm 0,3$; $2\pm 0,3$; $22^\circ\pm 30'$. 4. Розточити канавку в розміри: $R1,4$; $\varnothing 221,25_{-0,2}$; $5,1^{+0,3}$; $1,1_{-0,2}$; $2^{+0,3}$	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80 Шаблон для фаски Шаблон для канавки
Обробка на правій шпиндельній бабці (установ 2)	
1. Точити торець в розмір $80,7^{+0,2}$ з $\varnothing 251$ мм до $\varnothing 200$ мм 2. Точити фаску витримавши розміри $4,9\pm 1,0$; $4,8\pm 1,0$; $22^\circ\pm 30'$	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80 Шаблон для фаски

1. Розточити отвір до $\varnothing 202,4^{+0,25}$ напрохід	Штангенциркуль ШЦ-ІІІ-300-0,02
2. Розточити отвір до $\varnothing 219^{+0,25}$ з витримавши розміри $64,5 \pm 0,15$; $79^\circ \pm 30'$	IDF (Італія) Штангенциркуль ШЦ-І-250-0,05
3. Розточити отвір до $\varnothing 221^{+0,25}$ витримавши розміри $65,5 \pm 0,15$; $79^\circ \pm 30'$	ГОСТ 161-80
1. Розточити фаску $1,7 \times 45^\circ$.	Штангенциркуль ШЦ-І-250-0,05
2. Розточити канавку в розміри: $R1,4$; $\varnothing 221,25_{-0,2}^{+0,3}$; $5,1_{-0,2}^{+0,3}$; $1,1_{-0,2}^{+0,3}$; $2_{-0,2}^{+0,3}$	ГОСТ 161-80 Шаблон для фаски
3. Розточити фаску витримуючи розміри $1,5 \times 45^\circ$; $14,5_{-0,2}^{+0,2}$.	Шаблон для канавки
1. Розточити отвір до $\varnothing 204,4_{+0,2}$ напрохід	Нутромір НІ 250-450 мм,
2. Розточити начисто отвір до $\varnothing 221,25_{-0,2}$ на всю довжину між внутрішніми канавками	індикаторний, глибина 40 мм, ціна поділки 0,01 мм, IDF (Італія) Штангенциркуль ШЦ-І-250-0,05 ГОСТ 161-80

2.4. Вибір режимів різання для токарної операції з ЧПК

Вибір режимів різання для токарної операції з ЧПК, яка здійснюється на вертикальному двошпиндельному токарному верстаті з ЧПК мод. ПАБ-350 інструментами Iscar здійснюємо згідно рекомендацій [16].

1. Підрізання торців з обох сторін.

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо для чорнової обробки:

- швидкість різання $v=260$ м/хв;
- позовжню подачу $s=0,5$ мм/об.

Частота обертання шпинделя для чорнової обробки дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 260 / 3,14 \cdot 250 = 312 \text{ об/хв.}$$

2. Точіння зовнішньої циліндричної поверхні напрохід.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо:

- швидкість різання $V=200$ м/хв;
- поздовжню подачу $s=0,4$ мм/об.

Частота обертання шпинделя дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 200 / 3,14 \cdot 251 = 250 \text{ об/хв.}$$

3. Точіння зовнішніх фасок на циліндричній поверхні

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо:

- швидкість різання $V=200$ м/хв;
- поздовжню подачу $s=0,25$ мм/об.

Частота обертання шпинделя дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 200 / 3,14 \cdot 250 = 250 \text{ об/хв.}$$

4. Розточування внутрішніх отворів до $\varnothing 202,4$ мм напрохід та до $\varnothing 212$ мм і $\varnothing 219,5$ мм

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо:

- швидкість різання $V=200$ м/хв;
- поздовжню подачу при розточуванні отвору до $\varnothing 202,4$ мм напрохід $s=0,4$ мм/об;

- поздовжню подачу при розточуванні отвору до $\varnothing 212$ мм $s=0,4$ мм/об;

- поздовжню подачу при розточуванні отвору до $\varnothing 219,5$ мм $s=0,35$ мм/об;

Частота обертання шпинделя при розточуванні отвору до $\varnothing 202,4$ мм дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 200 / 3,14 \cdot 202,4 = 315 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання шпинделя при розточуванні отвору до $\varnothing 212$ мм дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 200 / 3,14 \cdot 212 = 300 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання шпинделя при розточуванні отвору до $\varnothing 219,5$ мм дорівнюватиме:

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 200 / 3,14 \cdot 219,5 = 280 \text{ об/хв.}$$

5 Розточування внутрішніх фасок та канавок

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо:

- швидкість різання $V=235 \text{ м/хв}$;
- поздовжню подачу при обробці канавок $s=0,25 \text{ мм/об}$;
- поздовжню подачу при обробці фасок $s=0,15 \text{ мм/об}$;

Частота обертання шпинделя при обробці канавок дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 235 / 3,14 \cdot 221 = 344 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання шпинделя при обробці фасок дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 235 / 3,14 \cdot 208 = 360 \text{ об/хв.}$$

6. Розточування чистове внутрішніх поверхонь до $\varnothing 204,4 \text{ мм}$ напрохід та до $\varnothing 221,25 \text{ мм}$

Виходячи з рекомендацій щодо застосування різального інструменту [16] призначаємо:

- швидкість різання $V=230 \text{ м/хв}$;
- поздовжню подачу $s=0,35 \text{ мм/об}$;

Частота обертання шпинделя при обробці внутрішніх поверхонь до $\varnothing 204,4 \text{ мм}$ напрохід дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 230 / 3,14 \cdot 204,4 = 360 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання шпинделя при обробці фасок дорівнюватиме:

$$n = 1000V/\pi D = 1000 \cdot 235 / 3,14 \cdot 221,25 = 330 \text{ об/хв.}$$

Отримані значення режимів різання заносимо в карти операційної технології обробки тонкостінного кільця на лівому і правому шпинделі (лист 2 та лист 3 графічної частини кваліфікаційної роботи бакалавра).

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Модернізація компонентів шпиндельної бабки вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК

3.1.1. Вибір і розрахунок основних технічних характеристик приводу головного руху

Розмірні характеристики приводу головного руху визначають граничні діаметр і довжину оброблюваних деталей на вертикальному двошпиндельному токарному верстаті з ЧПК. Приймаємо як у верстата ПАБ-350 максимальний діаметр обробки – $D_{max}=350$ мм та максимальну довжину встановлюваної деталі – $H_{max}=200$ мм. Приєднувальні розміри кінця шпинделя вертикального токарного верстата з ЧПК показані на рис.3.1.

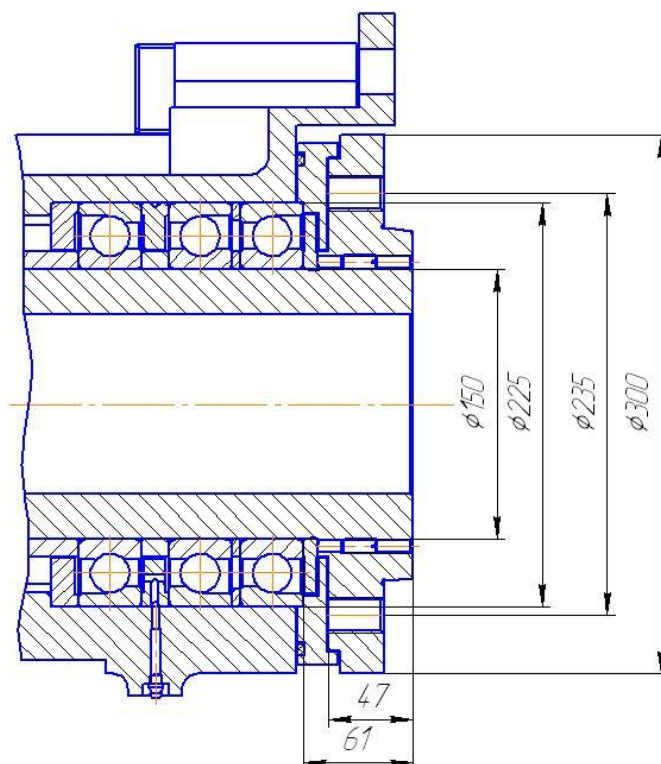


Рисунок 3.1 – Приєднувальні розміри кінця шпинделя

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Конструкторський розділ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Фурдела А.А.							Н		38	22
Перевірів	Буховець В.М.										
Н. контр.	Кобельник В.Р.										
Затв.	Крупа В.В.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль						

Технологічні характеристики визначають службове призначення верстата, виконувані технологічні операції, матеріал, вид і послідовність обробки заготовок, використовуваний інструмент, послідовність і режими обробки, число одночасно оброблюваних деталей.

Призначаємо подачу при чистовій токарній обробці з досягненням параметрів шорсткості $Ra=1,25$ за [14, 15]:

- точіння - $S=0,21$ мм/об – для конструкційної сталі і чавуну.
- розточування для конструкційної сталі - $S=0,7$ мм/об.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (3.1)$$

де C_v , m , x , y – коефіцієнт, що враховує умови обробки та показники ступеня;

T – стійкість інструменту;

Отримані дані зводимо у табл. 3.1.

На даному верстаті будуть оброблятися деталі типу кілець і фланців, для затиску яких в патроні приймаємо мінімальний діаметр:

$$d_{min} = \frac{1}{5} D_{max} = \frac{1}{5} \cdot 350 \approx 70 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d_{min}=70$ мм.

Розрахункові дані для розрахунку швидкості різання приведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1. Розрахункові дані для розрахунку швидкості різання

	Чорнова обробка				Чистова обробка
	Точіння		Розточування		
	Сталь	Чавун	Сталь	Чавун	
C_v	340	314	340	314	420
T	30	30	30	30	60
m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
t	5	5	5	5	5
x	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

S	1,2	1,9	0,7	1,2	0,21
y	0,45	0,2	0,45	0,2	0,15

Розрахуємо граничні режими різання для обробки кілець виготовлених з конструкційної сталі, а також сірого чавуну.

Приймаємо для розрахунку прохідний упорний різець з наступною геометрією різальної частини: $\varphi=45$, $\varphi_1=30$, $\lambda=-5$, $\alpha=10$, $r=2$, $\gamma=10$. Для конструкційної сталі приймаємо різець з пластиною Т15К6; для чавуну – ВК6.

Призначаємо режими різання:

- для чорнової обробки – $t=5$ мм.
- для чистової – $t=0,5$ мм.

Згідно рекомендацій [14, 15] максимальна подача для чорнової обробки призначається в залежності від міцності матеріалу різальної частини: $S=1,2$ мм/об – для конструкційної сталі; $S=1,9$ мм/об – для чавуну.

Визначаємо K_v :

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r \cdot K_{\varphi 1}, \quad (3.2)$$

$$\text{де } K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} - \text{для сталі}; \quad K_{mv} = \left(\frac{190}{\hat{I} \hat{A}} \right)^{n_v} - \text{для чавуну}; \quad K_r = 0,9, \quad n_v = 1,$$

$$\sigma_B = 650 \text{ Мпа.}$$

$$\text{Тоді } K_{mv} = 0,9 \cdot \left(\frac{750}{650} \right)^1 = 1,04 - \text{для сталі}; \quad K_{mv} = \left(\frac{190}{180} \right)^1 = 1,1 - \text{для чавуну};$$

За даними [14, 15] значення коефіцієнтів наступні: $K_{nv}=1$ (без корки); $K_{nv}=1$ – для сталі (Т15К6); $K_{nv}=1$ – для чавуну (ВК6); $K_{\varphi}=1$ ($\varphi=90^\circ$); $K_{\varphi 1}=1$ ($\varphi_1=10^\circ$); $K_r=1$ ($r=2$ мм);

Підставивши значення у (3.2) отримаємо:

$$K_v = 1,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,04 - \text{для сталі.}$$

$$K_v = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,1 - \text{для чавуну.}$$

Результати розрахунку швидкості різання за формулою (3.1) заносимо до табл. 3.2.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

Таблиця 3.2. Розраховані значення швидкості різання

Сталь		Чавун		Чистова обробка
Точіння	Розточування	Точіння	Розточування	
129,6	165,1	113,35	130,1	252,2

Оскільки верстат підвищеної точності, то на ньому повинне проводитися точне точіння. Режими різання призначаємо табличним методом [14, 15]: $t=0,1\dots0,15$ мм; $S=0,06\dots0,12$ мм; $V=500$ м/хв – для сталі.

Отже, максимальна швидкість різання, яку потрібно забезпечити $V_{max}=500$ м/хв, мінімальна $V_{min}=113,35$ м/хв.

Максимальна частота обертання шпинделя:

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{max}} = \frac{1000 \cdot 500}{3,14 \cdot 70} = 2275 \text{ об/хв.}$$

Мінімальна частота обертання шпинделя:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}} = \frac{1000 \cdot 113,35}{3,14 \cdot 375} = 96,26 \text{ об/хв.}$$

Для модернізованого приводу приймаємо: $n_{max} = 2500$ об/хв; $n_{min} = 100$ об/хв.

Тангенціальна сила різання P_z визначається за формулою [14, 15]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3.3)$$

де C_p , x , y , n – коефіцієнт, що враховує умови обробки та показники степені;

K_p – поправочний коефіцієнт.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (3.4)$$

По довідниках [14, 15] $K_{\varphi p}=1$; $K_{\gamma p}=1$; $K_{\lambda p}=1$; $K_{rp}=1$.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \text{ - для сталі; } K_{mp} = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,75} = 1.$$

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n \text{ - для сірого чавуну; } K_{mp} = \left(\frac{180}{190} \right)^{0,4} = 0,98.$$

Поправочний коефіцієнт для сталі за формулою (3.4):

$$K_p = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9;$$

Поправочний коефіцієнт для чавуну за формулою (3.4):

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_p=0,98 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1=0,98.$$

Отримані дані розрахунку P_z за формулою (3.3) заносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Розрахункові дані та отримана сила різання

	Сталь		Чавун		Чистова обробка
	Точіння	Розточування	Точіння	Розточування	
C_p	300	300	92	92	300
t	5	5	5	5	0,5
x	1	1	1	1	1
S	1,2	0,7	1,9	1,2	0,21
y	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
V	129,6	168,1	113,35	130,1	129,6
n	-0,1	-0,1	0	0	0
K_p	1	1	1	1	1
P_z	8291	5534	7444	5274	465,3

Визначаємо максимальний та мінімальний крутні моменти:

$$M_{\max} = P_{z\max} \cdot \frac{D}{2} = 1554,56 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{\min} = P_{z\min} \cdot \frac{D}{2} = 393,8 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Визначаємо потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60}. \quad (3.5)$$

Розрахована за формулою (3.5) потужність різання для різних видів обробки приведена в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Потужність різання для різних видів обробки

	Сталь		Чавун		Чистова обробка	
	Точіння	Розточування	Точіння	Розточування		
P , кВт	17,9	15,22	14	11,43	1,96	0,6

3.1.2. Структура модернізованого приводу головного руху

В якості модернізованого приводу головного руху вибрано привід із електродвигуном, який з'єднаний із шпинделем зубчатопасовою передачею. Такий привід містить частотно-регульований електродвигун 1, зубчатопасову передачу, що складається із ведучого 2 і веденого 4 шківів та зубчатого пасу 3. Ведений шків розташований на кінці шпинделя шпиндельного вузла 5.

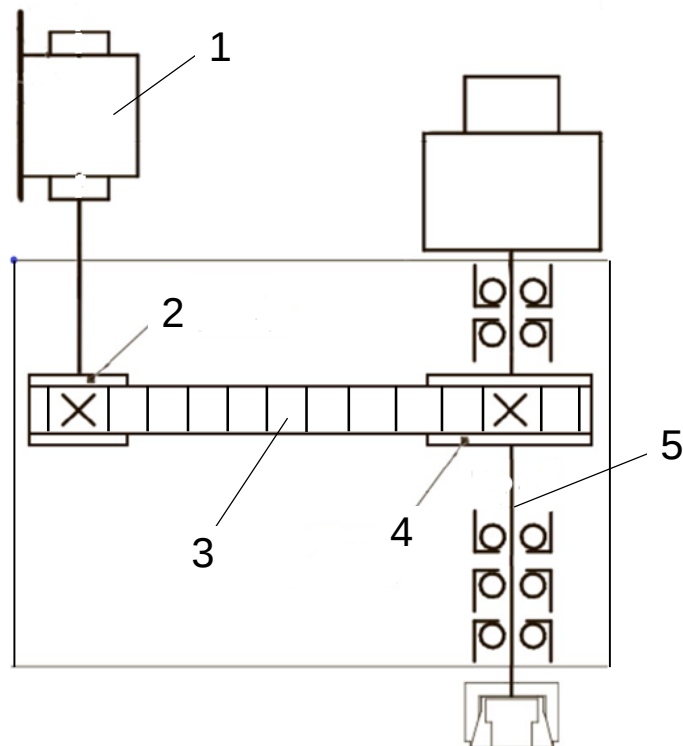


Рисунок 3.2 –Структура модернізованого приводу головного руху

Використання пасової передачі рекомендується при частотах обертання шпинделя вище за 2000 об/хв [17]. Зубчатопасова передача забезпечує постійне передавальне відношення та дозволить зменшити масу приводу, забезпечить малошумність приводу та зменшить рівень вібрації. Також серед переваг такої передачі її мала міжосьова віддаль та відносно невеликі розміри шківів, оскільки вона працює за принципом зачеплення, а не тертя. Це дозволяє виконати привід головного руху компактним. Частоти обертання шпинделя для модернізованого приводу згідно розрахунків, приведених у розділі 3.1.1, наступні:

$$n_{max} = 2500 \text{ об/хв}; n_{min} = 100 \text{ об/хв}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

43

3.1.3. Вибір параметрів і технічних характеристик приводного двигуна.

Графік зміни потужності на валу електродвигуна

В якості двигунів в приводах головного руху токарних верстатів з ЧПУ використовуються різного типу регульовані електродвигуни (постійного струму, частотно-регульовані змінного струму, синхронні змінного струму) [7, 8].

Регулювання частоти обертання вала двигуна здійснюється в двох областях: від мінімальної n_{min} до номінальної n_n частоти обертання з постійним крутним моментом і від n_n до n_{max} – з постійною потужністю [7, 8]. Загальний діапазон D_o регулювання двигуна, діапазон регулювання при постійній потужності D_N та діапазон регулювання з постійним моментом D_M залежать від типу двигуна і способу його регулювання.

Максимальна потужність різання згідно проведених розрахунків у розділі 3:

$$N = 17,9 \text{ кВт.}$$

На стадії попередніх розрахунків потрібна потужність двигуна може бути визначена за [7, 8]:

$$N_o = \frac{N}{\eta}, \quad (3.6)$$

де η – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$\eta = \eta_1^2 \cdot \eta_2, \quad (3.7)$$

$\eta_1 = 0,99$ - ККД тертя в парі підшипників шпинделя;

$\eta_2 = 0,94$ - ККД зубчато-пасової передачі.

Підставивши значення у (3.6) та (3.7) отримаємо:

$$\eta = 0,99^2 \cdot 0,94 = 0,92;$$

$$N_o = \frac{17,9}{0,92} = 19,46 \text{ кВт.}$$

Вибираємо асинхронний частотно-регульований електродвигун з примусовим охолодженням мод. 1PH7 186 Т фірми SIEMENS з такими характеристиками [18]:

– потужність двигуна $N_o = 26 \text{ кВт}$;

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- максимальна частота обертання двигуна $n_{\partial.max}=5000$ об/хв;
- номінальна частота обертання двигуна $n_{\partial.ном.}=500$ об/хв;
- максимальний крутний момент 565 Н·м.

Виходячи із максимальних частот обертання шпинделя і вала електродвигуна передавальне відношення зубчасто-пасової передачі визначиться за формулою:

$$i_{zn} = \frac{n_{шп.max}}{n_{\partial.max}}, \quad (3.8.)$$

де $n_{\partial.max}$ – максимальна частота обертання вала двигуна;

$n_{шп.max}$ – максимальна частота обертання шпинделя.

Підставивши значення в формулу (3.8) отримаємо:

$$i_{zn} = \frac{2500}{5000} = 0,5.$$

Діапазон регулювання при постійній потужності можна визначити по формулі:

$$R = \frac{n_{\partial.max}}{n_{\partial.ном}}, \quad (3.9)$$

де $n_{\partial.max}$ – максимальна частота обертання вала двигуна;

$n_{\partial.ном}$ – номінальна частота обертання вала двигуна.

Підставивши значення в формулу (3.9) отримаємо:

$$R = \frac{5000}{500} = 10.$$

Для перевірки вибраної потужності електродвигуна з врахуванням втрат потужності на холостому ході його потужність за формулою:

$$N_{\partial} = N_{ef} + N_{x.x} + N_{доd}, \quad (3.10)$$

де N_{ef} – ефективна потужність різання;

$N_{x.x}$ – втрати потужності на холостому ході;

$N_{доd}$ - додаткові втрати.

Ефективна потужність при відомому M_{max} і відомій частоті обертання при якій привід починає працювати з постійною потужністю $N = 19,23$ кВт.

Втрати потужності на холостому ході визначаються за формулою:

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$N_{x.x} = \frac{d}{10^6} \cdot \left(\sum n + k_1 \cdot \frac{d_0}{d} \cdot n_0 \right) \cdot k_2, \quad (3.11)$$

де d – середній діаметр під підшипники всіх проміжних валів, мм;

d_0 – діаметр шийок шпинделя, мм;

$\sum n$ – сума частот обертання всіх проміжних валів, об/хв;

n_0 – частота обертання шпинделя, об/хв;

$k_1=1,5..2,0$ – коефіцієнт, що враховує втрати за рахунок попереднього натягу в шпиндельному вузлі;

$k_2=3..5$ – коефіцієнт, що враховує досконалість системи змащення.

Для даного кінематичного ланцюга:

$d=80$ мм;

$\sum n=0$ об/хв;

$n_0=1000$ об/хв.

Приймаємо $k_1=1,5$; $k_2=3$.

Тоді за формулою (3.11) отримаємо:

$$N_{x.x} = \frac{80}{10^6} \cdot \left(0 + 1,5 \cdot \frac{130}{80} \cdot 2500 \right) \cdot 3 \approx 1,46 \text{ кВт.}$$

Додаткові втрати становлять 10-15% від суми ефективної потужності і втрат потужності на холостому ході. Тобто:

$$N_{доd} = (19,23 + 1,46) \cdot 0,15 = 3,1 \text{ кВт.}$$

Отже сумарна потужність буде:

$$N_0 = 19,23 + 1,46 + 3,1 = 23,8 \text{ кВт.}$$

Отже залишаємо вибраний асинхронний частотно-регульований електродвигун з примусовим охолодженням мод. 1PH7 186 Т фірми SIEMENS з потужністю $N_0=26$ кВт.

Діаграма потужності на валу електродвигуна для різних режимів його роботи за паспортними даними приведена на рис. 3.3.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

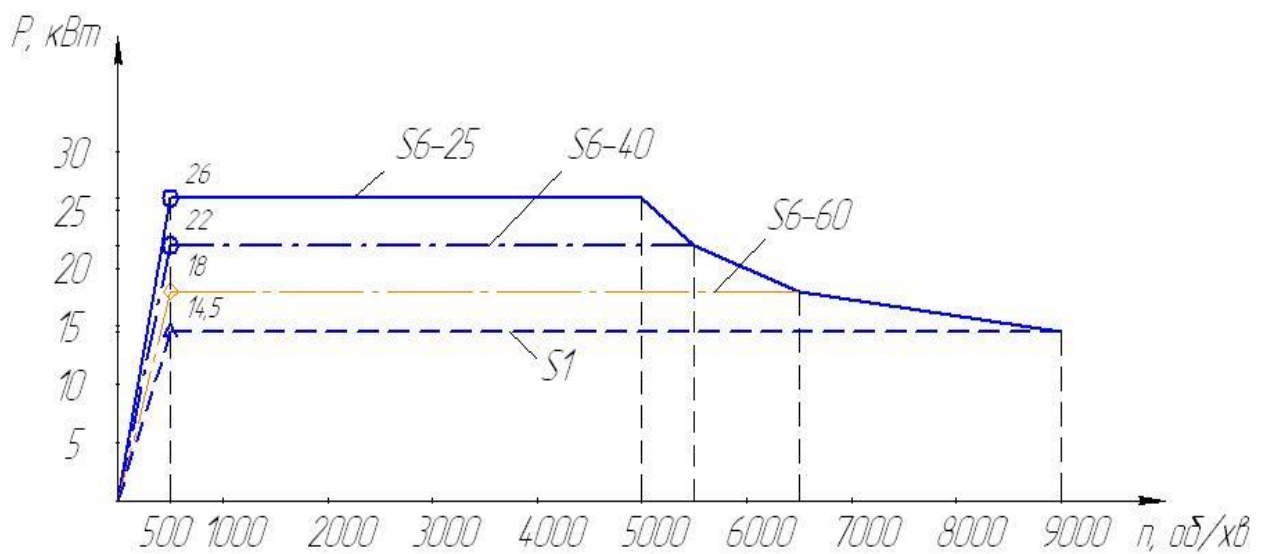


Рисунок 3.3 – Діаграма потужності на валу електродвигуна

3.2 Проектування зубчато-пасової передачі

При потужності двигуна 26 кВт та мінімальній частоті обертання вала двигуна $n_{min}=500$ об/хв вибираємо модуль зубчато-пасової передачі $m=7$ мм [19].

Обираємо зубчатий пас згідно ISO 5296 – ХН 22,225.

Крок зубів:

$$t = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 7 = 21,99 \text{ мм}, \quad (3.12)$$

Геометричні параметри зубчато-пасової передачі приведені на рис. 3.4.

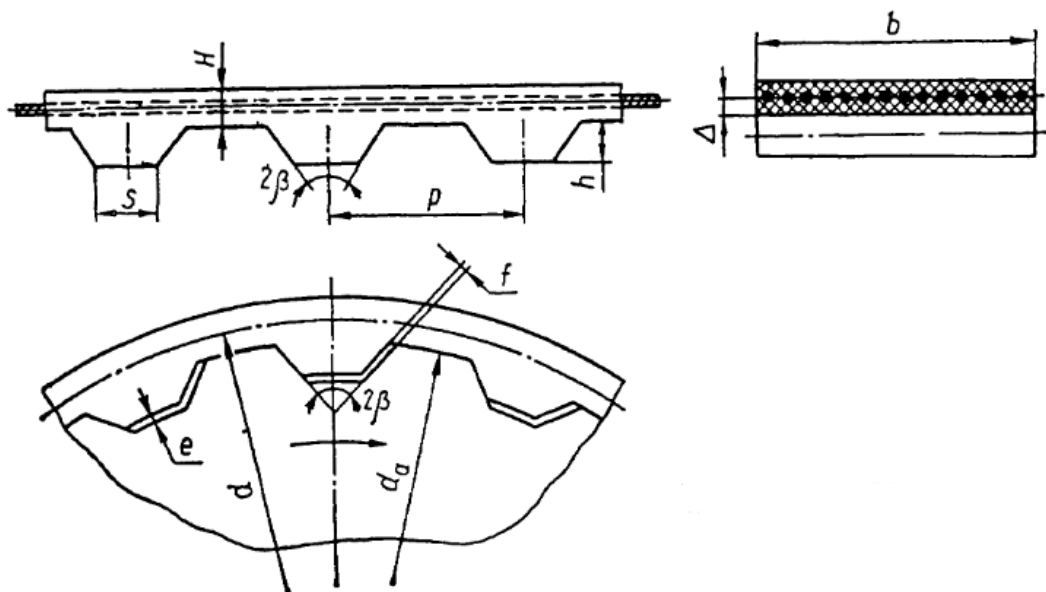


Рисунок 3.4 – Геометричні параметри зубчато-пасової передачі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

47

Приймаємо наступні геометричні параметри зубчато-пасової передачі:
 $H_p=11,2$ мм; $H=1,397$ мм; $h_p=6,35$ мм; $S_p=8,0$ мм; $R_1=1,57$ мм; $R_2=1,19$ мм; $2\varphi=40^\circ$.

Мінімальна кількість зубів ведучого шківa $z_1=20$ для значень $n=500$ об/хв.
 [19].

Число зубів веденого шківa:

$$z_2 = \frac{z_1}{i_{zn}} = \frac{20}{0,5} = 40. \quad (3.12)$$

Діаметри ділильних кіл шківів [19]:

$$d_1 = mz_1; \quad d_2 = mz_2. \quad (3.13)$$

Підставивши значення у формулу (3.13) отримаємо:

$$d_1 = 7 \cdot 20 = 140 \text{ мм}; \quad d_2 = 7 \cdot 40 = 280 \text{ мм}$$

Внутрішні діаметри шківів для зубчастих пасів:

$$d_{a1} = d_1 - 2\Delta; \quad d_{a2} = d_2 - 2\Delta. \quad (3.14)$$

Підставивши значення у формулу (3.14) отримаємо:

$$d_{a1} = 140 - 2 \cdot 1,3 = 137,4 \text{ мм}; \quad d_{a2} = 280 - 2 \cdot 1,3 = 277,4 \text{ мм}.$$

Мінімальна міжосьова відстань [19], мм:

$$a'_{min} = 0,55 \cdot (d_2 + d_1) + H_p, \quad a' \geq a'_{min}. \quad (3.15)$$

Підставивши значення у формулу (3.15) отримаємо:

$$a'_{min} = 0,55 \cdot (280 + 140) + 11,2 = 242,2 \text{ мм}.$$

Число зубів пасу при $z_2 > z_1$ [19]:

$$z_p = \frac{2a'}{t} + 0,55 \cdot (z_2 + z_1) + \frac{f_1 t}{a'}, \quad (3.16)$$

$$\text{де } f_1 = \frac{(z_2 - z_1)^2}{4\pi^2} = \frac{(280 - 140)^2}{4 \cdot 3,14^2} = 10,13.$$

Підставивши значення у формулу (3.16) отримаємо:

$$z_p = \frac{2 \cdot 242,2}{21,99} + 0,55 \cdot (20 + 40) + \frac{10,13 \cdot 21,99}{242,2} = 52,7.$$

За [19] число зубів пасу приймаємо $z_p = 56$.

Міжосьова відстань передачі при обраному z_p при $z_2 > z_1$ [19]:

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$A = (2z_p - (z_1 + z_2)) \cdot f_2 t, \text{ мм}, \quad (3.17)$$

де $f_2 = 0,24222$ [19].

Підставивши значення у формулу (3.17) отримаємо:

$$A = (2 \cdot 56 - (20 + 40)) \cdot 0,24222 \cdot 21,99 = 280 \text{ мм}.$$

Кут обхвату пасом ведучого шківa, град:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{A}. \quad (3.18)$$

Підставивши значення у формулу (3.18) отримаємо:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{280 - 140}{280} = 123^\circ$$

Максимальну швидкість пасу визначають за такою залежністю:

$$V_{\max} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{\max}}{60000}. \quad (3.19)$$

Підставивши значення у формулу (3.19) отримаємо:

$$V_{\max} = \frac{\pi \cdot 140 \cdot 5000}{60000} = 33,6 \text{ м/с}.$$

Ширину пасу визначають за залежністю [19]:

$$B_p = \frac{N_d C_p}{P_t z_{01}}, \quad (3.20)$$

де $C_p = 1,2$ - коефіцієнт що враховує тип навантаження на пас;

$P_t = 0,15$ кВт/мм – питома потужність.

Підставивши значення у формулу (3.20) отримаємо:

$$B_p = \frac{26 \cdot 1,2}{0,15 \cdot 7} = 29,71 \text{ мм}.$$

Приймаємо найближчу стандартну ширину пасу $B_p = 50,8$ мм.

Довжину пасу визначають за залежністю [19]:

$$L_0 = \pi m z_p = t \cdot z_p, \text{ мм}. \quad (3.21)$$

Підставивши значення у формулу (3.21) отримаємо:

$$L_0 = 22,225 \cdot 56 = 1244,6, \text{ мм}.$$

Приймаємо стандартну довжину пасу $L_0 = 1250$ мм.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3 Проектування шпиндельного вузла приводу головного руху

3.3.1. Вибір компоувальної схеми шпиндельного вузла та типу опор

Компоувальна схема шпиндельного вузла на опорах кочення залежить від параметра швидкохідності dn_{max} . При $n_{max}=2500$ об/хв і аналізу шпиндельних вузлів верстатів аналогічного призначення характеристика шпиндельного вузла буде $dn_{max}=(4-5) \cdot 10^5$ мм·об/хв. Згідно з характеристикою швидкохідності вибираємо компоувальну схему шпиндельного вузла, приведену на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Компоувальна схема шпиндельного вузла

Згідно цієї схеми шпиндель монтують на п'ятьох радіально-упорних підшипниках. Три підшипники в передній опорі і два в задній. Передня опора виконана по схемі «триплекс-тандем О-подібна», задня – по схемі «дуплекс О-подібна».

3.3.2. Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла, як статично-невизначеної системи

Жорсткість шпиндельного вузла визначають з врахуванням жорсткості опор. Якщо опора складається з декількох підшипників, то щоб визначити жорсткість шпиндельного вузла можна прийняти кожен підшипник в якості самостійної опори, що володіє жорсткістю підшипника, і розглядати шпиндель, як багатоопорну статично невизначену балку (рис. 3.6).

Моменти інерції ділянок шпинделя:

$$I_1 = \frac{\pi(D^4 - d_{отв}^4)}{64} = \frac{3,14 \cdot (150^4 - 100^4)}{64} \approx 2 \cdot 10^7 \text{ мм}^4;$$

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

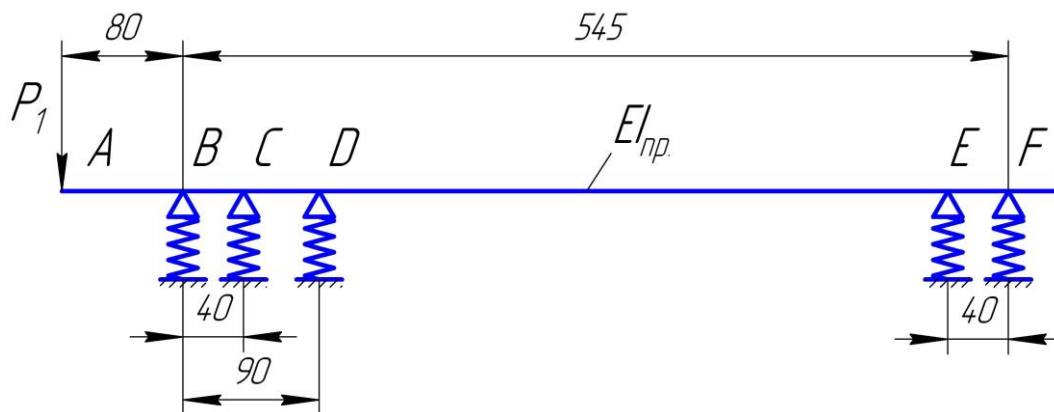


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема шпиндельного вузла

$$I_2 = \frac{\pi(D^4 - d_{отв}^4)}{64} = \frac{3,14 \cdot (150^4 - 80^4)}{64} = 2,28 \cdot 10^7 \text{ мм}^4;$$

$$I_3 = \frac{\pi(D^4 - d_{отв}^4)}{64} = \frac{3,14 \cdot (130^4 - 80^4)}{64} = 1,92 \cdot 10^7 \text{ мм}^4.$$

Визначаємо приведений момент інерції кінця шпинделя:

$$I_{зв.} = \frac{I_1 \cdot l_1 + I_2 \cdot l_2 + I_3 \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3}; \quad (3.22)$$

де I_1 – момент інерції, мм^4 ;

l_1, l_2, l_3 – відповідні довжини ділянок, мм.

За формулою (3.22) отримаємо:

$$I_{зв.} = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 380 + 2,28 \cdot 10^7 \cdot 24 + 1,92 \cdot 10^7 \cdot 250}{380 + 24 + 250} = 1,98 \cdot 10^7 \text{ мм}^4.$$

Розрахунок проводимо методом послідовного відкидання опор. Відкидаємо опори C, D, E і розраховуємо балку на двох опорах (рис.3.7).

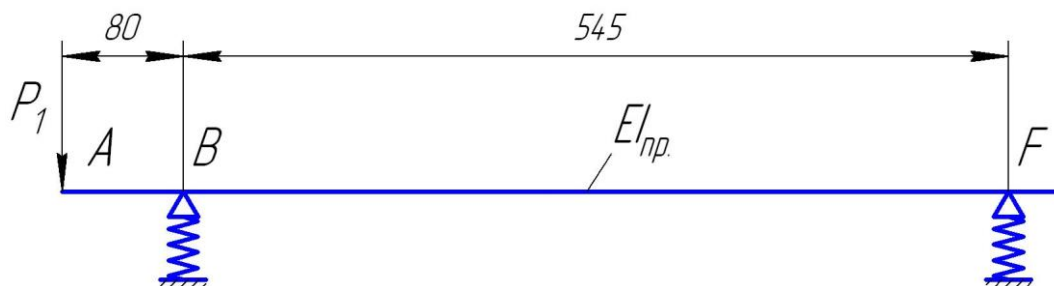


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема шпинделя, як балки на двох опорах

Загальна формула для визначення коефіцієнту податливості має вигляд:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

51

$$\delta_{ij}^A = \delta_{ij} - \frac{\alpha_{jA} \cdot \alpha_{Aj}}{\alpha_{AA} + C_A}; \quad (3.23)$$

Коефіцієнт впливу податливості:

$$\alpha_{AA} = \alpha_{AA}' + \alpha_{AA}''; \quad (3.24)$$

Коефіцієнт впливу податливості пружної балки на жорстких опорах (рис.3.8):

$$\alpha_{AA}' = \frac{1}{EI_{36}} (M_1 \omega_1 + M_2 \omega_2) \quad (3.25)$$

Коефіцієнт впливу податливості жорсткої балки на пружних опорах (рис.3.9):

$$\alpha_{AA}'' = \frac{(l+x)(l+\varepsilon)}{l^2} \cdot C_B + \frac{x \cdot \varepsilon}{l^2} \cdot C_F; \quad (3.26)$$

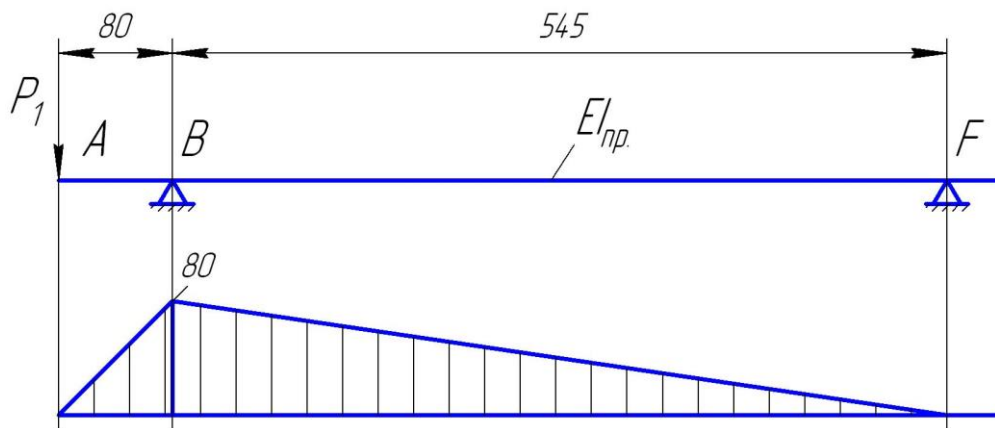


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема для визначення α_{AA}'

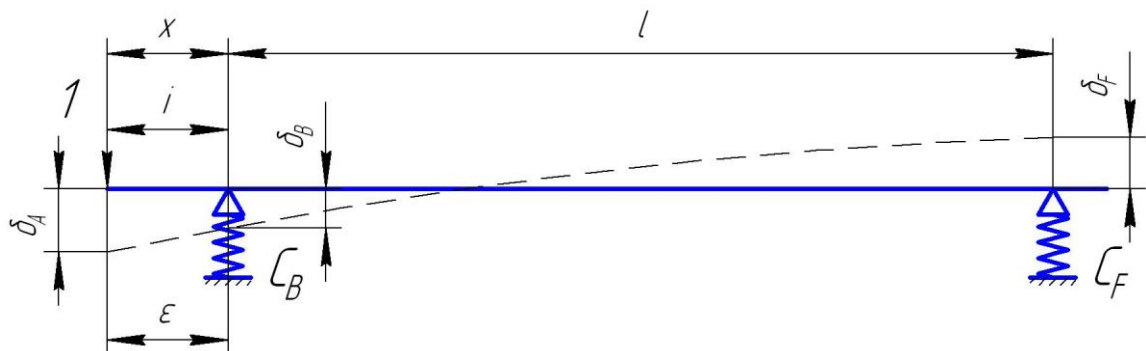


Рисунок 3.9– Розрахункова схема для визначення α_{AA}''

За формулою (3.25) отримаємо:

$$\alpha_{AA}' = \frac{1}{EI_{36}} \left(\frac{1}{3} 80^3 + \frac{1}{3} 80^2 + \frac{1}{2} 545 \right) = 3,25 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

52

На рис.3.9 позначені C_B і C_F відповідно податливості опор. Податливість опори:

$$C = \frac{1}{K} \quad (3.27)$$

Де K — жорсткість підшипника, яку вибираємо із каталогу.

За формулою (3.26) отримаємо:

$$\alpha''_{AA} = \frac{(545 + 80) \cdot (545 + 80)}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{80^2}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 5,77 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

За формулою (3.24) отримаємо:

$$\alpha_{AA} = \alpha'_{AA} + \alpha''_{AA} = 3,25 \cdot 10^{-7} + 5,77 \cdot 10^{-6} = 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}.$$

Приєднуємо опору C і розраховуємо податливість шпиндельного вузла на 3-ох опорах (рис. 3.10):

$$\delta_{AC} = \delta_{AB} - \frac{\alpha_{AC} \cdot \alpha_{CA}}{\alpha_{CC} + C_C}; \quad (3.28)$$

Знаходимо α_{AC} :

$$\alpha_{AC} = \alpha'_{AC} + \alpha''_{AC} \quad (3.29)$$

Визначаємо α'_{AC} . Реакції опор:

$$\sum_{MB} = -P \cdot a + R_F \cdot l; \quad (3.30)$$

$$R_F = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1 \cdot 40}{545} = 0,07 \text{ Н}; \quad R_B = 1 - R_F = 1 - 0,07 = 0,93 \text{ Н}; \quad \dot{l}_K = \frac{505}{80};$$

$$\text{Звідси } \dot{l}_K = \frac{80 \cdot 505}{545} = 74,1 \text{ Нм}; \quad \dot{l}_N = R_B \cdot 40 = 0,93 \cdot 40 = 37,2 \text{ Нм};$$

Коефіцієнт впливу податливості:

$$\alpha'_{AC} = -\frac{1}{EI_{i\delta}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 505 \cdot 37,2 \cdot \frac{2}{3} \cdot 74,1 + \frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 37,2 \cdot 74,1 + \frac{1}{2} \cdot 37,2 \cdot 40 \cdot \right. \\ \left. \cdot (74,1 + \frac{1}{3}(80 - 74,1)) \right) = -1,4 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}.$$

Визначаємо $\alpha_{\tilde{NC}}$ (з епюри):

$$\alpha_{CC}' = \frac{-1}{A_{i\delta}^2} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 40 \cdot 37,2^2 + \frac{1}{3} \cdot 37,2^2 \cdot 505 \right) = 6,1 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}.$$

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

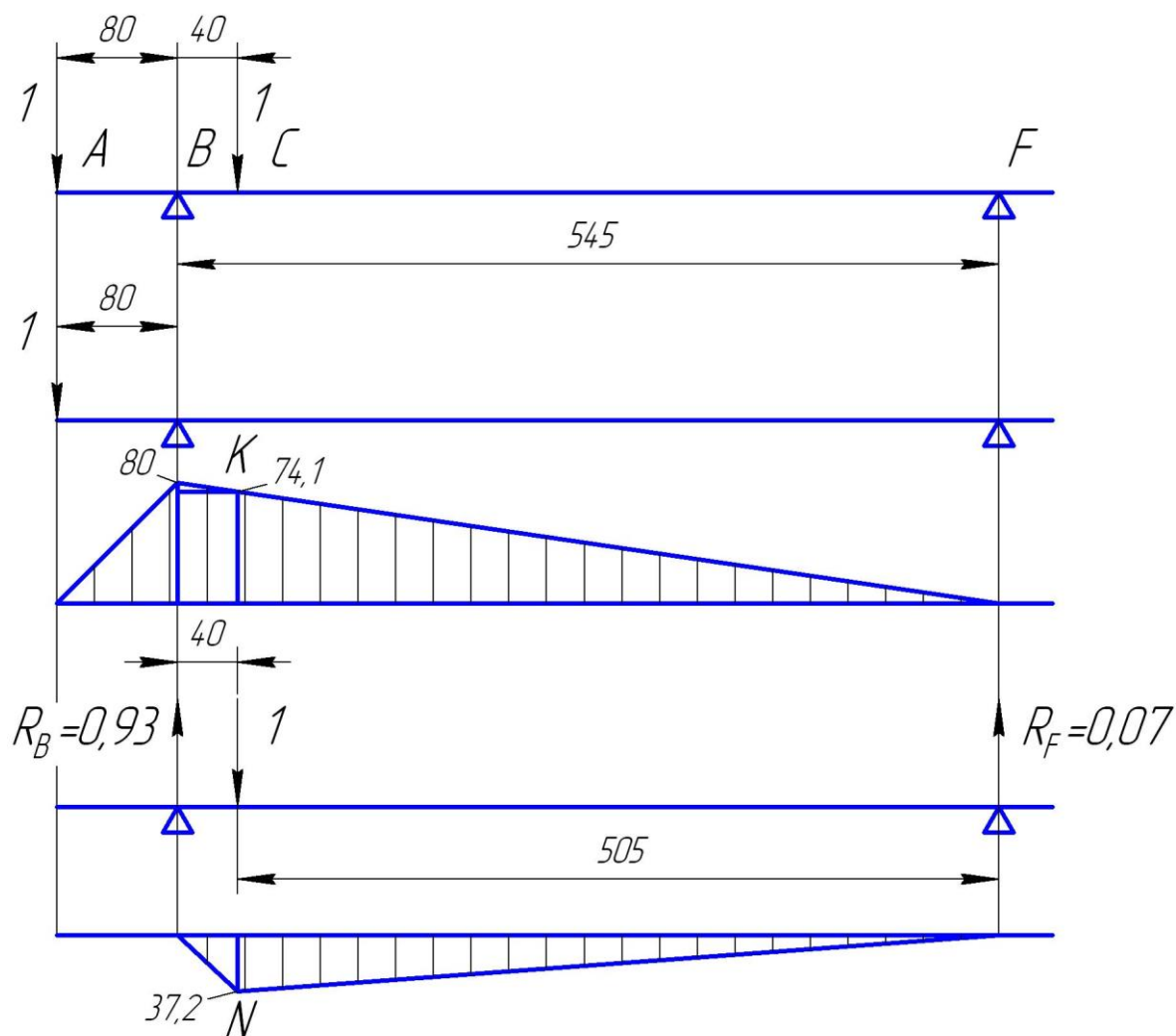


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема для визначення α_{CC}'

Визначаємо α_{AC}'' і α_{NC}'' за формулою (3.26):

$$\alpha_{AC}'' = \frac{(545 + 80)(545 - 40)}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{80 \cdot 40}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 3,01 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

$$\alpha_{NC}'' = \frac{(545 + 40)(545 + 40)}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{40 \cdot 40}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 3,26 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}.$$

$$\alpha_{AC} = -1,4 \cdot 10^{-7} + 3,01 \cdot 10^{-6} = 2,87 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

$$\alpha_{NC} = 6,1 \cdot 10^{-8} + 3,26 \cdot 10^{-6} = 3,266 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

$$\delta_{AC} = 6,1 \cdot 10^{-6} - \frac{(2,87 \cdot 10^{-6})^2}{3,266 \cdot 10^{-6} + 2,817 \cdot 10^{-6}} = 6,1 \cdot 10^{-6} - 1,51 \cdot 10^{-6} = 2,59 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}.$$

Приєднуємо опору D (рис. 3.11):

$$\delta_{AD} = \delta_{AC} - \frac{\alpha_{AD} \cdot \alpha_{DA}}{\alpha_{DD} + C_D}; \quad (3.31)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

54

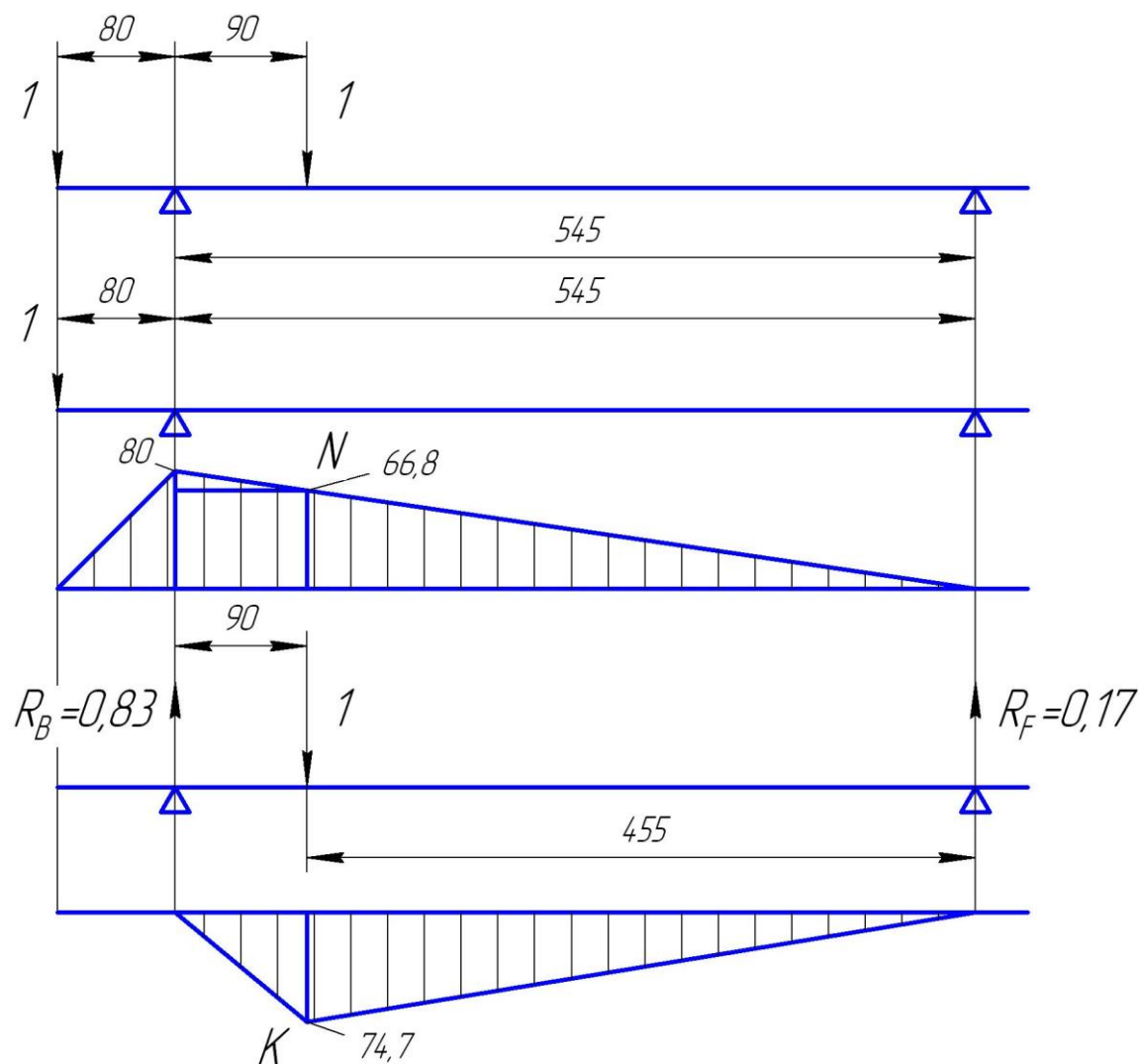


Рисунок 3.11 – Розрахункова схема для визначення α'_{AD}

Визначаємо α'_{AD} . Реакції опор:

$$R_F = \frac{P \cdot a}{l} = \frac{1 \cdot 90}{545} = 0,17 \text{ Н}; R_B = 1 - R_F = 1 - 0,17 = 0,83 \text{ Н};$$

$$\dot{I}_K = R_B \cdot 40 = 0,83 \cdot 90 = 74,7 \text{ Нм}; \dot{I}_N = \frac{80 \cdot 455}{545} = 66,8 \text{ Нм}.$$

Коефіцієнт впливу податливості:

$$\alpha'_{AD} = -\frac{1}{EI_{i\partial.}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 455 \cdot 66,8 \cdot \frac{2}{3} \cdot 74,7 + \frac{1}{2} \cdot (80 - 66,8) \cdot 90 \cdot \frac{1}{3} \cdot 74,7 + \right. \\ \left. + 90 \cdot 66,8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 74,7 \right) = -2,1 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}.$$

Коефіцієнт впливу податливості:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

55

$$\alpha_{DD}' = \frac{1}{4,77 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 90 \cdot 74,7^2 + \frac{1}{3} \cdot 455 \cdot 74,7^2 \right) = 2,12 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н.}$$

Визначаємо α_{AD}'' і α_{DD}'' :

$$\alpha_{AD}'' = \frac{(545+80)(545-90)}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{80 \cdot 90}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 2,76 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

$$\alpha_{DD}'' = \frac{(545+90)^2}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{90^2}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 1,434 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н.}$$

Визначаємо α_{AD} і α_{DD} :

$$\alpha_{AD} = -2,1 \cdot 10^{-7} + 2,76 \cdot 10^{-6} = 2,55 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

$$\alpha_{DD} = 2,2 \cdot 10^{-7} + 1,43 \cdot 10^{-6} = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

$$\delta_{AD} = 2,59 \cdot 10^{-6} - \frac{(2,55 \cdot 10^{-6})^2}{(1,65 + 2,817) \cdot 10^{-6}} = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н.}$$

Приєднуємо опору Е (рис. 3.12).

Коефіцієнт впливу податливості:

$$\alpha_{AE}' = \frac{1}{4,77 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 40 \cdot 5,87 \cdot 37,2 + 5,87 \cdot 505 \cdot \frac{1}{2} \cdot 37,2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} (80 - 5,87) \cdot 505 \cdot \frac{1}{3} \cdot 37,2 \right) = 6,09 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н;}$$

Коефіцієнт впливу податливості:

$$\alpha_{EE}' = \frac{1}{4,77 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 40 \cdot 37,2^2 + \frac{1}{3} \cdot 505 \cdot 37,2^2 \right) = 2,51 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н.}$$

Визначаємо α_{AE}'' і α_{EE}'' :

$$\alpha_{AE}'' = \frac{(545+80)(545-505)}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{80 \cdot 505}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 6,2 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н;}$$

$$\alpha_{EE}'' = \frac{(505)^2}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} + \frac{40 \cdot 505}{545^2} \cdot 2,817 \cdot 10^{-6} = 2,61 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н.}$$

Визначаємо α_{AE} і α_{EE} :

$$\alpha_{AE} = 6,2 \cdot 10^{-7} - 6,09 \cdot 10^{-8} = 5,59 \cdot 10^{-7} \approx 0,56 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

$$\alpha_{EE} = 2,51 \cdot 10^{-7} + 2,61 \cdot 10^{-6} \approx 2,96 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

$$\delta_{AE} = 1,13 - \frac{(0,56 \cdot 10^{-6})^2}{(2,96 + 2,817) \cdot 10^{-6}} = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н.}$$

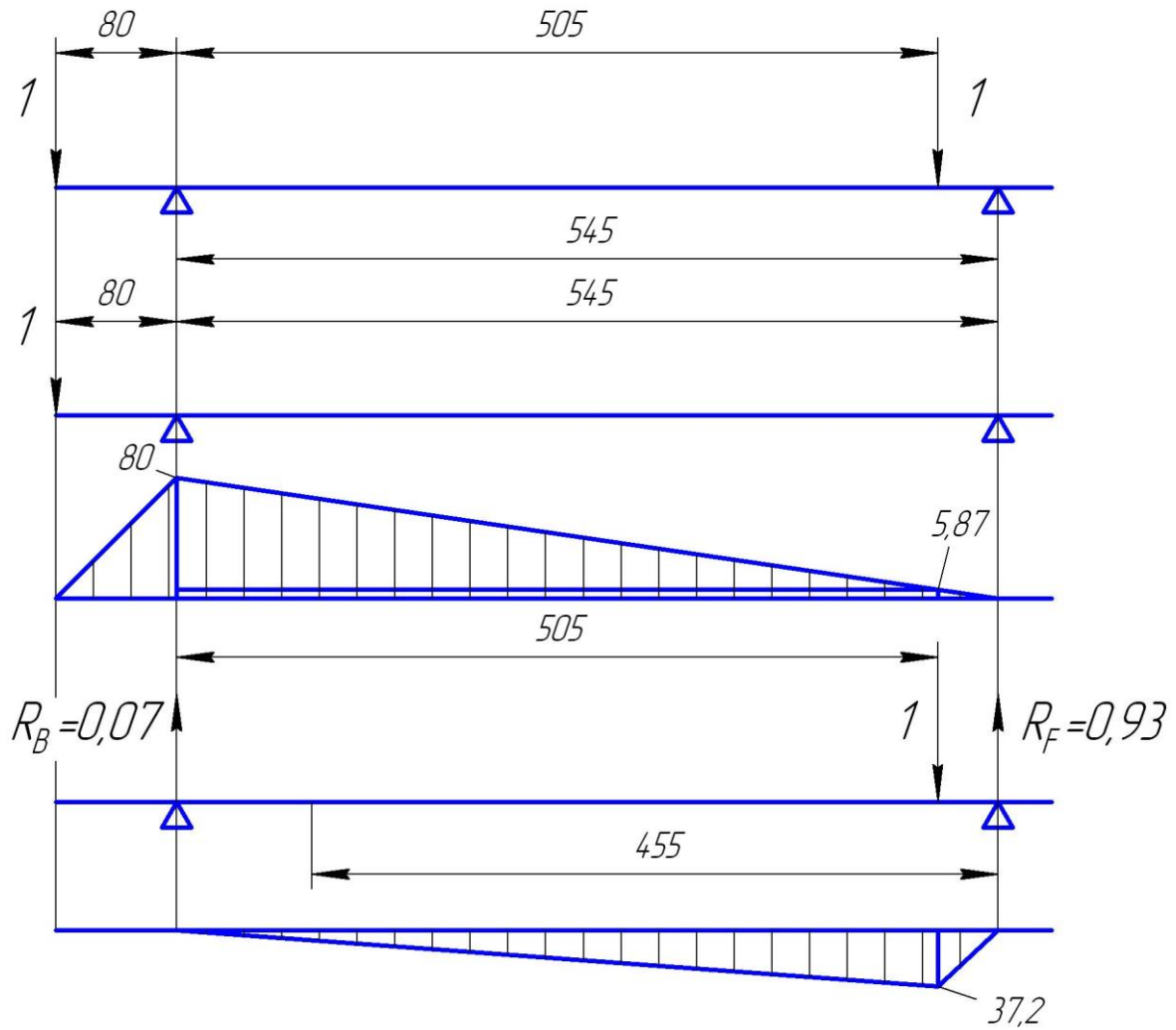


Рисунок 3.12 – Розрахункова схема для визначення α'_{AE}

Отже, за даними розрахунків податливість шпинделя складає $1,08 \cdot 10^{-6}$ мм/Н.

Жорсткість шпиндельного вузла знайдемо із наступної формули:

$$j_{\text{шп}} = \frac{1}{\delta_{\text{шп}}} = \frac{1}{1,08 \cdot 10^{-6}} = 525925 \text{ Н/мм} = 526 \text{ Н/мкм.} \quad (3.32)$$

3.3.3. Автоматизований розрахунок деформацій шпинделя в середовищі AutoDesk Inventor

Проведемо автоматизовані розрахунки шпинделя в середовищі САПР AutoDesk Inventor. Даний пакет служить для моделювання поведінки деталі при

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

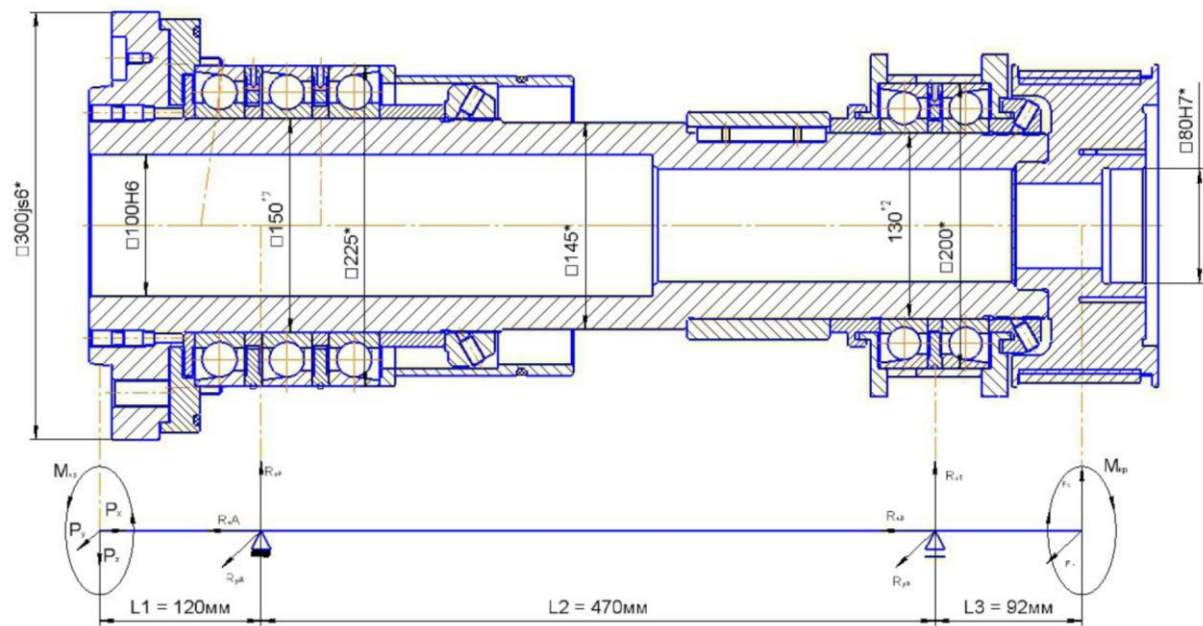
КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

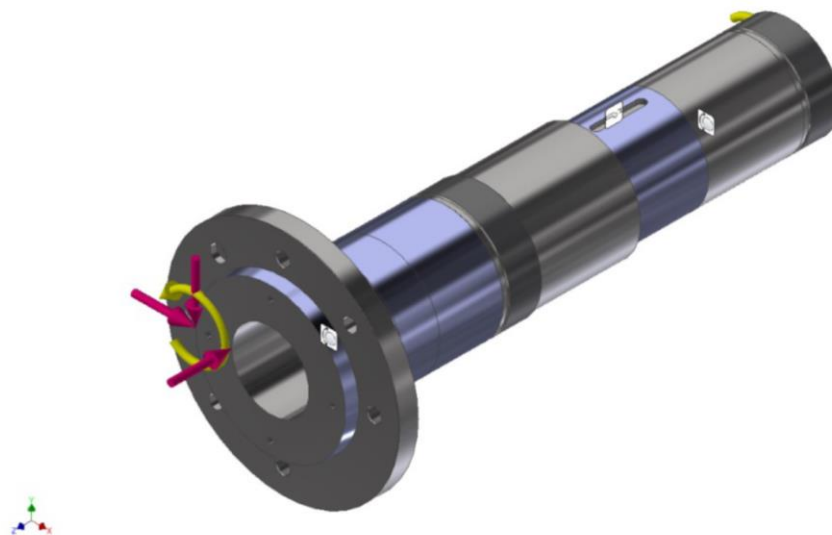
57

дії на неї зовнішніх навантажень. Для початку проектуємо вал шпинделя в модулі «Генераторі валів», в якому є функція з розрахунків.

Для аналізу характеристик шпинделя під впливом сили різання, колової сили від зубчатопасової передачі та крутного моменту було розроблено розрахункову схему (рис. 3.13, а) шпиндельного вузла та спроектовано шпиндель (рис. 3.13, б) з врахуванням усіх конструктивних елементів та матеріалів. Були також задані величини навантажень у відповідності до розрахункової схеми.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Розрахункова схема шпинделя (а) та її 3D-модель (б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

Для отримання даних по розрахунках було згенеровано звіт з розрахунків, який складається з таблиць і графіків. Графік зміщення осі шпинделя приведений на рис. 3.14, а куту повороту – на рис. 3.15.

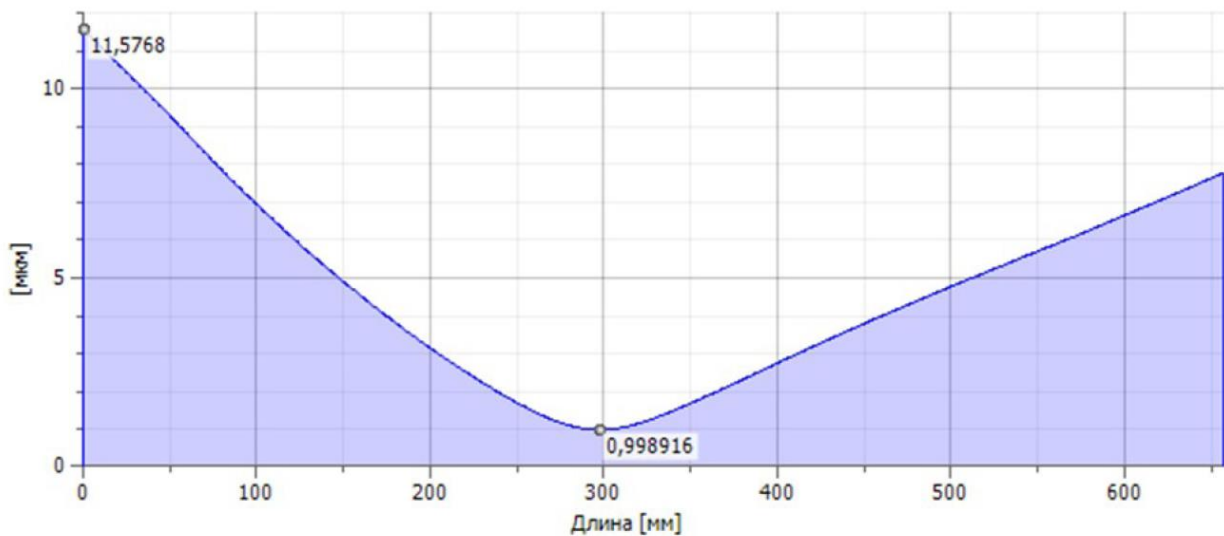


Рисунок 3.14 – Зміщення осі шпинделя за результатами моделювання



Угол отклонения, Плоскость YZ



Рисунок 3.15 – Кут повороту осі шпинделя за результатами моделювання

За результатами моделювання зміщення переднього кінця шпинделя складає 11,58 мкм, а кут повороту переднього кінця шпинделя складає 0,0036 град.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

59

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Робоче місце оператора токарного вертикального двошпиндельного верстата з ЧПК

При організації роботи на токарному вертикальному двошпиндельному верстаті з ЧПК необхідно враховувати небезпечні фактори і передбачити відповідні заходи забезпечення безпеки. До основних травмуючих факторів належать [20, 21]:

- різальні інструменти та рухомі вузли верстатів;
- привідні та передаточні механізми. Вони можуть наносити травми в процесі експлуатації, наладки і ремонту обладнання;
- зливна стружка;
- відлітаюча стружка і пил крихких металів;
- пристосування для закріплення оброблюваної деталі чи інструмента;
- заготовки та готові вироби;
- електричний струм.

Для того, щоб праця робітників була безпечною, необхідно перш за все в конструкції верстатів, різних допоміжних пристроїв передбачити всі необхідні заходи безпеки. Крім того необхідно, щоб організація праці на робочому місці і його оснащення відповідали вимогам безпеки. При цьому маєтись на увазі, що робота виконується в приміщенні, повністю відповідаючому санітарним нормам [20, 21].

Задачі електробезпеки на верстатах в багатьох випадках вирішуються шляхом використання напруги безпечної величини (12, 36 В) або встановлення різноманітних блокуючих пристроїв, які виключають випадковий доступ до струмопровідних частин, що знаходяться під небезпечною напругою. Згідно з

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Безпека життєдіяльності, охорона праці				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив		Фурдела А.А.							Н		60	8
Перевірів		Окіпний І.Б.										
Н. контр.		Кобельник В.Р.										
Затв.		Крупа В.В.							ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			

галузевим стандартом верстатострументальної промисловості ОСТ 2Э59-3-72 на зовнішніх сторонах дверей шаф з електрообладнанням, кришок коробок та інших електричних пристроїв має бути передбачений попереджувальний знак напруги, а по ОСТ 2Э59-10-72 над гвинтами заземлення необхідно закріпити знак заземлення [20, 21].

Для безпеки верстати оснащуються різноманітними запобіжними пристроями, які автоматично усувають небезпеку виникнення аварії, поломки через порушення технологічного процесу, порушення роботи верстата, перевантаження чи переходу рухомих частин за встановленні межі. На проектуваному верстаті захист від перевантажень чи порушення техпроцесу здійснюється запобіжними муфтами, які встановленні на валах електродвигунів, а величина ходу всіх рухомих вузлів верстата контролюється кінцевими вимикачами [20, 21].

При проектуванні металорізальних верстатів мають бути передбаченні огороження різального інструменту, зони обробки та рухомих деталей для попередження травмування робітників. Огородженню підлягають всі привідні і передаточні механізми верстата, а також робочі площадки верстатів, розміщених на висоті. Огороджуючи пристрої виготовляють, як правило, із металів чи інших неметалічних матеріалів. Привідні і передаточні механізми огорожують знімними чи відкриваючими дверцятами для змащування, регулювання, встановлення і зняття знімних зубчастих коліс. В проектуваному верстаті зона різання захищена прозорим щитком, робоче положення якого контролюється кінцевим вимикачем. Для захисту робітників від випадкового дотику до регульовальних квадратів вузлів верстата, використано захисні ковпаки і механізм викидання спеціального ключа, який може залишити наладчик [20, 21].

Добре освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, покращенню якості деталей, а також оберігає зір робочих і зменшує травматизм. Освітлення може бути природнім, коли використовують денне світло, і штучним, коли використовують електричні лампи. Природне освітлення в цеху забезпечується

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

боковими вікнами, а при ширині приміщення більше 12 м – світловими ліхтарями на даху [20, 21].

Штучне освітлення цеху і робочого місця має бути рівномірним. При роботах, виконання яких вимагає додаткового освітлення, робоче місце оснащують лампами місцевого освітлення, які живляться напругою 36 В. Користуватися місцевим освітленням напругою вище 36 В заборонено. Як правило робоча зона верстата має освітлюватись зліва і зверху. При місцевому освітленні на всіх лампочках повинні бути встановленні добрі розсіювачі. Вікна, світлові лампи і електричні лампочки повинні утримуватись в чистоті. Норма освітлення робочого місця складає 1300-2000 лк [20, 21].

При проектування слід передбачити міри по зниженні шуму обладнання. Для цього необхідно по можливості [20, 21]:

- замінити ударні взаємодії безударними, зворотно-поступальні рухи обмежувати;
- депфувати вібрації деталей, що вдаряються і окремих вузлів шляхом сполучення їх з матеріалами, які мають велике внутрішнє тертя;
- зменшувати інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, які мають великий випромінюючий шум поверхні;
- замінити металічні деталі на деталі із пластмас або інших малозвучних матеріалів;
- забезпечити врівноваження всіх рухомих деталей для зменшення динамічних сил;
- в тих випадках, коли усунення чи зменшення шуму неможливо, необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

Рівень шуму повинен відповідати санітарним нормам, тобто не повинен перевищувати 80 дБ [20, 21].

На безпеку роботи на верстаті в значній мірі впливає раціональне зовнішнє оформлення верстата. Так, підбір кольору покриття верстата є ефективним засобом забезпечення хороших умов зорової роботи верстатника, шляхом створення контрасту між фоном і оброблюваною заготовкою та інструментом;

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

кольорове оформлення органів керування (кнопок, важелів) у відповідні сигнальні кольори (червоний, жовтий, синій) сприяє зменшенню помилок при керуванні верстатом; позначення сигнальним кольором небезпечних зон, трубопроводів, ємкостей привертає увагу до безпеки і в багатьох випадках попереджує аварії і нещасні випадки. Нанесення сигнальних кольорів на відповідні елементи верстатів і використання пластинок сигнальних кольорів має передбачатися робочим проектом кольорового оформлення верстата, і виконується з метою привертання уваги обслуговуючого персоналу [20, 21].

Важливий вплив на безпеку і продуктивність праці робітника має оформлення робочого місця допоміжним обладнанням: раціональним стелажем для зберігання основного та допоміжного обладнання, зручною тарою для заготовок і готових товарів повинно забезпечувати найбільш продуктивні і безпечні умови роботи і проводиться згідно вимог санітарних норм на робочому місці повинно знаходитись лише те, що необхідно для виконання заданих робіт. Проходи між верстатами повинні бути вільними, захаращувати їх тарою, візками та іншими предметами заборонено. Підлога на робочому місці має бути рівною [20, 21].

По закінченні роботи необхідно привести в порядок робоче місце, а це означає – прибрати стружку, різальний і вимірювальний інструмент та пристосування, розмістити їх в певному порядку в інструментальній шафі. Акуратно скласти готові деталі і заготовки, змастити поверхні які труться, а також транспортні засоби. План робочої зони оператора токарного вертикального двошпиндельного верстата з ЧПК показана на рис. 4.1.

Таке розміщення основного і допоміжного обладнання на робочому місці займає порівняно невелику площу, дозволяє скоротити переміщення робітника, підвищивши при цьому продуктивність його роботи, зменшується втомлюваність верстатника, що впливає на безпеку його роботи. Решітку під ноги підбирають так, щоб долоня руки, зігнута в лікті під кутом 90°, знаходилась не нижче осі центрів верстата.

При плануванні робочого місця токаря, який обслуговує великий токарний

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

верстат, слід враховувати необхідність зберігання на робочому місці великої кількості різноманітного і великогабаритного технологічного оснащення. З цією метою біля верстатів встановлюють по декілька інструментальних шаф великої місткості, а також різноманітні стелажі. Розташовувати їх слід з таким розрахунком, щоб навколо верстата залишались проходи шириною не менше одного метра.

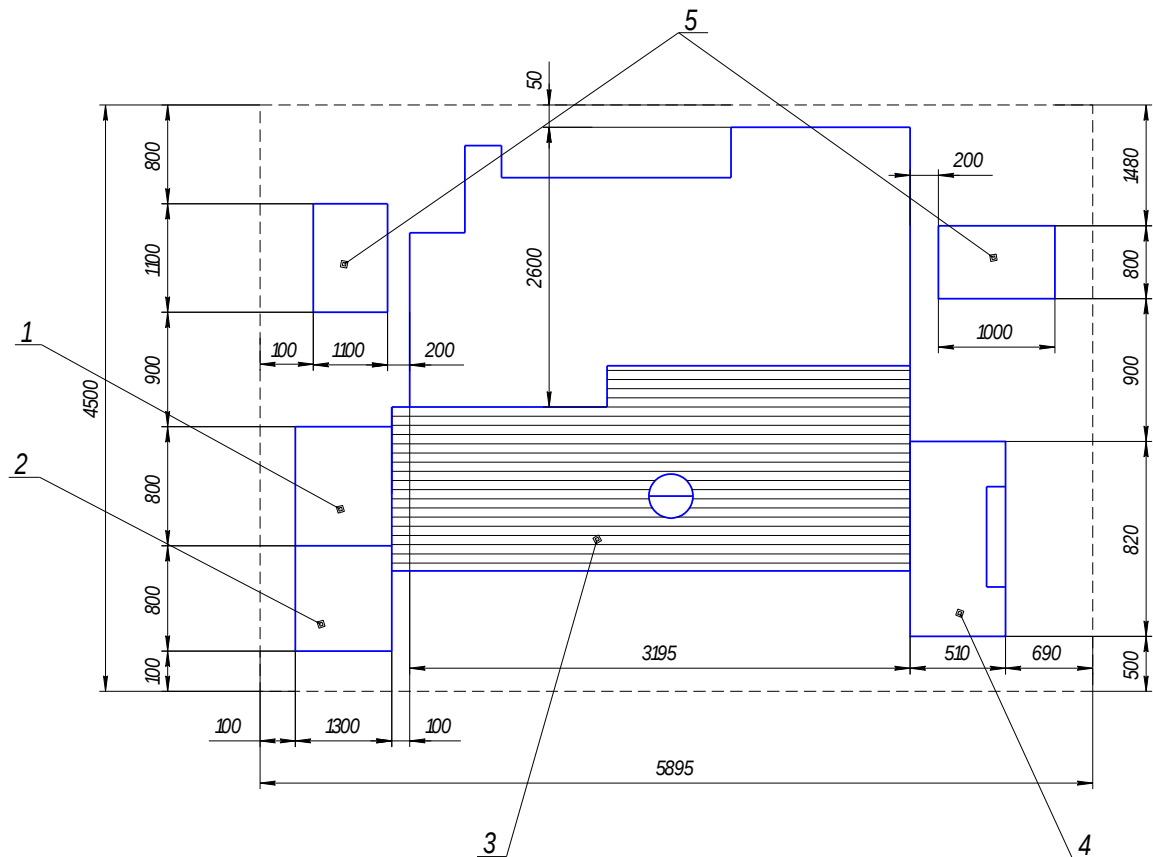


Рисунок 4.1 - План робочої зони оператора токарного вертикального двошпиндельного верстата з ЧПК: 1 – приймальний стіл; 2 – тара; 3 – решітка для ніг; 4 – інструментальна шафа для двохзмінної роботи; 5 – стелаж для пристосувань

4.2. Заземлення токарного вертикального двошпиндельного верстату з ЧПК

Верстат і пристрої, що входять до його складу і можуть опинитися під небезпечною напругою, повинні мати надійне заземлення. До заземлюючого затиску, встановленому на вході в станину повинен бути підведений заземлюючий

провідник [20, 21].

Якість заземлення повинна бути перевірена зовнішнім оглядом і визначенням опору між металевими частинами верстату і кожного пристрою і затиском заземлення, що знаходиться на вході в станину.

В цілому система заземлення верстату повинна бути виконана таким чином, щоб при знятті будь-якого з заземлюваних елементів не порушувалась цілість всього заземлення [20, 21].

Методи заземлення. Заземлення верстату і його окремо розташованих вузлів виконується, як правило, шляхом під'єднання їх до цехового контуру заземлення. Тому для заземлення біля основи ззовні верстату і його окремо розташованих вузлів передбачаються спеціальні гвинти заземлення [20, 21].

Для створення якісного і надійного контакту, основи під гвинти заземлення повинні бути зачищені до металевого блиску, облуджені або покриті іншим антикорозійним металевим покриттям [20, 21].

Розрахунок захисного заземлення. Розрахунок захисного заземлення має за мету визначити кількість вертикальних заземлювачів і їх розміри; розміщення заземлювачів; довжини з'єднуючих горизонтальних провідників і їх січення. Розрахунок заземлення може проводитись як по допустимому опору розтікання току заземлювача, так і по допустимим напруженням дотику і кроку [20, 21].

На токарному вертикальному верстаті моделі ПАБ-350 використовується трифазний двигун змінного струму, що підключений до мережі з напругою 380 В. Тому згідно вимог Правил установки електрообладнання опір захисного заземлення в любий час року не повинен перевищувати 4 Ом [20, 21].

Вибираєм в якості заземлювача пруткове заземлення довжиною $l = 5$ м [20, 21]. Опір одиничного пруткового електроду рівне [20, 21]:

$$R_{o.пр.} = 0,00227 \cdot 9000 = 20,43 \text{ Ом};$$

$$R_{o.пр.} = 20,43 \text{ Ом}.$$

Використовувані заземлювачі розміщаються в ряд з відстанню між ними $a = 6$ м.

Коефіцієнт екранування рівний 0,8 (при $a \geq l$, $R = 4$ Ом) [20, 21].

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$n = R_{o.np.} / R_e$$

де $R_{o.np.}$ – опір одиничного пруткового електрода;

R_e – опір взятий з правил установки електрообладнання.

$n = 20,43 / 0,8 \cdot 4 = 6,38$, заокруглюємо в більшу сторону:

$n = 7$ шт.

Заземлення включає в себе сім прутків.

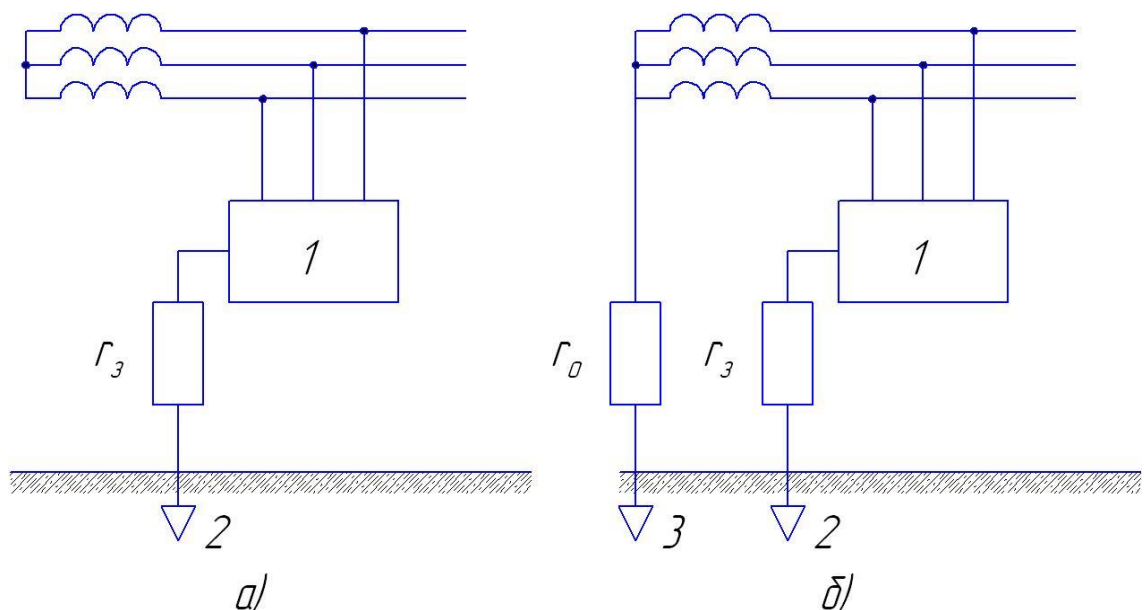


Рисунок 4.2 – Принципові схеми захисного заземлення:

а) в мережі з ізольованою нейтраллю до 1000 В і більше; б) в мережі з заземленою нейтраллю більше 1000 В;

1 – заземлюване обладнання; 2 – заземлювач захисного заземлення; 3 – заземлювач робочого заземлення; r_z , r_o – опір відповідно захисного і робочого заземлення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ

Арк.

66

ВИСНОВКИ

1. Охарактеризовано циліндричні тонкостінні деталі та проблеми, які виникають при їх токарній обробці. Проведено аналіз технічних вимог до тонкостінного циліндричного кільця, як об'єкту виробництва.

2. Приведено призначення і короткий опис вертикального двошпиндельного токарного верстата з ЧПК, його кінематики, компоновки та основних вузлів і механізмів.

3. Проведено аналіз конструкції приводів головного руху токарних верстатів з ЧПК. Приведено їх типові конструкції та їх переваги, недоліки та область застосування.

4. Вибрано напрям модернізації компонентів шпиндельної бабки вертикального токарного верстата з ЧПК, який полягає у спрощенні конструкції приводу головного руху та підвищення продуктивності за рахунок заміни зубчатих передач з проміжним валом на зубчатопасову передачу та підвищення частоти обертання шпиндельного вузла.

5. Спроековано операційну технологію паралельної обробки тонкостінного кільця на кожному шпинделі двошпиндельного вертикального токарного верстата з ЧПК.

6. Вибрано різальний, допоміжний та контрольно-вимірювальний інструмент для токарної операції з ЧПК, а також вибрано для неї режими різання.

7. Здійснено вибір і розрахунок основних технічних характеристик приводу головного руху.

8. Вибрано структуру приводу головного руху та технічні характеристики привідного двигуна. В якості привідного двигуна вибраний асинхронний частотно-регульований електродвигун з примусовим охолодженням мод. 1PH7 186 T фірми SIEMENS з потужністю 26 кВт.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата									
Розробив	Фурдела А.А.				Висновки					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.									Н		67	2
Н. контр.	Кобельник В.Р.									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Затв.	Крупа В.В.												

9. Розроблено конструкцію модернізованої шпиндельної бабки. Спроековано зубчатопасову передачу приводу головного руху, розроблено компоновальну схему шпиндельного вузла та опор шпинделя.

10. Проведено розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла, як статично-невизначеної системи. За результатами розрахунку радіальна жорсткість шпиндельного вузла становить 526 Н/мкм.

11. Проведений автоматизований розрахунок деформацій шпинделя в середовищі AutoDesk Inventor. За результатами моделювання зміщення переднього кінця шпинделя складає 11,58 мкм, а кут повороту переднього кінця шпинделя складає 0,0036 град.

12. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					<i>КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Richard Liew J.Y. Thin-Walled Structures. Research and Development/ J.Y. Richard Liew, V. Thevendran, N.E. Shanmugam. – Elsevier Science, 1998. – 826 p.
2. Loughlan J. Thin-Walled Structures Advances in Research, Design and Manufacturing Technology. - CRC Press, 2018. – 988 p.
3. Analysis on turning technology of thin wall parts [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.epowermetals.com/analysis-on-turning-technology-of-thin-wall-parts.html> (дата звернення: 24.05.2025).
4. Yanyulin. CNC turning machining process for thin-walled combination parts// JE Machining. – 10. – 2024.
5. Сталь ШХ15СГ: аналоги, властивості, характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-shkh15sg/?srsltid=AfmBOoqUJxI1wtLzz1McT-JtUtpeqCCvgV6djAK4Y8Ii8NDIJv0umKmQ> (дата звернення: 24.05.2025).
6. Керівництво по експлуатації верстата токарного двошпиндельного вертикального з ЧПК мод. ПАБ-350. – ОАО «Веркон». – 44 с.
7. Brecher C., Weck M. Machine Tools Production Systems 2. Design, Calculation and Metrological Assessment – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2021 – 840 p.
8. Hirsch A. Werkzeugmaschinen. Grundlagen, Auslegung, Ausführungsbeispiele – Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2012. – 439 s.
9. Обладнання для новітніх технологій: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Іщенко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – 210 с.
10. Струтинський В.Б. Динамічні режими роботи токарного верстата, обумовлені дією поля гіроскопічних моментів у приводі головного руху / В.Б. Струтинський, В.М. Дрозденко, О.Я. Юрчишин// Сучасні технології в

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Перелік посилань					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Фурдела А.А.									Н		69	3
Перевірів	Буховець В.М.												
Н. контр.	Кобельник В.Р.									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Затв.	Крупа В.В.												

машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», Вип.1. – 2010. – С. 96 – 102.

11. Технологія машинобудування. Посібник довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навч. посібник / І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л.Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М.Кук, Є.М.Махоркін, В.П. Свіхінський// За ред. І.І. Юрчишина. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. –528 с.

12. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: навч. посіб./ Б.М. Гевко та ін. – м. Тернопіль: Крок, 2014. 131 с.

13. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position/ P. Kryvyi et al. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2019. Vol. 96, no. 4. P. 57–69.

14. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник/ Ю.Є. Паливода, А.Є. Дячун, Р.Я. Лещук – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

15. Ревнівцев М.П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні / М.П. Ревнівцев, Н.П. Паршина. – Київ: А.С.К., 2006. – 416с.

16. Електронний каталог різальних інструментів фірми ISCAR [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx> (дата звернення: 31.05.2025).

17. Верба І.І., Даниленко О.В. Статичний розрахунок шпиндельних вузлів на опорах кочення: Методичні вказівки до виконання розрахунків у дипломних проектах та курсових проектах з дисциплін «Металорізальні верстати», Металорізальні верстати та обладнання автоматизованого виробництва», «Конструювання обладнання металообробних цехів» для студентів напряму підготовки 6.050503, спеціальностей «Металорізальні верстати та системи» та «Інструментальне виробництво» і спеціальностей 7.05050201, 8.05050201 «Технологія машинобудування». Частина 1. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 104 с.

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

18. Двигуни головного руху 1PH7 з примусовим охолодженням [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.avigan.com.ua/page/dvigateli-glavnogo-dvizheniya-1ph7-s-prinuditel-nym-ohlazhdeniem/mp/2466/> (дата звернення: 30.05.2025).

19. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: підручник. – Львів : Афіша, 2003. – 558 с.

20. Голубенко О.Л., Касьянов М.А., Гунченко О.М. Охорона праці в машинобудівному виробництві. Підручник. – Луганськ. Східноукраїнський університет ім. В. Даля, 2010 – 456 с.

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

22. Кобельник В.Р., Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво: тези допов. : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

23. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. : Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

24. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2025).

					<i>КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ 22-006.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Додатки			
Розробив	Фурдела А.А.							
Перевірів	Буховець В.М.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Затв.	Крупа В.В.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
					Н		72	3