

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 Нітефору Петро Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК для обробки корпусних 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 «Корпус», базовий технологічний процес обробки деталі; конструкторська документація по горизонтальному обробному центру; конструкторська документація по моторшпинделях

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. Деталь «Корпус» (1 лист формату А1)

2. Аналіз схем формоутворення на обробному центрі (1 лист формату А1)

3. Кінематична схема горизонтального обробного центру з модернізованим приводом головного руху (1 лист формату А1)

4. Операційна технологія (1 лист формату А1)

5. Мотор-шпиндель горизонтального обробного центру (1 лист формату А1)

6. Шпиндельна бабка з інтегрованим мотор-шпинделем горизонтального обробного центру (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)

Нітефор П.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Буховець В.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Нітефор П.В. Модернізація приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК для обробки корпусних 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 конструкції основних вузлів горизонтального обробного центру з ЧПК та приводів головного руху, спроектований технологічний процес обробки корпусної деталі, проведено модернізацію приводу головного руху шляхом використання спроектованого моторшпинделя, проведено розрахунок механізму затиску інструментальних оправок. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: обробний центр, привід головного руху, технологічний процес, різальний інструмент, моторшпиндель, жорсткість, затиск, інструментальна оправка.

Nitefor Petro. Modernization of the main drive of a CNC horizontal machining center for machining housing-type 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 the design of the main components of a horizontal CNC machining center and main motion drives, a technological process for machining a body part is designed, the main motion drive is modernized using the designed motorspindle, and the clamping mechanism for tool holders is calculated. Occupational health and safety issues are resolved.

Keywords: machining center, main motion drive, technological process, cutting tool, motorspindle, stiffness, clamping, tool holder.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата									
Розробив	Нітефор П.В.				Анотація					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.									Н		3	1
										ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1. Характеристика об'єкту виробництва	7
1.2. Призначення, компоновка та кінематика горизонтального обробного центру з ЧПК для обробки корпусних деталей	9
1.3. Аналіз конструкції основних вузлів горизонтального обробного центру з ЧПК	12
1.4. Аналіз конструкції приводів головного руху обробних центрів з ЧПК	18
1.5. Вибір напрямку модернізації приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК	20
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	23
2.1. Проектування технологічного маршруту обробки деталі	23
2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання	27
2.3. Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструментів для обробки на обробному центрі з ЧПК	28
2.4. Визначення режимів різання для обробки на обробному центрі з ЧПК	29
2.5. Розрахунок основного технологічного часу обробки на обробному центрі з ЧПК	31
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	33
3.1. Модернізація приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК	33
3.1.1. Вибір типу приводу головного руху	33
3.1.2. Конструкція та принцип дії мехатронної привідної системи	34

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розробив	Нітефор П.В.				Зміст				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.								Н		4	2
									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

3.1.3	Вибір технічних характеристик і параметрів привідного двигуна. Графік зміни на шпинделі потужності та обертового моменту	35
3.2.	Проектування шпиндельного вузла моторшпинделя	37
3.2.1.	Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла та типу опор	37
3.2.2.	Розрахунок радіальної жорсткості опор шпиндельного вузла	40
3.2.3.	Автоматизований розрахунок оптимальної віддалі між опорами шпинделя в пакеті MathCAD та його радіальної жорсткості	42
3.3	Опис конструкції та принципу дії моторшпинделя	46
3.4.	Розрахунок механізму затиску інструментальних оправок	46
3.4.1.	Конструкція механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів	46
3.4.2.	Розрахунок нормальної сили затиску хвостовика HSK	47
4.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1.	Оцінка розробленої конструкції моторшпинделя з інструментальною системою з умов безпеки експлуатації	52
4.2.	Захист обслуговуючого персоналу горизонтального обробного центра за допомогою кабінетної огорожі	57
	ВИСНОВКИ	61
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63
	ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Обробні центри забезпечують високу концентрацією операцій при обробці. На них проводять чорнову, напівчистову і чистову обробку складних корпусних деталей. Ці деталі можуть містити десятки оброблюваних поверхонь. Дані багатоцільові верстати забезпечують виконання наступних технологічних операцій: фрезерування (плоских поверхонь, уступів, вікон різних конфігурацій); свердління зенкерування, розвертання наскрізних та глухих отворів, розточування отворів (гладких, ступінчатих); нарізання різі мітчиками та ін.

Тому приводи головного руху, як один із основних вузлів таких верстатів, повинні забезпечувати заданий досить широкий діапазон частот обертання шпинделя з безступеневим регулюванням, необхідні для процесу різання потужність і крутний момент, задані конструктивно-технічні вимоги щодо точності обертання шпинделя та зручності компонування шпиндельної бабки на верстаті, мінімальні енергетичні втрати, раціональні габарити, мінімально можливі матеріаломісткість та вартість приводу. Більшості цих вимог відповідає привід головного руху у вигляді мехатронної системи, що являє собою моторшпиндель.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена модернізації приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК для обробки корпусних деталей, яка передбачає вмонтування в шпиндельну бабку моторшпинделя із системою затиску інструментальних патронів з конусом HSK, що дозволяє підвищити продуктивність за рахунок скорочення основного часу циклу напівавтоматичної обробки. Окрім того, робота передбачає розроблення технології виготовлення корпусної деталі (маршрутної та операційної), а також вибір відповідного інструментального (різального та контрольно-вимірювального) забезпечення та режимів обробки.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розробив	Нітефор П.В.				Вступ				Лім.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.								Н		6	1
									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Характеристика об'єкту виробництва

Деталь «Корпус» (лист 1 графічної частини) гідравлічного механізму є призматичним тілом з виконаними наскрізь отворами, які служать для переміщення плунжерів. Креслення деталі «Корпус» задовольняє всім вимогам ДСТУ. На ньому відображена інформація, у відповідності до якої проводиться вибір відповідних методів виготовлення і контролю. На кресленні задані технічні вимоги до точності розмірів, взаємного розташування поверхонь та їх форми, а також дані про якість поверхонь, матеріал та масу деталі. Виконавчі поверхні деталі «Корпус» та їх взаємне розташування повинні бути виконані з відповідним квалітетом точності, для забезпечення експлуатаційних характеристик при роботі гідравлічної системи протягом відповідного періоду та у відповідності з технічними вимогами. Матеріал деталі – Сталь конструкційна марки 20ГСЛ що відповідає стандартам.

Для забезпечення необхідної точності деталь має жорстку конструкцію, що дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки. На деталі немає важкодоступних місць обробки, що дозволяє використовувати прогресивний різальний інструмент. Можливе поєднання конструкторських та технологічних баз. Зазначені на кресленні відхилення розмірів, відповідна шорсткість поверхонь дозволяють проводити обробку на металорізальних верстатах нормальної та підвищеної точності. Для проведення вимірювання радіального биття поверхонь необхідно спроектувати спеціальне контрольне пристосування. Інші оброблювані поверхні з погляду точності і чистоти не становлять значних труднощів.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата										
Розробив		Нітефор П.В.			Аналітичний розділ				Літ.		Аркуш		Аркушів	
Перевірів		Буховець В.М.							Н		7		16	
Н. контр.		Кобельник В.Р.												
Затв.		Крупа В.В.							ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль					

Технологічні вимоги на деталь дозволяють при обробці та контролю її поверхонь використовувати стандартний різальний та вимірювальний інструмент. Поверхні і заданими розмірами доступні для проведення контрольних операцій.

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

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

№	Назва оброблюваної поверхні, та її розміри, мм	Точність (квалітет)	Відхилення розміру	Шорст- кість, мкм	Вид обробки
1	2	3	4	5	6
1 3	Плоска довжиною 220	h14	-1,14	Ra 12,5 Ra 12,5	Фрезерування торцевою фрезою
2 4	Плоска довжиною 120		-0,86	Ra 12,5 Ra 12,5	
5 6	Плоска довжиною 240		-1,14	Ra 12,5 Ra 12,5	
7 12 13	Отвори різьбові 10 шт. M16-7H	7H	-	Ra 6,3	Нарізання різі мітчиком
8	Отвори різьбові 2 шт. M10-7H	7H	-	Ra 6,3	Нарізання різі мітчиком
9 10 11	Отвори 3 шт. Ø16, Ø22	H12	+0,17 +0,20	Ra 6,3	Зенкерування
14 15	Отвори 2 шт. Ø5	H14	+0,31	Ra 12,5	Свердління
16 21	Отвори 2 шт. Ø70	H10	+0,12	Ra 3,2	Чистове розточування

17	Фаски 2шт.	-	-	Ra 3,2	Розточування
22	3x45 ⁰				
18	Фаски 2шт.	-	-	Ra 3,2	Розточування
23	5x15 ⁰				
19	Отвори 2 шт.	H8	+0,045	Ra 1,25	Полірування
24	Ø60				
20	Отвори 2 шт.	H14	+0,60	Ra 12,5	Розточування
25	Ø50				чорнове

1.2. Призначення, компоновка та кінематика горизонтального обробного центру з ЧПК для обробки корпусних деталей

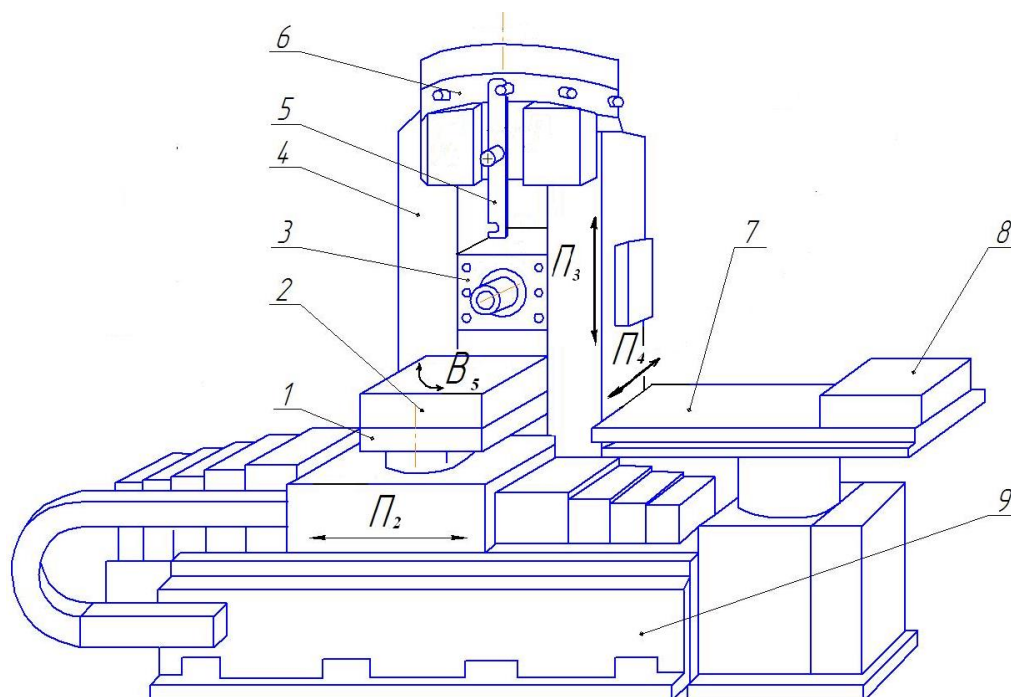
Горизонтальний обробний центр з ЧПК для обробки корпусних деталей мод. IP500ПМФ4 призначений для обробки поверхонь шляхом фрезерування (в тому числі з лінійною та круговою інтерполяцією по контуру), розточування (чорнового та чистового) отворів, свердління, зенкерування, нарізання різьби різцями та мітчиками [1, 2]. Обробку співвісних отворів консольним інструментом дозволяє здійснювати поворотний стіл обробного центра, що встановлюється у 72 позиціях з точністю $\pm 5''$. Для автоматичної заміни палет обробний центр оснащується гідромеханічним пристроєм, який знаходиться перед верстатом. Він забезпечує відповідну орієнтацію і фіксацію палет і їх завантаження-розвантаження. Обробний центр може оснащуватися накопичувачем столів-супутників. Висока степінь автоматизації обробного центра дозволяє вмонтувати його в автоматизовані лінії і автоматизовані виробництва з керуванням від ЕОМ [1].

Загальний вигляд обробного центра та його основні вузли приведені на рис. 1.1. [1, 2]. По напрямних, які прикріплені до станини 9, рухається в по осі Z (повздовжня подача) стійка 4. Шпиндельна бабка 3 забезпечує вертикальну подачу по осі Y. Вона виконана безконсольною та розміщена всередині стійки

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



а)



б)

Рисунок 1.1 – Горизонтальний обробний центр з ЧПК для обробки корпусних деталей мод. IP500ПМФ4: а) загальний вигляд; б) основні вузли

Поперечну подачу по осі Х забезпечує поворотний стіл 1 отримує. Зверху на стійці встановлений магазин 6, із якого інструмент автооператором 5 передається в механізм затиску інструменту шпинделя. Шпиндель і базові деталі мають високу жорсткість завдяки з великому числу ребер, що забезпечує високу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

10

жорсткість верстат та стійкість до вібрацій. Двопозиційний поворотний стіл 7 служить для заміни палет, що значно скорочує час на зміну заготовок. Це завдяки тому, що одночасно на одній палеті 2 проводиться обробка, а на другу палету 8 встановлюють заготовку. По закінченню обробки палета 2 пересувається автоматично вправо на стіл 7. Після цього стіл 7 повертається на кут 180° . На поворотний стіл 1 палета 8 із заготовкою поступає для обробки, а з палети 2 знімається оброблена деталь. Після зняття замість неї встановлюють та закріплюють наступну заготовку.

Кінематична схема горизонтального обробного центра для обробки корпусних деталей мод. ІР500ПМФ4 приведена на рис. 1.2.

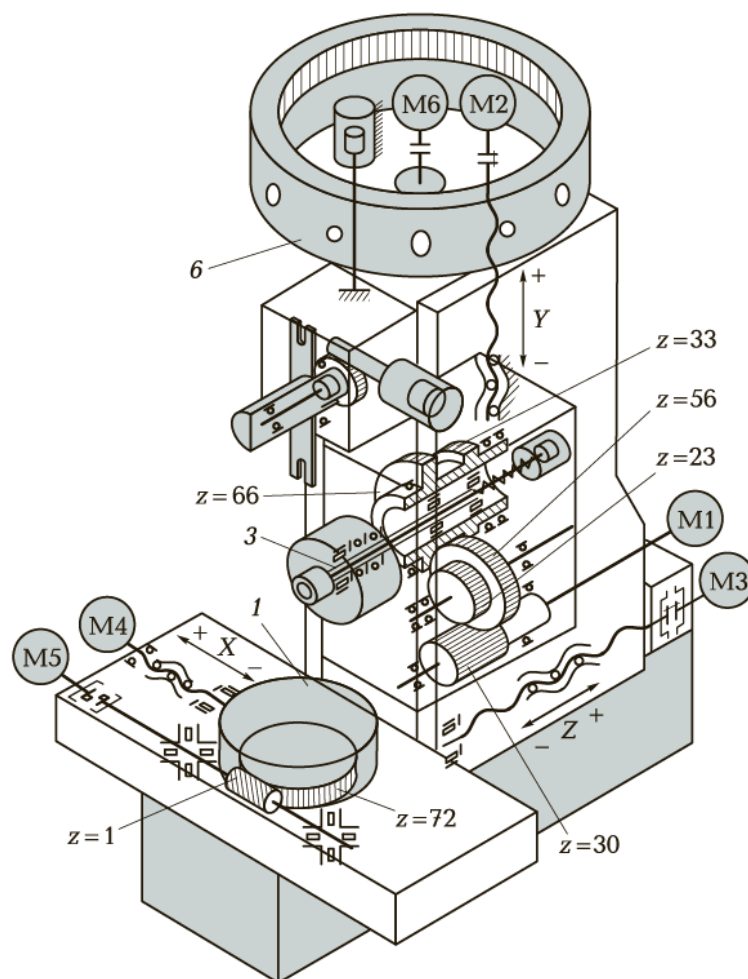


Рисунок 1.2 – Кінематична схема горизонтального обробного центру з ЧПК для обробки корпусних деталей мод. ІР500ПМФ4

Привід головного руху включає регульований двигун постійного струму двоступеневу коробку швидкостей та шпиндельний вузол. Шпиндельний вузол

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

отримує рух від регульованого двигуна постійного струму М1 ($N=14$ кВт ($n_{ном}=1000$ об/хв) через двоступеневу коробку швидкостей. Блок коліс зубчастих коліс Б1 ($z = 23$ і $z = 56$) перемикається гідравлічно. З блоку коліс із числом зубів $z=33$, $z=66$ крутний момент на шпиндель передається через зубчасту муфту. Шпиндельний вузол має механізм кутової орієнтації для забезпечення автоматичної заміни інструменту.

Рівняння кінематичного балансу приводу головного руху:

$$n_{дв1} \times \frac{30}{56} \times \left\langle \begin{array}{c} \frac{56}{33} \\ \frac{23}{66} \end{array} \right\rangle = n_{шп} \text{ об/хв}$$

Приводами переміщень шпиндельної бабки (вісь Y), стійки (вісь Z) і столу (вісь X) служать електродвигуни М2, М3, М4, з'єднані сильфонними муфтами з кульковими гвинтовими парами з кроком гвинта $p = 10$ мм. Двигуни приводів подач є регульованими високомоментними двигунами постійного струму. Приводи подач укомплектовані датчиками зворотного зв'язку.

Поворотний стіл обертається від високомоментного електродвигуна М5 через черв'ячну пару ($k = 1$ і $z = 72$). Перед поворотом гідросистема забезпечує розчеплення двох зубчастих півмуфт з торцевими зубами.

1.3. Аналіз конструкції основних вузлів горизонтального обробного центру з ЧПК

Шпиндельний вузол з механізмом затиску інструменту (рис.1.3) встановлений у корпусі 11 шпиндельної бабки. Опорами шпинделя 8, що сприймають радіальне навантаження, служать шпиндельні дворядні роликові підшипники 14 (у передній опорі) та 21 (в задній опорі). Здвоєний упорно-радіальний шпиндельний кульковий підшипник 12 сприймає осьове навантаження, що діє від сил різання на шпиндель. Натяг передньої опори шпинделя регулюють кільцями 16, 13 та гайками 10 і 9. Натяг задньої опори шпинделя регулюють кільцями 20, 22 та 23 шестерень. Від двоступеневої коробки

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

швидкостей крутний момент на шпиндель передає шестерня-напівмуфта 23. Дві шпонки 17 переднього торця шпинделя передають крутний момент оправці з інструментом. За допомогою тарілчастих пружин затискають оправку 15 у шпинделі 8. Їх зусилля регулюється гайкою 25. Замок, розміщений на передньому кінці захвату 6, забезпечує при його переміщенні у втулці 5 з'єднання (за допомогою кульок 19) і інструментальною оправкою через хвостовик 18.

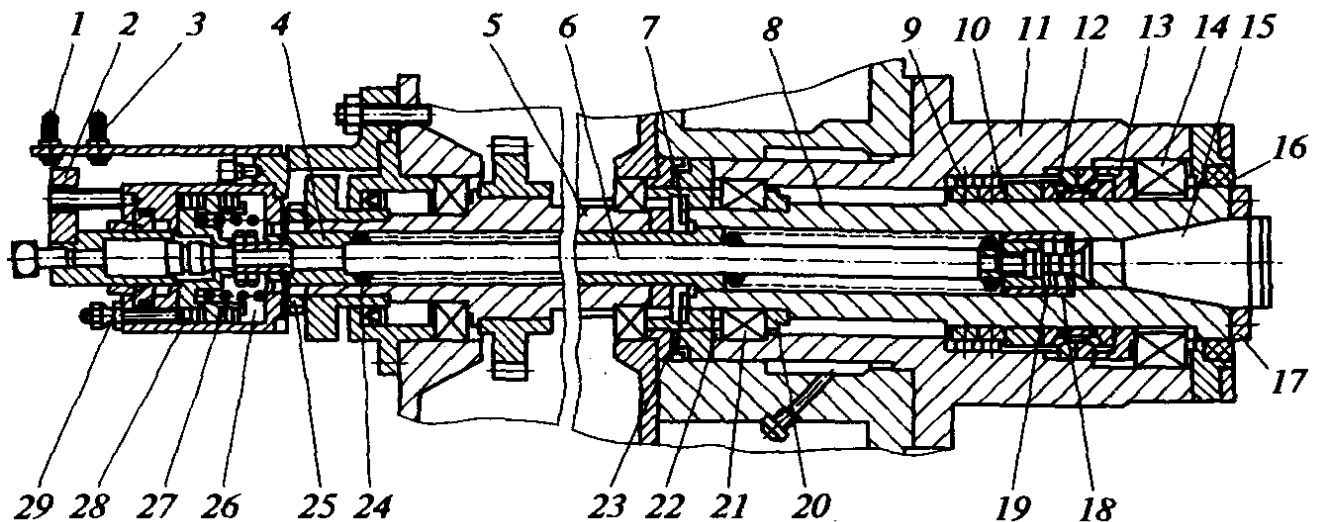


Рисунок 1.3 – Шпиндельний вузол із механізмом затиску інструменту

Гідроциліндром 28 через втулку 4 здійснюється вивільнення інструменту. Гідроциліндр 28 кріпиться у гідроблоці. На упорному підшипнику поршня 27 гідроциліндра встановлено упор 29. Він переміщує захват 6, здійснюючи при цьому звільнення оправки з інструментом. Безконтактні вимикачі 3 і 1 контролюють вивільнення інструменту при дії на них упору 2. Конічне гніздо шпинделя обдувається за допомогою стисненого повітря, що проходить через канал 26.

Двоступенева коробка швидкостей приведена на рис. 1.4. Обертання на шпиндель здійснюється від електродвигуна постійного струму через пари зубчатих коліс 10-2 і 2-7, або через пари зубчатих коліс 10-2 і 3-5.

В діапазоні частот обертання 21 – 194 об/хв і 623 – 935 об/хв забезпечується постійний крутний момент на шпинделі, а в діапазоні частот обертання 195 – 622 об/хв і 936 – 3000 об/хв – постійна потужність. Корпус коробки швидкостей

A - A
M 1 : 1

Dimensions (mm): 156, 18, 75, 71, 147, 42, 61, 34, 25, 13, 60, 8, 25, 30, 10, 70, 12, 85, 17, 23, 16, 25, 12, 122, 26, 6, 207, 10, 61, 25, 0.3, 1.

Tolerances:
 $\phi 65H7/js6$, $\phi 75js6$, $\phi 130H7$, $\phi 100H7/h6$, $\phi 90H7$, $\phi 36js6$, $\phi 75js6$, $\phi 130H7$, $\phi 90js6$, $\phi 126 \pm 0.04$, $57x_{\text{ad}}$, $\phi 50js6$.

Перед поворотом необхідно вивести з зачеплення напівмуфти 2 і 3. Ці напівмуфти фіксують платформу 5 відносно корпусу 18. Для розфіксації платформу піднімають за допомогою поршня 10 гідроциліндра 11. Спочатку подається масло (по каналу К₄) у верхню порожнину гідроциліндра. При цьому платформа переміщається до тих пір вгору, поки не вийдуть із зачеплення

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

півмуфти. Після цього вмикається високомоментний електродвигун М5 (рис. 1.2), який приводить в рух черв'ячне колесо 14, що в свою чергу повертає гільзу гідроциліндра 11. При повороті гільзи гідроциліндра 11 повертається зв'язана з нею платформу 5 через шпонку 4 на заданий кут. Гільза гідроциліндра 11 опускається після закінчення повороту при подачі масла в порожнину K_1 . Платформа 5 опускається і фіксується зубами півмуфт разом з гільзою.

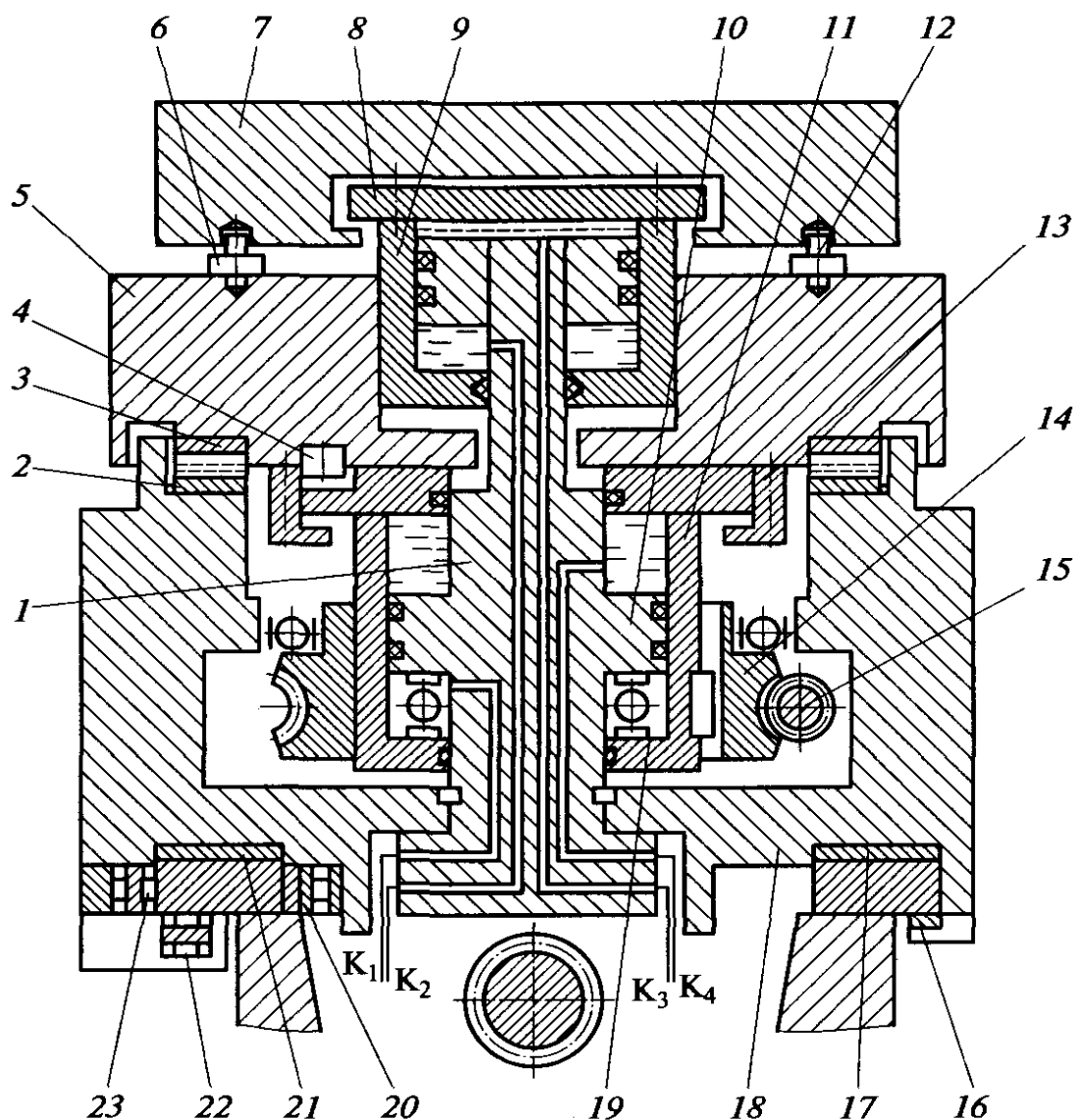


Рисунок 1.5 – Вмонтований поворотний стіл

Гідроциліндр 9 у верхній частині столу призначений для закріплення палети 7. Палета фіксується пальцями 6 і 12. Після фіксації вона опускається і притискається до столу фланцем 8 гідроциліндра 9, при подачі масла в його нижню порожнину по каналу K_2 . При подачі масла (по каналу K_3) у верхню порожнину гідроциліндра палета знімається з фіксаторів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

Приводи подач. Переміщення столу, шпиндельної бабки та стійки по осях X, Y, Z здійснюється від високомоментних електродвигунів 1 із статором з постійними магнітами (рис.1.6). Вони через високої жорсткості пружні муфти 4 безпосередньо з'єднані з гвинтами 5 прецизійних кулькових гвинтових пар. Кулькові гвинтові пари володіють високою навантажувальною здатністю, жорсткістю і довговічністю. Мінімальний час при переміщеннях забезпечують електроприводи подач завдяки постійному (до 0,2 с) часу розгону і гальмування. Позиціювання по трьох осях координат (X, Y, Z) може здійснюватися одночасно.

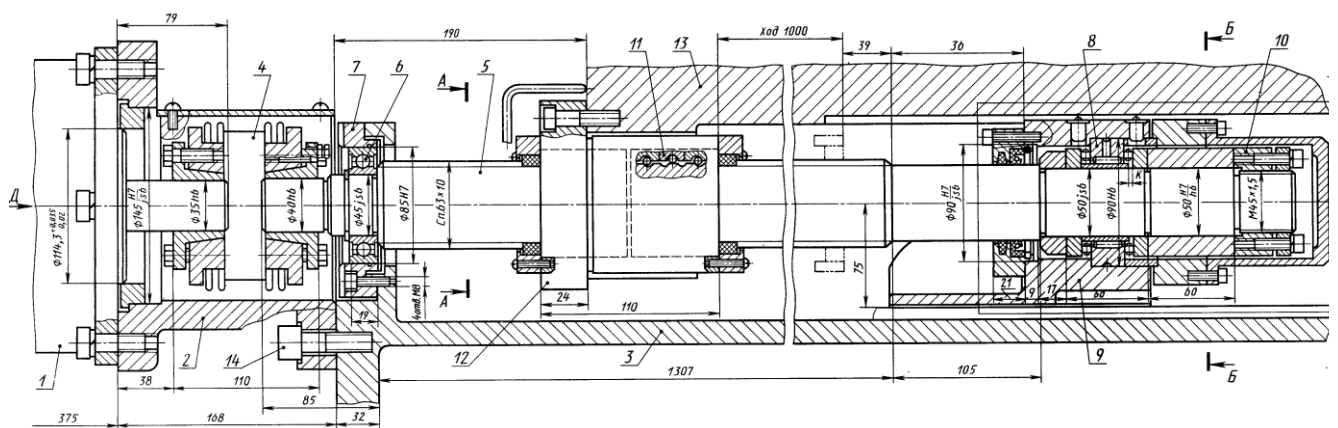


Рисунок 1.6 – Привід поздовжньої подачі

Напрямні. Переміщення рухомих вузлів верстата здійснюється по комбінованих напрямних. Вони складаються із встановлених з попереднім натягом прецизійних роликових опор кочення та антифрикційного полімерного матеріалу. Такий матеріал має низький коефіцієнт тертя та високі демпфувальні властивості. А це гарантує високу точність позиціювання та динамічну стійкість несучої системи верстата при здійсненні обробки на максимальних режимах різання. Напрямні виготовлені із загартованої сталі високої якості. Окрім того, вони відшліфовані з високою точністю і та низькою шорсткістю поверхні.

Від попадання стружки і змащувально-охолоджуючої рідини на напрямні захищає телескопічна конструкція, яка встановлена на всіх координатних переміщеннях. Телескопічний захист також надійно захищає і кулькові гвинтові пари. Завдяки цьому забезпечується тривале збереження точності обробного центра. Від попадання стружки і бруду безпосередньо на кулькові гвинти і

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ		Арк.
							16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

накладні напрямні служать спеціальні засоби для їх захисту.

Пристрій автоматичної заміни інструментів розташований зверху на стійці і складається з інструментального магазину барабанного типу, що обертається, з кодованими гніздами ємкістю на 30 інструментів і автооператора (рис.1.7). Автооператор розміщений у стійці над шпиндельною бабкою обробного центра. Пружини 13 встановлені між захватами-важелями 9 і 10 та прагнуть повернути відносно осей 11 і 12 захвати. Захвати змонтовані в корпусі 20, з'єднаному з гільзою 18. Кульковий підшипник 16 закріплений у кришці 17 гільзи, та посаджений на кінець штока 15 гідроциліндра 21. Гільза 18 із захватами рухається при переміщенні поршня 22 разом зі штоком 15. Завдяки цьому переміщенню з гнізда магазину або конуса шпинделя витягуються оправки із закріпленим в них інструментом. При повороті на 180° корпусу 20 із захватами за допомогою гідроциліндра 8 здійснюється заміна інструменту місцями. Шток гідроциліндра з'єднаний з рейкою 3, що знаходиться в зачепленні з зубчастим вінцем 2, який у свою чергу закріплений на стакані 1. Двома шпонками 14 і 19 правий кінець стакану з'єднаний з гільзою 18. Тому гільза із корпусом 20 захватів повертається зі стаканом 1 разом. Необхідні поздовжні переміщення гільзи із захватами здійснюються завдяки довгим шпонковим пазам.

В крайнє верхнє положення корпус автооператора 4 піднімається за допомогою гідроциліндра 6 по напрямних 5 і 7. Цей рух здійснюється для захоплення інструменту з магазину. Фланець підготовленої (шляхом повороту магазину на певний кут) до подачі в шпиндель верстата інструментальної оправки фіксує один із захватів автооператора. Інструментальна оправка утримується пружинами 13 при її вилученні із магазину і перенесенні у шпиндель. У автооператора передбачено запобіжний пристрій для того, щоб при повороті корпусу 20 захватів інструментальна оправка не вийшла із захватів внаслідок дії відцентрової сили. Коли відбувається поворот, то у шпонки 14 і 19 впираються внутрішні кінці важелів. Це відбувається у крайньому правому положенні корпусу 20. Така конструкція не дозволяє звільнити оправку шляхом зближення важелів.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

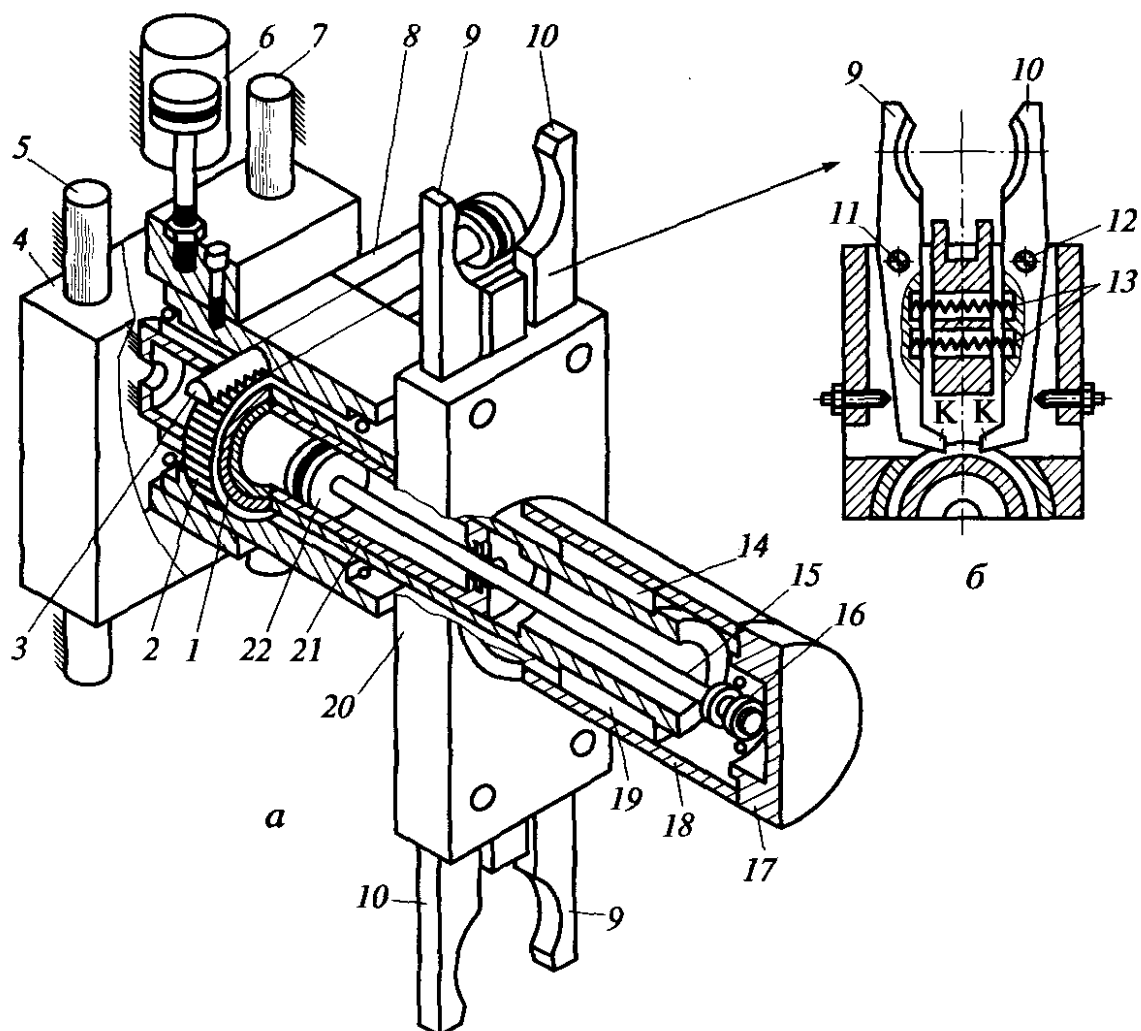


Рисунок 1.7 – Автооператор механізму заміни інструменту

Вибір інструменту в будь-якій послідовності з подальшою гідромеханічною фіксацією інструментального магазину здійснюється під час механічної обробки.

1.4. Аналіз конструкції приводів головного руху обробних центрів з ЧПК

Привод головного руху обробних центрів з ЧПК забезпечує головний формоутворюючий рух, що забезпечує зняття припуску із заготовки із заданою швидкістю різання.

Привід головного руху обробних центрів повинен забезпечувати постійну потужність при обробці в певній частині загального діапазон регулювання $D_{\text{п}}$. По розмірних характеристиках оброблюваних деталей та режимах обробки

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

формується діапазон регулювання при постійній потужності $D_{\text{пн}}$ та діапазон регулювання приводу $D_{\text{п}}$ [3-6]. Основні фактори, які впливають на конструктивне виконання приводу головного руху: продуктивність; тип різального інструменту та інструментальний матеріал; форма оброблюваної поверхні; точність і якість оброблюваної поверхні; автоматизація роботи; тощо [3-6].

Найширше у приводах головного руху багатоцільових верстатів використовуються приводи із безступеневим регулюванням. Вони побудовані в основному на базі привідних двигунів постійного струму та двигунів асинхронних частотно-регульованих [3-6].

При електричному регулюванні частота обертання двигунів змінюється у двох зонах. Перша зона – регулювання здійснюється із постійним моментом (від мінімальної $n_{\text{мін}}$ до номінальної $n_{\text{ном}}$ частоти обертання). Друга зона – регулювання здійснюється із постійною потужністю (вище $n_{\text{ном}}$ частоти обертання) [3-6].

Типові структури приводів головного руху обробних центрів приведені на рис. 1.8. [3-5].

Привід по схемі рис. 1.8,а складається з регульованого двигуна, який через пасову передачу передає рух шпиндель.

На схемі рис. 1.8,б приведений прямий привід, тобто привідний двигун безпосередньо зв'язаний із шпинделем через спеціальну з'єднувальну муфту.

Ряд приводів обробних центрів, виконані схемах рис.1.8 в, г., і містять розширювальну 2-х, або 3-х ступеневу коробку швидкостей, вмонтовану у шпиндельну бабку.

У деяких обробних центрах використовуються приводи, виконані по схемі рис. 1.8, д. У таких приводах з метою зменшення рухових мас розширювальна коробка швидкостей винесена окремо, а рухома шпиндельна бабка містить тільки шпиндельний вузол.

Варіанти конструкції приводів головного руху обробних центрів по схемах а, б та г приведені на рис. 1.8. Привод головного руху у вигляді моторшпинделя [3-5, 7] приведений на рис 1.9.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

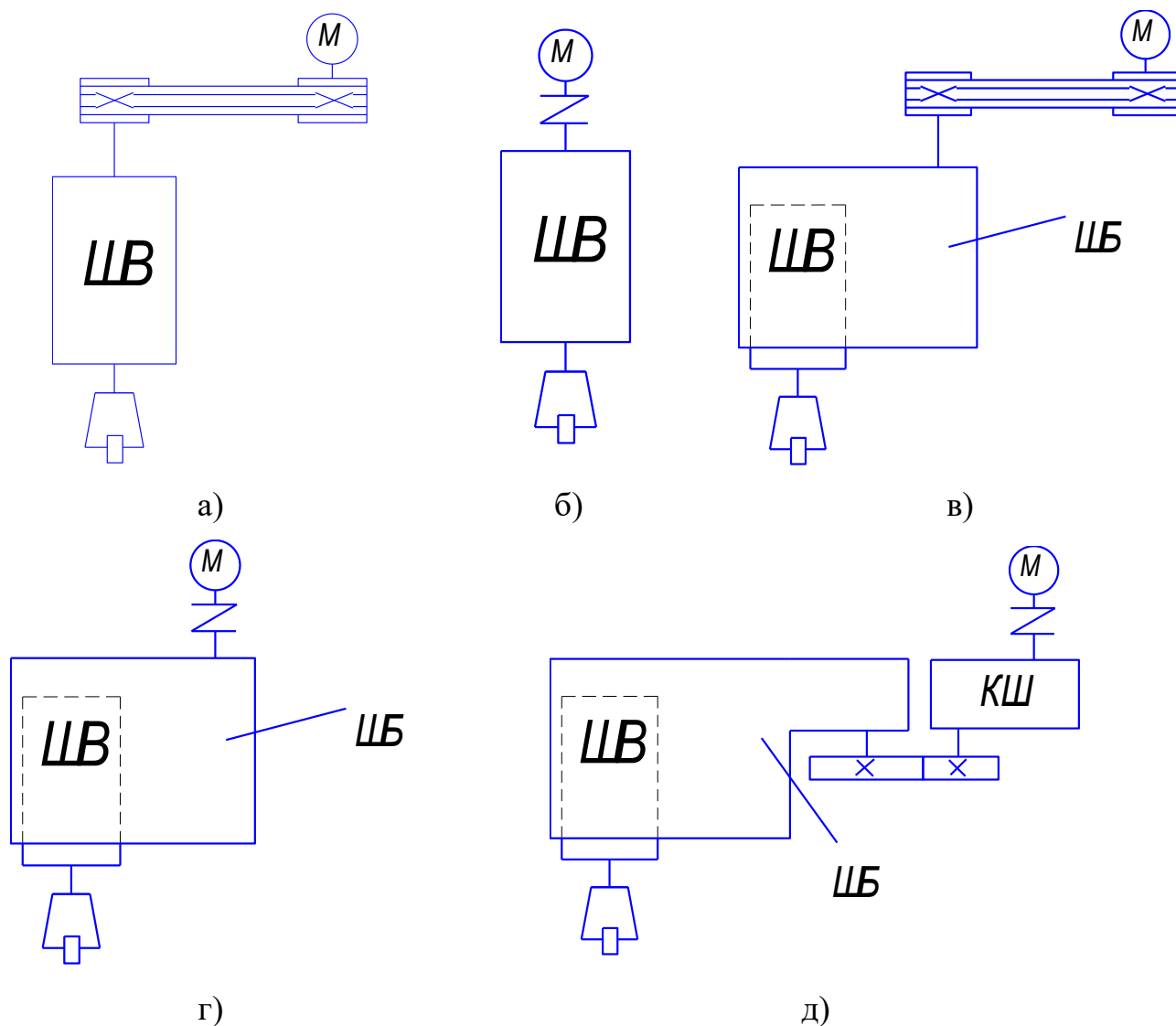
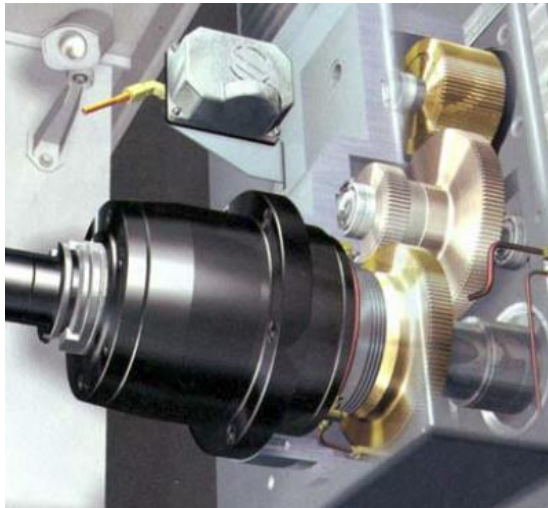


Рисунок 1.8 – Структури приводів головного руху із безступеневим регулюванням частоти обертання шпинделя

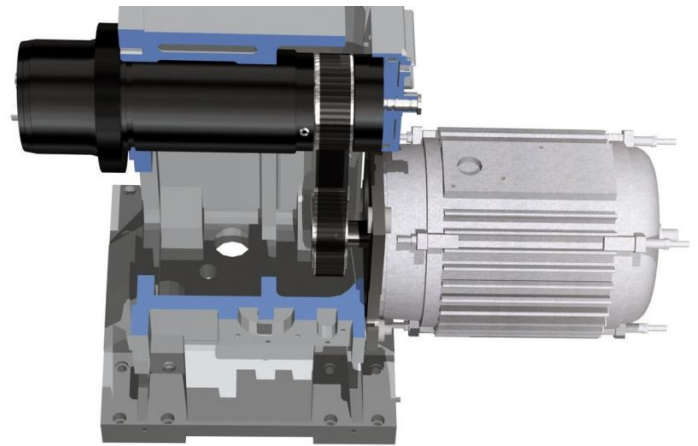
1.5. Вибір напрямку модернізації приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК

Оскільки розміри і геометрія оброблюваних деталей змінюються практично щодня, але в той же час актуальна проблема дотримання точності, якості поверхні і гнучкості при часі, що постійно зменшується, на освоєння нового виробництва, тому вимоги до устаткування дещо відрізняються в порівнянні із звичайною обробкою різанням. Вимоги до проєктованих вузлів верстатів для високошвидкісного різання потрібно розділяти з одного боку з погляду на вимоги

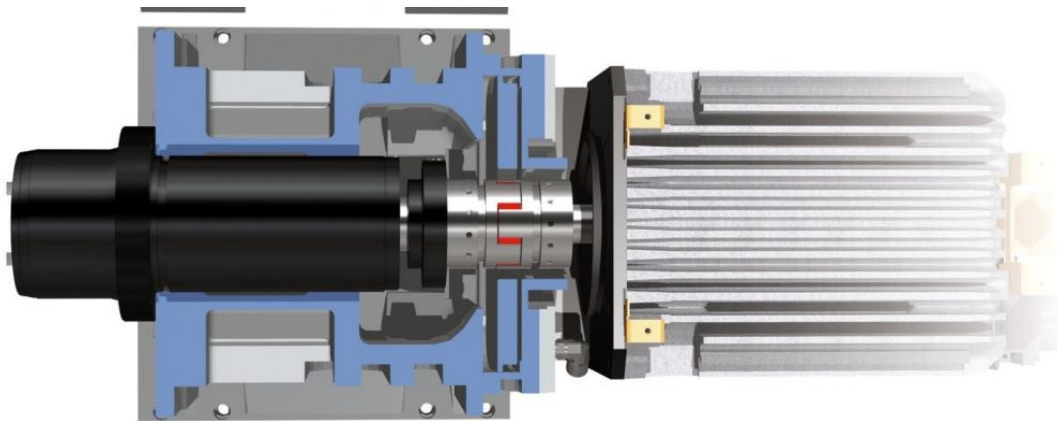
кінцевого користувача, з іншого – з погляду виробника, а з третього боку – з погляду процесу обробки [8-11].



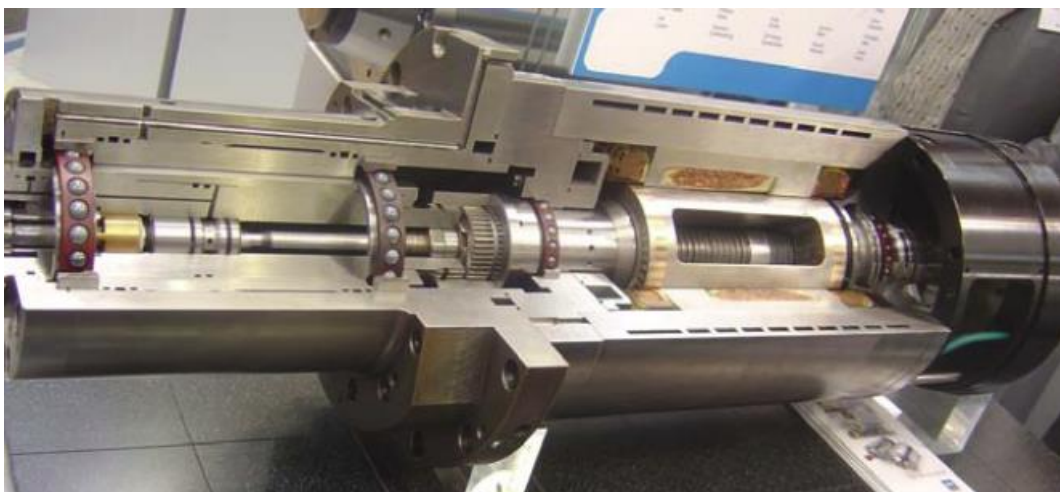
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.9 – Приводи головного руху обробних центрів з ЧПК:

а) привід з розширювальною коробкою швидкостей; б) привід з пасовою передачею; в) прямий привід; г) мотор-шпиндель

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

21

Інструментальні матеріали, з яких виготовлена різальна частина сучасного інструменту, дозволяють обробляти деталі із швидкостями різання 500 – 1000 м/хв, що вимагає реалізації високої частоти обертання шпинделя [6-10]. Як показав аналіз максимальна частота обертання шпинделя сучасних обробних центрів з ЧПК - $n_{\max} = 20000...30000 \text{ хв}^{-1}$ [7, 8-11]. Відмінними особливостями сучасних мотор-шпинделів для високошвидкісної обробки є велике число обертів, сучасні матеріали, що використовуються в підшипниках, вбудована система охолодження і інструментальне оснащення з HSK [3-7, 9-11]. Вони обладнані вмонтованими датчиками виявлення вібрацій, їх температурний перегрів можливо розрахувати і компенсувати за допомогою високорозвинутих алгоритмів [3-7]. Високопродуктивні мотор-шпинделі відрізняються векторним управлінням, що означає, що мотор-шпиндель працює з управлінням із зворотним зв'язком і його кутове положення відоме у будь-який момент [3-7]. Комбіновані підшипники кочення із сталевими обоймами і керамічними кульками дозволяють отримати необхідну жорсткість, низький ступінь зносу, високу точність і велику температурну стабільність в порівнянні з підшипниками із сталевими кульками [3-7]. Подача масляної суміші безпосередньо через корпус підшипників гарантує оптимальне змащування і продовжує термін експлуатації [3-7].

Останнім часом у високошвидкісній обробці отримала розповсюдження інструментальне забезпечення з порожнистими конусами (HSK) [9-11].

Основний напрямок модернізації приводу головного руху горизонтального обробного центра – підвищення продуктивності за рахунок скорочення основного часу циклу напівавтоматичної обробки, шляхом вимотування в шпиндельну бабку мотор-шпинделем із системою затиску інструментальних патронів з конусом HSK.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Проектування технологічного маршруту обробки деталі

Точність розмірів та розмірних зв'язків між ними, а також вибрана схема базування оброблюваної деталі визначають порядок обробки різанням окремих поверхонь [12-15]. При цьому технологічний процес містить операції чорнової та чистової механічної обробки. На вибір цих операцій впливають технічні вимоги щодо забезпечення точності розмірів, точності відносного положення, а також якості поверхонь [12-15].

Послідовність механічної обробки поверхонь найвищої точності приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Послідовність обробки найбільш точних поверхонь

Розмір оброблюваної поверхні, квалітет точності	Вид обробки	Розмір та квалітет, який отримується після обробки
Отвір Ø60, квалітет Н8	Розточування чорнове	Ø56, квалітет Н14
	Розточування напівчистове	Ø58 квалітет Н12
	Розточування напівчистове	Ø59 квалітет Н9
	Розточування чистове	Ø60 квалітет Н8
	Полірування	Ø60 квалітет Н8

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розробив		Нітефор П.В.			Технологічний розділ				Лім.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Буховець В.М.							Н		23	10
									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.		Кобельник В.Р.										
Затв.		Крупа В.В.										

Отвір Ø70H10	Розточування чорнове розточування	Ø68 квалітет H11
	Розточування чистове	Ø70 квалітет H10
Отвір різбовий M16 квалітет-6H	Центрування	-
	Свердління	Ø10 квалітет H14
	Розсвердлювання	Ø13,9 квалітет H12
	Нарізання різби	M16 квалітет -7H

Базовий маршрут обробки деталі приведений у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Базовий маршрут обробки деталі

№ опер.	Назва технологічної операції	Металообробне обладнання
10	Вертикально-фрезерна	6P13
20	Маркувальна	
30	Розміточна	
35	Свердлильна	2M57
45	Розміточна	
50	Координатно-розточна	2E440A
55	Слюсарна	
70	Свердлильна	2M57
90	Координатно-розточна	2E440A
100	Слюсарна	

На основі проведеного аналізу базового маршрутного технологічного процесу пропонується варіант маршруту механічної обробки деталі із

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

застосуванням верстатів з ЧПК, що дозволить підвищити продуктивність та зменшить кількість технологічного обладнання, що використовується.

Проектний маршрут обробки деталі приведений у табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Проектний маршрут обробки деталі

№ з/п	Назва технологічної операції	Перехід
010	Поздовжньо-фрезерна	Установ 1
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 243 _{-1,1}
		Установ 2
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 240 _{-0,3}
		Установ 3
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 223 _{-1,1}
		Установ 4
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 200 _{-0,3}
		Установ 5
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 123 _{-1,1}
		Установ 6
		Фрезерувати плоску поверхню, витримуючи розмір 120 _{-0,3}
015	Комбінована з ЧПК	Розточити напрохід 2 отвори в розмір $\varnothing 50^{+0,6}$
		Розточити 2 отвіри $\varnothing 60^{+0,64}$, витримуючи розмір $230 \pm 0,5$
		Розточити 2 отвори $\varnothing 60^{+0,046}$, витримуючи розмір $230 \pm 0,575$

015	Комбінована з ЧПК	Розточити 2 отвори $\varnothing 69^{+0,6}$ витримуючи розмір $37 \pm 0,3$
		Розточити 2 отвори $\varnothing 70^{+0,15}$, витримуючи розмір $37 \pm 0,3$
		Розточити 2 фаски
		Полірувати 2 отвори $\varnothing 60$ по всій довжині
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Центрувати по керуючій програмі 6 отворів
		Свердлити послідовно 4 отвори $\varnothing 13,9$ на довжину 29
		Зенкувати послідовно 4 фаски 2×45
		Нарізати послідовно різьбу M16-7H в 4 отв. на довжину 20
		Свердлити послідовно 2 отвори $\varnothing 10$ до виходу свердла в розточені отвори
		Зенкерувати послідовно 2 отвори $\varnothing 16H12$
		Зенкерувати послідовно 2 отвори $\varnothing 22H12$
		Зенкувати послідовно 2 фаски $1,5 \times 45$
		Зенкерувати по керуючій програмі фаски $1,5 \times 45$
030	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Центрувати по керуючій програмі отвір
		Свердлити по керуючій програмі отвір $\varnothing 5$ на довжину 31
035	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Центрувати по керуючій програмі 2 отвори
		Свердлити по керуючій програмі 2 отвори $\varnothing 8,4^{+0,3}$ під різь M10 на довжину 30^{+1}
		Свердлити по керуючій програмі 2 отвори $\varnothing 15^{+0,43}$ на довжину $6^{+0,3}$

		Нарізати по керуючій програмі різь М16-7Н в 4 отворах на довжину 20
040	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Центрувати по керуючій програмі 4 отвори
		Свердлити по керуючій програмі 4 отвори Ø13,8 на довжину 27
		Зенкувати по керуючій програмі 4 фаски 2x45
		Нарізати по керуючій програмі різь М16-7Н в 4 отворах на довжину 20

2.2. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

Вибір технологічного обладнання виконуємо згідно рекомендацій [1, 3-5].
Результати вибору записуємо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу

№ операції	Назва операції	Назва і модель металорізального верстату
010	Поздовжньо-фрезерна	Верстат поздовжньо-фрезерний мод. 6Г606Ф1
015	Комбінована з ЧПК	Горизонтальний обробний центр з ЧПК мод. ІР500ПМФ4
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Верстат вертикально-свердлильний з ЧПК мод. 2Р135Ф4
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Верстат вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2Р135Ф4
030	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Верстат вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2Р135Ф4
035	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2Р135Ф4

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

040	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Верстат вертикально-свердлильний верстат з ЧПК мод. 2P135Ф4
-----	-------------------------------	---

2.3. Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструментів для обробки на обробному центрі з ЧПК

Вибір і обґрунтування різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструментів для комбінованої технологічної операції 015 виконуємо згідно рекомендацій [15-17]. Результати вибору записуємо у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5. Вибраний різальний, допоміжний та вимірювальний інструмент для операції 015

Перехід	Різальний та допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
Розточити напрохід 2 отвори $\varnothing 50^{+0,6}$	Різець розточний фірми Iscar IHFF40 Головка для розточного різця фірми Iscar	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
Розточити 2 отвори $\varnothing 60^{+0,64}$, витримуючи розмір $230 \pm 0,5$	Iscar BHFMB50125x114 Пластина твердосплавна для розточного різця фірми Iscar TPGX110304L	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
Розточити 2 отвори $\varnothing 60^{+0,046}$, витримуючи розмір $230 \pm 0,575$	Подовжувач для розточного різця фірми Iscar EX50x200MB50 Оправка для подовжувача фірми Iscar CATM50MB50	Калібр-пробка Н8 8133-1104 ГОСТ 14812-69

Розточити 2 отвори Ø69 ^{+0,6} витримуючи розмір 37±0,3		Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
Розточити 2 отвори Ø70 ^{+0,15} , витримуючи розмір 37±0,3		Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
Розточити 2 фаски		Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 161-80
Полірувати 2 отвори Ø60 по всій довжині	Круг полірувальний Оправка для круга полірувального спеціальна	Зразки шорсткості по ГОСТ 9378-93

2.4. Визначення режимів різання для обробки на обробному центрі з ЧПК

Визначення режимів різання для операції розточування інструментами Iscar [17].

1. Діаметр, що обробляється – 60 мм.

За рекомендаціями фірми Iscar щодо застосування різального інструменту [17] призначасмо:

- для попередньої (чорнової) обробки – $v=140$ м/хв, $s=0,18$ мм/об;
- при фінішній обробці – $v=180$ м/хв, $s=0,05$ мм/об.

Частота обертання шпинделя для попередньої (чорнової) обробки дорівнюватиме:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 60} = 743 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n=630$ об/хв.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Фактична швидкість різання:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 630}{1000} \approx 118 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя для фінішної обробки:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 60} = 955 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n=800$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 800}{1000} \approx 150 \text{ об/хв.}$$

1. Діаметр, що обробляється – 70 мм.

За рекомендаціями фірми Iscar щодо застосування різального інструменту [17] призначаємо:

- для попередньої (чорнової) обробки – $v=140$ м/хв, $s=0,18$ мм/об;
- при фінішній обробці – $v=180$ м/хв, $s=0,05$ мм/об.

Частота обертання шпинделя для попередньої (чорнової) обробки дорівнюватиме:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 70} = 636 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n=630$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 630}{1000} \approx 138 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя для фінішної обробки:

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{\pi \cdot 70} = 818 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n=800$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 800}{1000} \approx 175 \text{ об/хв.}$$

Режими різання для комбінованої операції, що виконується на обробному центрі приведені у табл. 2.6.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.6. Режими різання для комбінованої операції, що виконується на обробному центрі

Тип обробки	Оброблюваний діаметр, мм	V, м/хв	n, об/хв	s, мм/об
Чорнова	50	98	630	0,18
	60	118	630	0,18
	70	138	630	0,18
Чистова	60	150	800	0,05
	70	175	800	0,05

2.5. Розрахунок основного технологічного часу обробки на обробному центрі з ЧПК

Основний технологічний час обробки на переходах визначається за формулою

$$T_{\text{маш}} = \frac{L + (2...3)}{S_0 n} \cdot i \quad (2.21)$$

де S_0 – подача, мм/об;

n – частота обертання інструменту, об/хв;

i – число проходів;

L – довжина обробки, мм.

Результати визначення основного машинного часу приведені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7. Результати визначення основного машинного часу

Перехід	s, мм/об	n, об/хв	L, мм	i	T _{маш} , хв
Розточити напрохід отвір Ø50 ^{+0,6}	0,18	630	250	1	1,98
Розточити напрохід отвір Ø60 ^{+0,64} витримуючи розмір 230±0,6	0,18	630	235	2	3,73
Розточити отвір Ø60 ^{+0,05} витримуючи 230±0,5	0,05	800	235	1	4,90

Розточити отвір $\varnothing 69^{+0,6}$ витримуючи розмір $38 \pm 0,3$	0,18	630	40	2	0,63
Розточити отвір $\varnothing 70^{+0,12}$ витримуючи розмір $38 \pm 0,3$	0,05	800	40	1	0,83
Розточити фаски	0,18	630	4	2	0,06
Полірувати отвір $\varnothing 60$ по всій довжині 210	2	1000	210	3	0,32
Розточити напрохід отвір $\varnothing 50^{+0,6}$	0,18	630	250	1	1,98
Розточити напрохід отвір $\varnothing 60^{+0,64}$ витримуючи розмір $230 \pm 0,6$	0,18	630	235	2	3,73
Розточити отвір $\varnothing 60^{+0,05}$ витримуючи $230 \pm 0,5$	0,05	800	235	1	4,90
Розточити отвір $\varnothing 69^{+0,6}$ витримуючи розмір $38 \pm 0,3$	0,18	630	40	2	0,63
Розточити отвір $\varnothing 70^{+0,12}$ витримуючи розмір $38 \pm 0,3$	0,05	800	40	1	0,83
Розточити фаски	0,18	630	4	2	0,06
Полірувати отвір $\varnothing 60$ по всій довжині 210	2	1000	210	3	0,32

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Модернізація приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК

3.1.1. Вибір типу приводу головного руху

В даний час ведуться інтенсивні роботи в галузі високопродуктивної та високошвидкісної обробки [8-10]. Сучасні різальні інструменти дозволяють обробляти деталі із швидкостями різання 500–1000 м/хв, що вимагає реалізації високої частоти обертання шпинделя [8-10]. Як показав аналіз верстатів-аналогів горизонтального обробного центра з ЧПК максимальна частота обертання шпинделя $n_{\max} = 3000 \dots 18000 (24000) \text{ хв}^{-1}$.

Сьогодні електропривод головного руху металорізальних верстатів розглядається як автоматизована електромеханічна система, що є енергетичною основою його функціонування та основою його автоматизованого управління. Одним із напрямків розвитку електроприводу головного руху є його інтеграція безпосередньо в конструкцію шпинделя. Така інтеграція, що має на меті виключення проміжних кінематичних ланок і підвищення динамічності та точності обертання шпинделя, принципово змінює компоновання шпиндельного вузла.

В якості приводу головного руху вибрано прямий привід. Він виконаний як цілісний мехатронний вузол, і містить в одній конструкції привідний та робочий органи. Інтегровані моторшпинделі не потребують зовнішнього двигуна для забезпечення моменту і потужності. Двигун є складовою частиною валу шпинделя і корпусу шпиндельного вузла.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Конструкторський розділ					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Нітефор П.В.									Н		33	19
Перевірів	Буховець В.М.									ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

3.1.2. Конструкція та принцип дії мехатронної привідної системи

Привідна система у вигляді інтегрованого моторшпинделя (рис.3.1) [7, 18] містить шпиндель 1, змонтований на підшипникових вузлах 2, 3. Між підшипниковими вузлами встановлено ротор 4. Статор 6 нерухомо встановлений у корпусі 5. Струмopровідні шини статора від'єднуються до мережі через приєднувальний термінал 7. Безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя 1 забезпечує привідний синхронний (або асинхронний) двигун, який складається із ротора 4 та статора 6. За допомогою датчика 8 проводиться контроль швидкості обертання шпинделя 1. Контроль позиціонування шпинделя 1 по координаті «С» здійснюється також від датчика 8. Відведення тепла від статора здійснюється пристроєм для подачі охолоджуючої рідини. Вона подається до гільзи статора 9 через трубопроводи. На зовнішній поверхні гільзи статора нарізана гвинтова канавка, яка з'єднана із каналами для підводу і відводу охолоджуючого середовища. Всередині шпинделя встановлений механізований пристрій для затиску інструменту, який містить привід затиску-розтиску 10, механізм затяжки 11 та механізм захоплення інструментальної оправки.

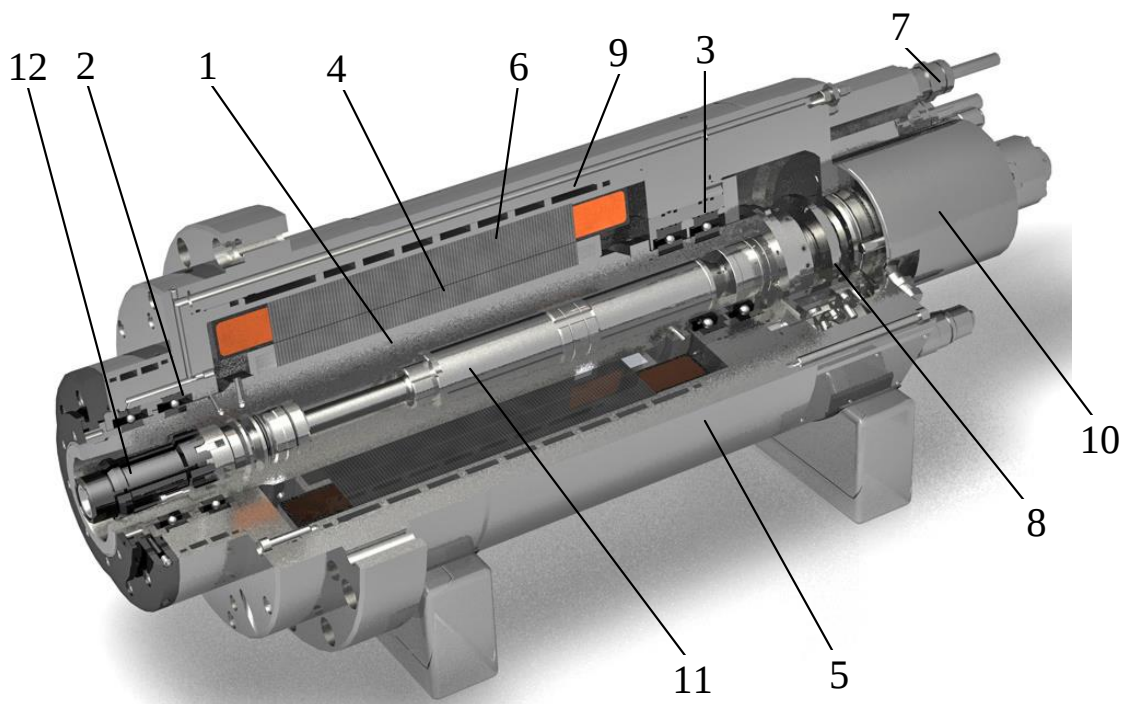


Рисунок 3.1 – Мехатронна система у вигляді моторшпинделя приводу головного руху

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

Елементи інтегрованого частотно-регульованого синхронного двигуна приводу шпинделя показані на рис.3.2.

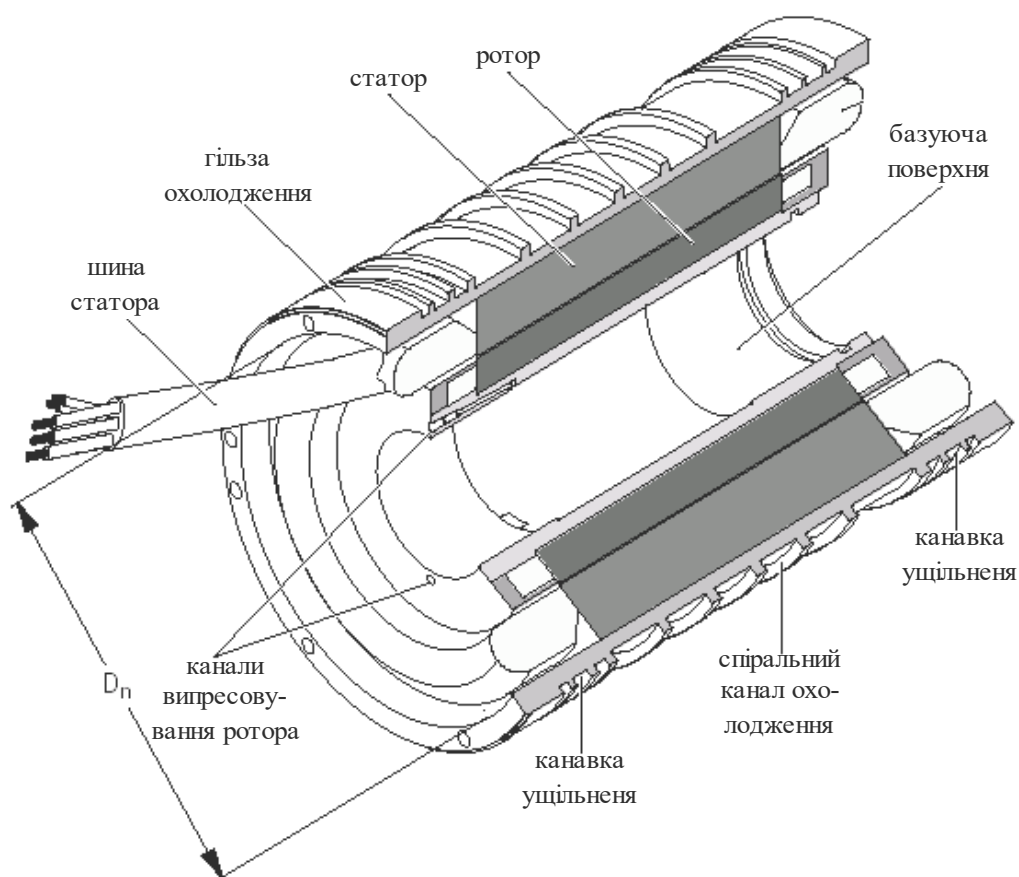


Рисунок 3.2 – Привідний частотно-регульований синхронний електродвигун

3.1.3. Вибір технічних характеристик і параметрів привідного двигуна. Графік зміни на шпинделі потужності та обертового моменту

Виходячи із кінематичних та силових характеристик верстатів-аналогів за даними фірми SIEMENS, що виготовляє синхронні двигуни мотор-шпинделів, вибрано привідний двигун 1FE 1084-4WN1 [18]. Технічні характеристики привідного двигуна подані у табл. 3.1.

Конструктивні розміри статора привідного двигуна 1FE 1084-4WN1 приведені на рис. 3.3, а конструктивні розміри ротора – на рис. 3.4.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики привідного двигуна 1FE 1084-4WN1

№п/п	Технічна характеристика	Позначення та одиниці вимірювання	Значення технічної характеристики
1.	Номінальний обертовий момент	$M_n, \text{Н} \cdot \text{м}$	84
2.	Номінальна потужність	$P_n, \text{кВт}$	33,8
3.	Номінальна напруга	$U_n, \text{В}$	380
4.	Номінальний струм	$I_n, \text{А}$	105
5.	Номінальна частота обертання	$n_{\text{ном}}, \text{хв}^{-1}$	3840
6.	Максимальна частота обертання	$n_{\text{max}}, \text{хв}^{-1}$	20 000
7.	Момент інерції ротора	$J_m, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0.0118

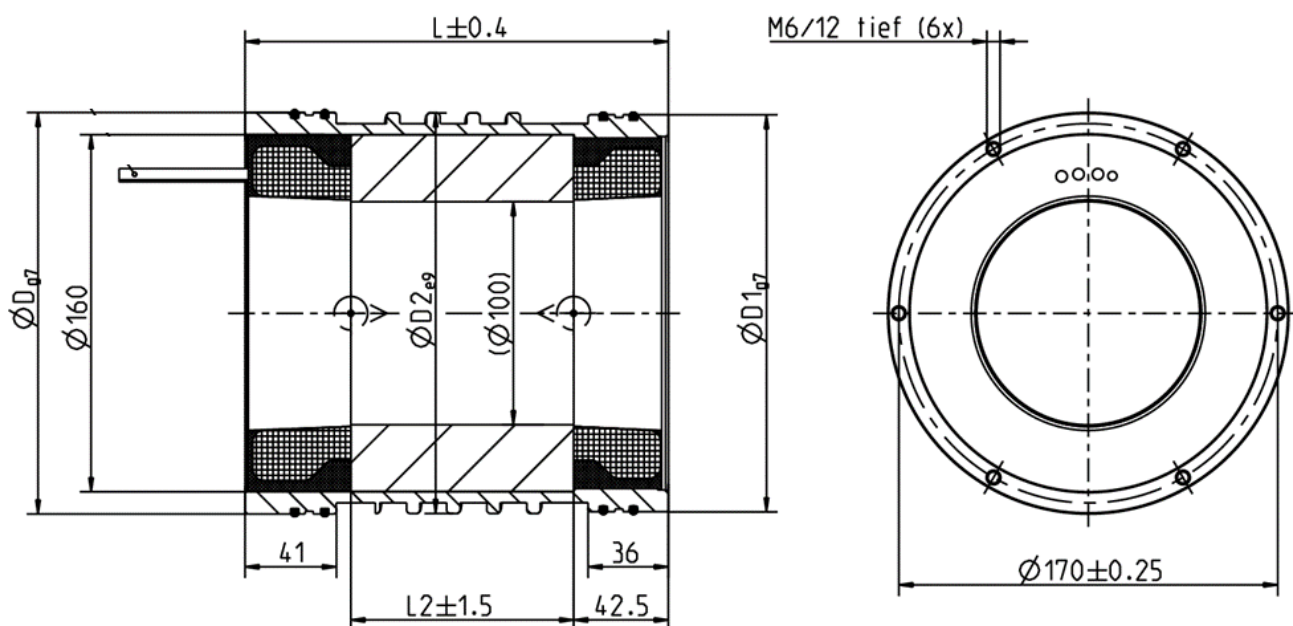


Рисунок 3.3 – Конструктивні розміри статора привідного двигуна 1FE 1084-4WN1:

$D=180 \text{ мм}; D1=170 \text{ мм}; L=240 \text{ мм}; L2=150 \text{ мм};$

Крутний момент та потужність, що розвивається привідним двигуном, змінюються при регулюванні його частоти обертання за допомогою відповідних частотних перетворювачів. При зміні частот обертання в діапазоні $n_{\text{min}} \dots n_{\text{ном}}$ крутний момент на шпинделі, що розвивається двигуном, постійний. Але при

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

цьому потужність на шпинделі міняється.

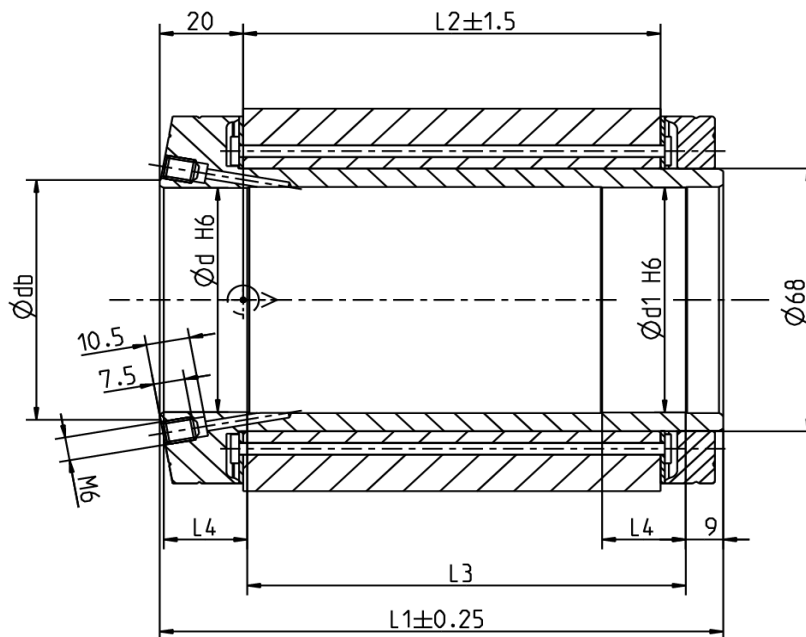


Рисунок 3.4 – Конструктивні розміри ротора привідного двигуна 1FE 1084-4WN1: $d=53$ мм; $d_1=53,2$ мм; $L_1=210$ мм; $L_2=150$ мм

При зміні частот обертання в діапазоні $n_{ном} \dots n_{max}$ потужність на шпинделі залишається постійною, а крутний момент зменшується. Зміна потужності та крутного моменту на шпинделі від частоти обертання приведена на графіку (рис. 3.5).

3.2 Проектирования шпиндельного узла моторшпинделя

3.2.1. Вибір конструювальної схеми шпиндельного вузла та типу опор

Компонувальна схема шпиндельного вузла, зображена на рис.3.6., вибрана виходячи із максимальної частоти обертання шпинделя та потужності, яка передається [3-5, 19].

По такій компоновальній схемі шпиндель встановлений на прецизійних радіально-упорних кулькових шпиндельних підшипниках. Передня та задня опори шпиндельного вузла складаються із двох радіально-упорних кулькових шпиндельних підшипників, які встановлені по схемі «О».

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

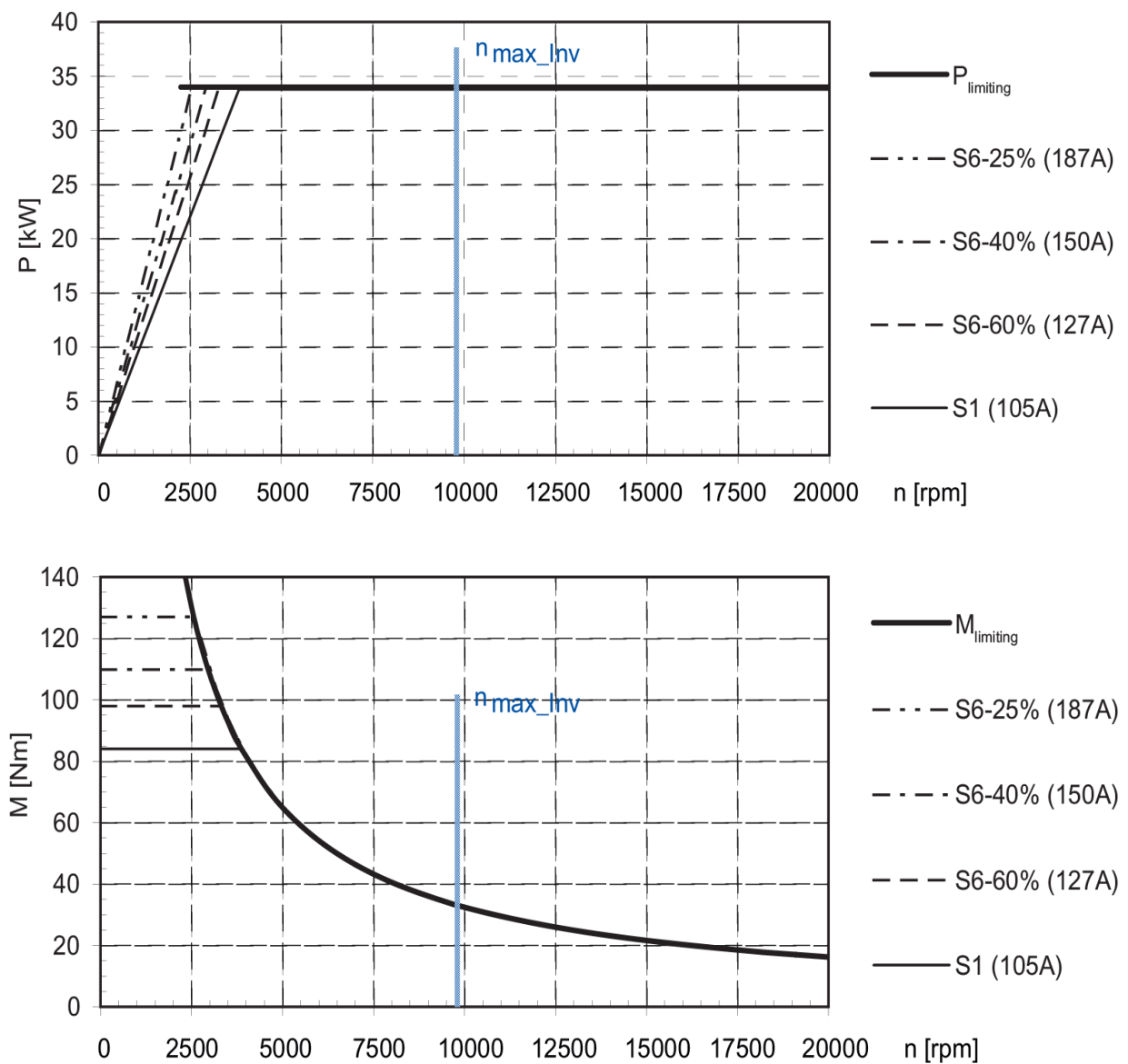


Рисунок 3.5. – Графічні залежності потужності та обертового моменту на шпинделі в залежності від його частоти обертання

Для забезпечення стабільної роботи шпиндельного вузла в таких опорах можна створювати легкий, середній та важкий попередній натяг [3-5, 19]. Він створюється при комплектуванні опори шпинделя підшипниками.

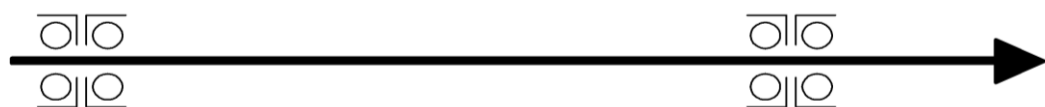


Рисунок 3.6 – Компонувальна схема шпиндельного вузла

Приймемо за рекомендаціями діаметр шийки шпинделя під передню опору 65 мм. По даному параметру вибираємо підшипники передньої опори фірми

Barden Corporation (США) марки 46111НС. З конструктивних міркувань під задню опору приймемо діаметр шийки шпинделя 50 мм. По даному параметру для задньої опори виберемо також підшипник фірми Barden Corporation (США), але марки 100911 НС Характеристики підшипників фірми Barden Corporation (США) для передньої та задньої опор приведені в табл.3.2 [20].

Таблиця 3.2. Характеристики підшипників опор шпинделя

№п/п	Характеристика підшипника	Позначення	Значення	
			46111НС	100911НС
1.	Внутрішній діаметр	d, мм	65	50
2.	Зовнішній діаметр	D, мм	100	80
3.	Ширина підшипника	B, мм	14	14
4.	Динамічна вантажопідйомність	C _{dyn} , кгс	1250	1250
5.	Статична вантажопідйомність	C ₀ , кгс	1050	1020
6.	Максимальна частота обертання	n, хв-1	25500	26000
7.	Сила натягу:			
	– легкий натяг	F _{VL} , Н	316	318
	– середній натяг	F _{VM} , Н	1056	1059
	– важкий натяг	F _{VH} , Н	2191	2194
8.	Осьова жорсткість при:			
	– легкий натяг	j _{aL} , Н/мкм	96,5	94,6
	– середній натяг	j _{aM} , Н/мкм	164,8	161,7
	– важкий натяг	j _{aH} , Н/мкм	237,9	233,7
9.	Кут контакту	α, град	15	15
10	Вага підшипника	m, кг	0,6	0,39

Максимально допустима частота обертання шпинделя, який встановлений на опорах кочення, визначається за залежністю [19]:

$$[n_{\max}] = n_{n\max} f_r, \quad (3.1)$$

де $n_{n\max}$ – частота обертання підшипника максимальна, хв.⁻¹;

f_r – фактор, який враховує схему компоновання опор шпиндельного вузла.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При легкому натягу в підшипниках для схеми компоновання опор шпиндельного вузла (рис.3.6) $f_r = 0,95$ [19].

Допустима максимальна частота обертання шпинделя для підшипників передньої опори буде мати значення:

$$[n_{\max}] = 25500 \cdot 0,95 = 24480 \text{ хв}^{-1} > n_{\max} = 20000 \text{ хв}^{-1}.$$

Отже, підшипники шпинделя вибрані правильно, оскільки допустима максимальна частота обертання шпинделя більша ніж його максимальна частота обертання.

3.2.2. Розрахунок радіальної жорсткості опор шпиндельного вузла

На жорсткість шпиндельного вузла впливає жорсткість його опор [19]. Якщо опора складається із одного підшипника, жорсткість опори рівна його жорсткості [19]. Якщо в опорі входить декілька підшипників, то її жорсткість можна визначити із умови, що всі підшипники, які знаходяться в опорі, можна рахувати такими, що утворюють одну комплексну опору, а її жорсткість залежить від її компоновальної схеми і жорсткості підшипників [19].

Комплексну опору шпиндельного вузла, що складається з двох підшипників, розглядають у вигляді двох умовних опор (рис. 3.7) [19]:

- 1 – що знаходиться ближче до торця шпинделя;
- 2 – що знаходиться даліше від торця шпинделя.

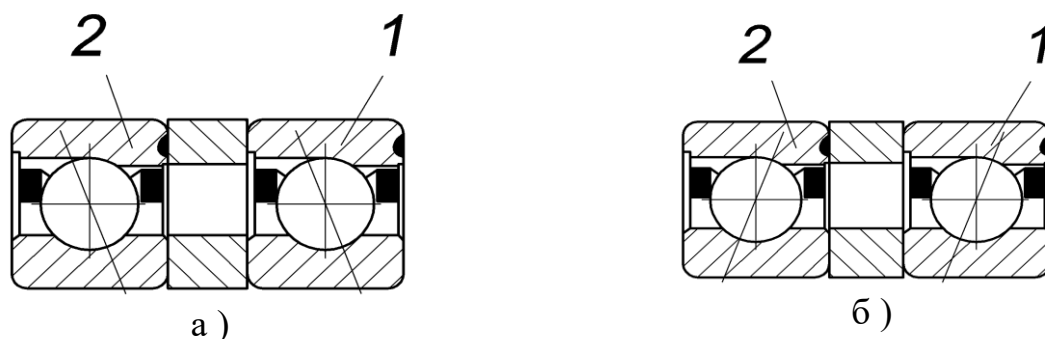


Рисунок 3.7 – Опори шпиндельного вузла моторшпинделя:
а – передня; б – задня

За [19] осьову жорсткість комплексних передньої та задньої опор визначають за залежністю:

$$j_{ap} = 1,64 \cdot j_{aL}, \quad (3.2)$$

де j_{aL} – осьова жорсткість підшипника; значення приймаємо для легкого натягу.

Отримана осьова жорсткість передньої опори:

$$j_{ap} = 1,64 \cdot 96,5 = 158,26 \text{ Н/мкм}$$

Отримана осьова жорсткість задньої опори:

$$j_{az} = 1,64 \cdot 94,6 = 155,14 \text{ Н/мкм}$$

Радіальна жорсткість умовної опори:

$$j_{r1(2)} = \frac{K_4 \cdot i_{1(2)}^{\frac{2}{3}} \cdot j_a}{1,5 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \left(i_1^{\frac{2}{3}} + i_2^{\frac{2}{3}} \right)}, \quad (3.3)$$

де K_4 – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між кульками підшипника;

i_1 – число підшипників в умовній першій опорі;

i_2 – число підшипників в умовній другій опорі;

α – кут контакту в підшипнику фактичний, град.

За [19] $K_4 = 0,52$.

Радіальні жорсткості умовних опор 1 та 2 передньої та задньої опори шпинделя:

$$j_{r1}^p = j_{r2}^p = \frac{0,52 \cdot 2^{\frac{2}{3}} \cdot 158,26}{1,5 \cdot \operatorname{tg}^2 15^\circ \left(2^{\frac{2}{3}} + 1^{\frac{2}{3}} \right)} = 468 \text{ Н/мкм.}$$

$$j_{r1}^z = j_{r2}^z = \frac{0,52 \cdot 2^{\frac{2}{3}} \cdot 154,14}{1,5 \cdot \operatorname{tg}^2 15^\circ \left(2^{\frac{2}{3}} + 1^{\frac{2}{3}} \right)} = 443 \text{ Н/мкм.}$$

Радіальна жорсткість передньої опори сумарна:

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

$$j_{r1} = j_{r1}^p + j_{r2}^p = 468 + 468 = 936 \text{ Н/мкм}$$

Радіальна жорсткість задньої опори сумарна:

$$j_{r1} = j_{r1}^z + j_{r2}^z = 443 + 443 = 886 \text{ Н/мкм}$$

3.2.3. Автоматизований розрахунок оптимальної віддалі між опорами шпинделя в пакеті MathCAD та його радіальної жорсткості

На жорсткість шпиндельного вузла суттєво впливають його конструктивні параметри. Їх раціональний вибір дозволяє отримати оптимальні (або близькі до оптимальних) характеристики жорсткості шпиндельного вузла.

Для наближених проектних розрахунків розрахункова схема шпинделя являє собою пружну балку на двох опорах. До консольної частини балки на віддалі c від середини передньої опори, прикладається сила F [19].

Загальна податливість шпиндельного вузла [19]:

$$k = \frac{c^2}{3E} \left[\frac{c}{I_2} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_1} \right] + k_1 \left[\frac{c(1-\varepsilon)+l}{l} \right]^2 + k_2(1-\varepsilon) \left(\frac{c}{l} \right)^2, \quad (3.4)$$

де I_1, I_2 – осьові моменти інерції перерізу шпинделя відповідно на робочому кінці і між опорами;

l – міжопорна віддаль;

c – виліт переднього кінця шпинделя;

E – модуль пружності матеріалу шпинделя;

ε – коефіцієнт, що враховує наявність в передній опорі моменту зачеплення.

k_1, k_2 – податливості відповідно передньої і задньої опор шпинделя;

Для отримання мінімальної податливості шпинделя на опорах рівняння (3.4) диференціюється по l . Після цього цей вираз прирівнюється до нуля, тобто: $dk/dl = 0$.

Отримане в результаті цього алгебраїчне рівняння третього порядку для визначення l_{opt} буде мати вигляд:

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

$$l^3 - \left[\frac{6EI_1 k_1}{c} l + 6EI_1 (k_1(1 - \varepsilon) + k_2) \right] = 0, \quad (3.5)$$

Вихідні дані для розрахунку, які входять у рівняння (3.5) приведені у табл. 3.3. Рівняння (3.5) розв'язувалось за допомогою математичного пакета MathCAD.

Таблиця 3.3. Вихідні дані для автоматизованого розрахунку

№п/п	Назва параметра	Позначення параметра, одиниці вимірювання	Числове Значення параметра
1.	Модуль пружності	Е, Н/мм ²	2,1·10 ⁵
2.	Податливість передньої опори	k ₁ , мм/Н	1,07·10 ⁻⁶
3.	Момент інерції перерізу між опорами шпинделя	I ₁ , мм ⁴	387130
4.	Момент інерції перерізу переднього кінця шпинделя	I ₂ , мм ⁴	875800
5.	Податливість задньої опори	k ₂ , мм/Н	1,13·10 ⁻⁶
6.	Виліт переднього кінця шпинделя	с, мм	60
7.	Коефіцієнт защемлення передньої опори	ε	0,15

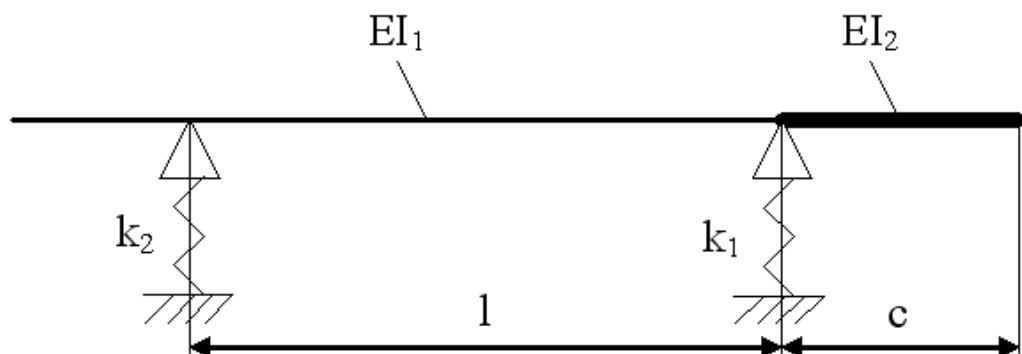
Результати визначення міжосьової віддалі приведені на рис. 3.8. Зміна жорсткості шпинделя в залежності від зміни міжосьової віддалі від l_{omm} до 500 мм приведена на рис. 3.9.

Приймаємо міжосьову віддачу $l = 336$ мм виходячи із конструктивних міркувань встановлення ротора привідного двигуна між опорами шпинделя.

Радіальна жорсткість переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла за результатами розрахунку при прийнятій міжосьовій віддалі $l = 336$ мм становить $j_{r_{sp}} = 165100 \text{ Н/мм} = 165,1 \text{ Н/мкм}$

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МІЖОПОРНОЇ ВІДДАЛІ

Розрахункова схема



Вихідні дані

$$E := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа} \quad c := 60 \text{ мм} \quad I1 := 387130 \text{ мм}^4 \quad I2 := 875800 \text{ мм}^4$$

$$\epsilon := 0.15 \quad k1 := 1.07 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н} \quad k2 := 1.13 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Перше наближення

$$l := 200 \quad +$$

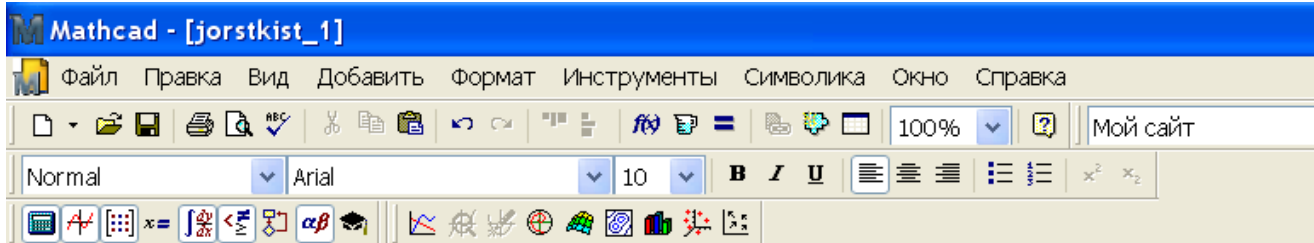
Рівняння для визначення оптимальної міжопорної віддалі

$$f(l) := l^3 - \frac{6 \cdot E \cdot I1 \cdot k1}{c} - 6 \cdot E \cdot I1 \cdot [k1 \cdot (1 - \epsilon) + k2]$$

Оптимальна міжопорна віддаль

$$\text{root}(f(l), l) = 100.118 \text{ мм}$$

Рисунок 3.8 – Визначення віддалі між опорами шпиндельного вузла у пакеті MathCAD



ВИЗНАЧЕННЯ РАДІАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ПЕРЕДНЬОГО КІНЦЯ ШПИНДЕЛЯ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА

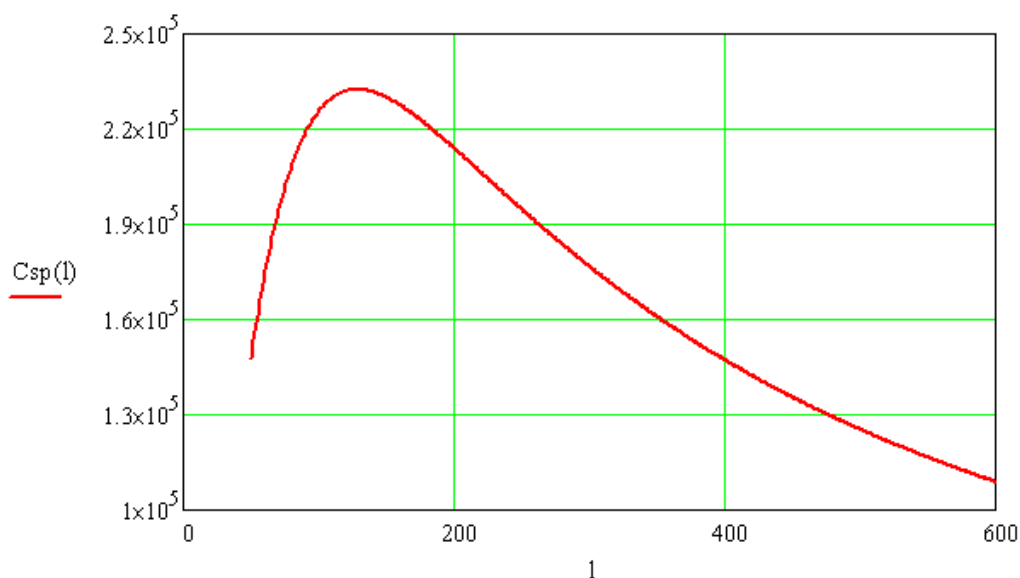
Вихідні дані

$$\begin{aligned}
 E &:= 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа} & \epsilon &:= 60 \text{ мм} & I1 &:= 387130 \text{ мм}^4 & I2 &:= 875800 \text{ мм}^4 \\
 \epsilon &:= 0.15 & k1 &:= 1.07 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н} & k2 &:= 1.13 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н} \\
 l &:= 50..600 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Податливість переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла

$$k(l) := \frac{c^2}{3 \cdot E} \cdot \left[\frac{c}{I2} + \frac{1 \cdot (1 - \epsilon)}{I1} \right] + k1 \cdot \left[\frac{c \cdot (1 - \epsilon) + 1}{1} \right]^2 + k2 \cdot (1 - \epsilon) \cdot \left(\frac{c}{1} \right)^2$$

Жорсткість переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла $C_{sp}(l) := \frac{1}{k(l)}$



Жорсткість переднього кінця шпинделя при $l=336 \text{ мм}$ $C_{sp}(336) = 1.651 \times 10^5 \text{ Н/мм}$

Рисунок 3.9 – Обчислення радіальної жорсткості переднього кінця шпинделя шпиндельного вузла у пакеті MathCAD

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

3.2. Опис конструкції та принципу дії моторшпинделя

Основним елементом шпиндельної бабки є шпиндель 10. Він змонтований на високошвидкісних кулькових радіально-упорних підшипниках. В передній опорі встановлені два радіально-упорних підшипники 46 В задній опорі встановлені також два радіально-упорних підшипники 47. Підшипники опор шпинделя скомплектовані по схемі «О». Обертання шпинделя здійснюється від вмонтованого частотно-регульованого синхронного двигуна. Цей привідний двигун складається із ротора 50, встановленого між опорами шпинделя, та статора 51, який встановлений у гільзі. Гільза та фланець 17 із шпиндельними опорами базуються в корпусі 1. Охолодження двигуна здійснюється через штуцери 22 та 24. Для контролю кута повороту шпинделя служать спеціальні датчики. Через фланець 18 приєднано гідроциліндра затиску за допомогою кріпильних гвинтів.

3.3. Розрахунок механізму затиску інструментальних оправок

3.3.1. Конструкція механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів

Механізм захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів приведена на рис. 3.10 [9, 10]. Поверхня контакту задніх кінців затискних сегментів зі шпинделем верстата механізмів захоплення з радіальним переміщенням затискних сегментів нахилена під кутом 30° [9, 10].

Такий механізм складається з затискної головки 2, нагвинченої на тягу затиску 5, яка фіксується затискним гвинтом 4. Затискна головка контактує своїми конічними поверхнями з затискними сегментами 3. На задніх кінцях затискних сегментів виконані нахилені пази, в які входять виступи втулки 6. Між втулкою 6, нагвинченою на втулку 8, і кільцем 9 встановлені пружини стиску 7, що забезпечують притискання затискних сегментів до похилої поверхні шпинделя 10.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

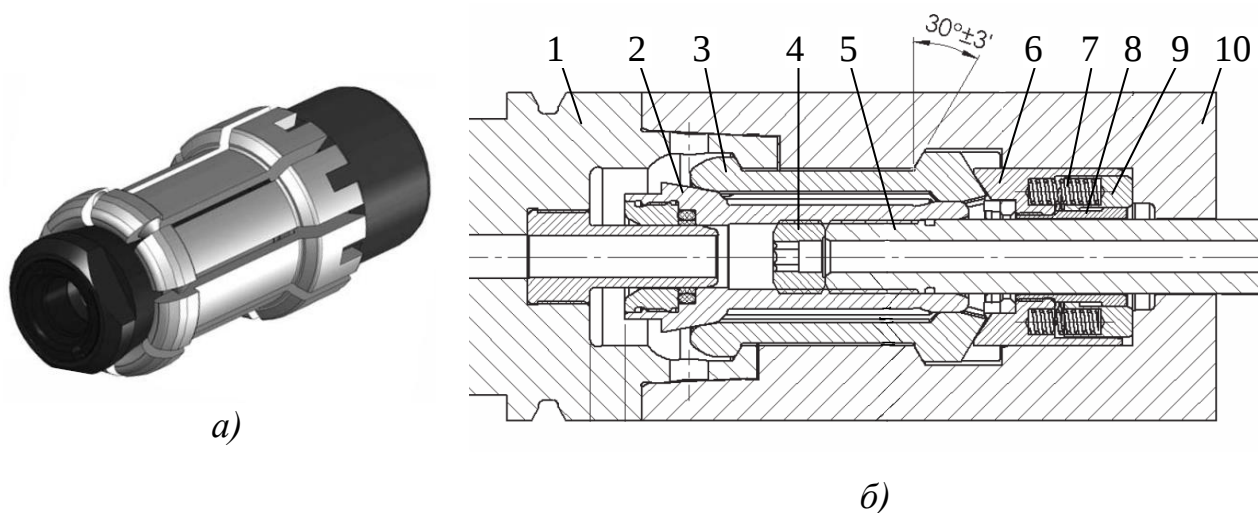


Рисунок 3.10 – Механізм захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів: а) загальний вигляд; б) конструкція

Затискні сегменти механізму захоплення здійснюють захоплення конуса та підсилюють осьове зусилля затягування [9, 10]. У процесі затиску вони переміщуються одночасно в радіальному від центру і в осьовому напрямку при переміщенні затискної тяги по похилих поверхнях затискної головки. Зусилля затиску створюється при тиску конічної поверхні затискної головки та затискні сегменти, що діють похилими площинами передніх кінців на затискну поверхню конуса. Замкнутий силовий потік проходить через затискні сегменти, а також по обох поверхнях затиску, розміщених під кутом 30° у розточці шпинделя і порожнистим конічним хвостовиком [9, 10]. Пружини стиснення, розміщені за контуром втулки з виступами, забезпечують переміщення затискних сегментів до центру для забезпечення вільного витягування хвостовика при його зміні [9, 10].

3.3.2. Розрахунок нормальної сили затиску хвостовика HSK

Розрахункова схема для визначення сили затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK приведена на рис. 3.11. Ця сила складається зі статичної сили затиску та динамічної сили затиску. Статична сила затиску буде залежати від осьової сили тяги затиску (рис. 3.11, а). Динамічна сила

затиску буде визначатися відцентровою силою під дією колової швидкості ω (рис.3.11, б).

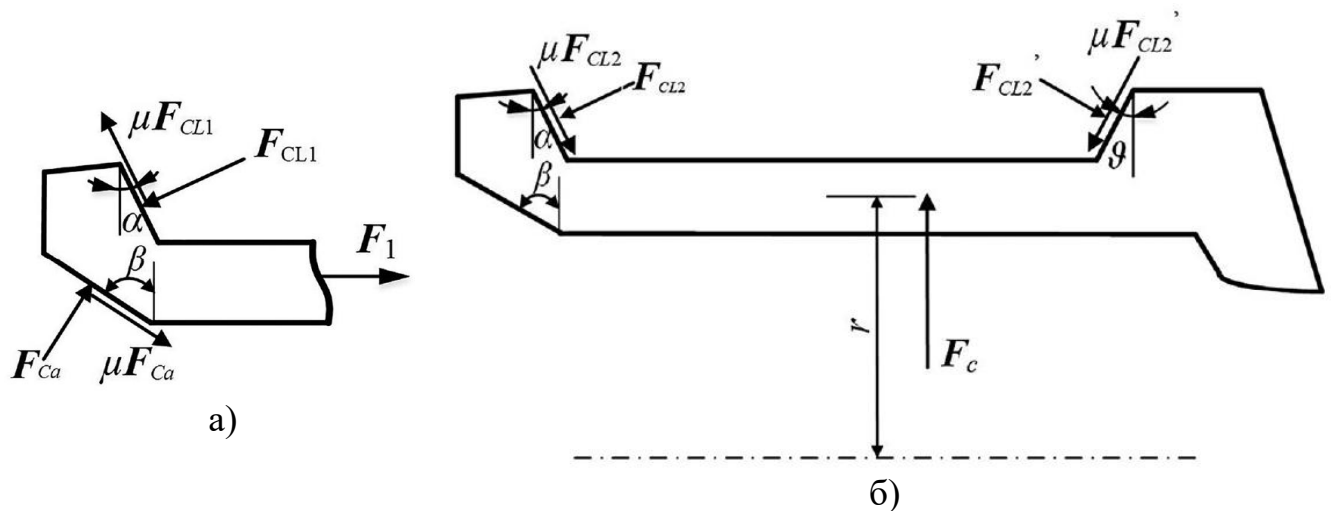


Рисунок 3.11 – Розрахункова схема для визначення сили затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK

Статична сила затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK визначається за формулою [21]:

$$F_{CL1} = F_1 \frac{\sin \beta - \mu \cos \beta}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)(\sin \beta - \mu \cos \beta) - (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)(\cos \beta + \mu \sin \beta)} \quad (3.6)$$

де F_1 – осьова сила тяги затиску, яка припадає на один затискний сегмент;

$\mu = 0,1$ - коефіцієнт тертя;

β – кут нахилу відносно вертикальної осі поверхні контакту затискного сегменту та затискної головки;

α – кут нахилу відносно вертикальної осі поверхні контакту затискного сегменту та хвостовика HSK;

Для спроектованого механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів значення кутів будуть наступними: $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 80^\circ$.

Осьова сила тяги затиску, яка припадає на один затискний сегмент, що створюється гідравлічним приводом:

$$F_1 = F/z = 12/6 = 2 \text{ кН}, \quad (3.7)$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

де F – осьова сила тяги затиску, що створюється гідравлічним приводом;

z – кількість затискних сегментів механізму захоплення хвостовика.

Підставивши значення у формулу (3.6) отримаємо:

$$F_{CL1} = 2 \cdot \frac{\sin 80^\circ - 0,1 \cos 80^\circ}{(\cos 30^\circ + 0,1 \sin 30^\circ)(\sin 80^\circ - 0,1 \cos 80^\circ) - (\sin 30^\circ - 0,1 \cos 30^\circ)(\cos 80^\circ + 0,1 \sin 80^\circ)} = 2,5 \text{ кН.}$$

Динамічна сила затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK визначається за формулою [21]:

$$F_{CL2} = F_C \frac{\cos \vartheta - \mu \sin \vartheta}{(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)(\cos \vartheta - \mu \sin \vartheta) - (\sin \vartheta + \mu \cos \vartheta)(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} \quad (3.8)$$

де F_C – відцентрова сила, яка виникає при обертанні шпинделя з коловою швидкістю ω ;

ν – кут нахилу відносно вертикальної осі поверхні контакту затискного сегменту та шпинделя.

Для спроектованого механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів $\nu = 30^\circ$.

Максимальна відцентрова сила, яка виникає при обертанні шпинделя на максимальній частоті, і діє на затискний сегмент [21]:

$$F_C = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (3.9)$$

де m – маса затискного сегменту;

r – радіус розташування центра мас затискного сегменту.

Для спроектованого механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів $m = 0,05$ кг; $r = 15$ мм = 0,015 м.

Максимальна колова швидкість обертання затискного сегменту визначається за формулою:

$$\omega = 2 \pi \cdot n_{\max} / 60, \quad (3.10)$$

де $n_{\max} = 20000$ об/хв – максимальна частота обертання шпинделя.

Підставивши значення у формулу (3.10) отримаємо:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 20000 / 60 = 2094 \text{ рад/с.}$$

Підставивши значення у формулу (3.9) отримаємо:

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$F_C = 0,05 \cdot 0,015 \cdot 2094^2 = 3288 \text{ Н} \approx 3,3 \text{ кН.}$$

Підставивши значення у формулу (3.8) отримаємо максимальну динамічну силу затиску затискними сегментами:

$$F_{CL2} = 3,3 \cdot \frac{\cos 30^\circ - 0,1 \sin 30^\circ}{(\sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ)(\cos 30^\circ - 0,1 \sin 30^\circ) + (\sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ)(\cos 30^\circ - 0,1 \sin 30^\circ)} = 2,8 \text{ кН}$$

Сумарна максимальна сила затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK буде рівна при обертанні шпинделя на максимальній частоті:

$$F_{CL} = (F_{CL1} + F_{CL2}) \cdot z \quad (3.11)$$

Підставивши значення у формулу (3.11) отримаємо:

$$F_{CL} = (2,5 + 2,8) \cdot 6 = 31,8 \text{ кН.}$$

Розрахункова схема для визначення нормальних складових сил затиску на конічній та торцевій поверхнях хвостовика HSK інструментальної оправки при дії сили затиску F_{CL} приведена на рис. 3.12.

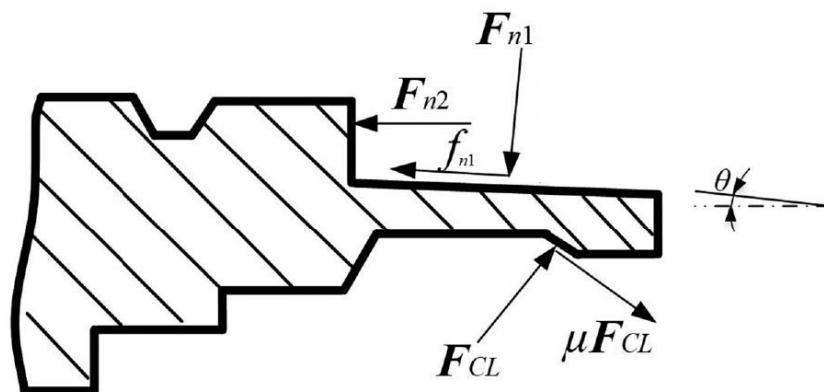


Рисунок 3.12 – Розрахункова схема для визначення нормальних складових сил затиску на конічній та торцевій поверхнях хвостовика HSK інструментальної оправки при дії сили затиску F_{CL}

Максимальна нормальна сила затиску хвостовика HSK інструментальної оправки на його конічній поверхні при обертанні шпинделя на максимальній частоті визначається за формулою [21]:

$$F_{n1} = F_{CL} \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \theta - \mu \sin \theta}, \quad (3.12)$$

де θ – кут нахилу конічної поверхні хвостовика HSK інструментальної оправки, що контактує із конічним гніздом у шпинделі.

Для стандартного хвостовика HSK інструментальної оправки $\theta = 5,7^\circ$.

Підставивши значення у формулу (3.12) отримаємо:

$$F_{n1} = 31,8 \cdot \frac{\sin 30^\circ - 0,1 \cos 30^\circ}{\cos 5,7^\circ - 0,1 \sin 5,7^\circ} = 13,4 \text{ кН.}$$

Максимальна нормальна сила затиску хвостовика HSK інструментальної оправки на його торцевій поверхні при обертанні шпинделя на максимальній частоті визначається за формулою [21]:

$$F_{n2} = F_{CL} \frac{(1 + \mu^2)(\cos \theta \cos \alpha - \sin \theta \sin \alpha)}{\cos \theta - \mu \sin \theta}, \quad (3.13)$$

Підставивши значення у формулу (3.13) отримаємо:

$$F_{n2} = 31,8 \cdot \frac{(1 + (0,1)^2)(\cos 5,7^\circ \cos 30^\circ - \sin 5,7^\circ \sin 30^\circ)}{\cos 5,7^\circ - 0,1 \sin 5,7^\circ} = 26,6 \text{ кН.}$$

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Оцінка розробленої конструкції моторшпинделя з інструментальною системою з умов безпеки експлуатації

Переваги обробки при високих швидкостях різання пов'язані з її недоліками і насамперед з дуже високими вимогами, що ставляться при цій обробці до дотримання техніки безпеки. Уламки, які розлітаються із високою швидкістю, будь-якого інструменту, що зламався, загрожують як здоров'ю людей, так і справності машин [8, 22].

Багатократне (у 5 – 10 разів) підвищення швидкостей різання і подач, що відбувається при високошвидкісній обробці, ставить також і нові вимоги до техніки безпеки, які раніше в такій формі при роботі на звичайних верстатах з ЧПК не повинні були враховуватися. Якщо узяти, наприклад, відцентрові сили, то вони при високошвидкісній обробці ростуть в квадратичній залежності від частоти обертання інструменту і можуть досягати таких величин, які приведуть до його поломки [8, 22]. Уламки інструментів, що розлітаються, якщо вони не будуть затримані в робочій зоні з допомогою відповідним чином сконструйованих огорож, потенційно є значною небезпекою для обслуговуючого персоналу, що знаходиться поблизу верстатів.

Вибір і встановлення інструментів з урахуванням техніки безпеки. Характерна особливість високошвидкісного фрезерування полягає в тому, що основне навантаження на інструмент здійснюється вже не силами різання, а збільшеними в 3 – 10 разів відцентровими силами [8, 22]. Якщо при звичайній обробці на верстатах з ЧПК цими силами можна було нехтувати, то при високошвидкісній вони досягають таких значень, які нерідко приводять до руйнування інструментальних систем. Енергія уламків інструментів, що

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Нітефор П.В.								Н		52	9
Перевірів	Окіпний І.Б.								ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

розлітаються з високими швидкостями по непередбачуваних траєкторіях, може досягти такої величини, що ці уламки приведуть до руйнування окремих елементів машин і (або) травм людей, що знаходяться поблизу.

Цей факт говорить про те, що використанню інструментів з максимальним переліком вимог безпеки потрібно приділяти особливу увагу. Слід врахувати, що чим складніше конструкція інструментальної системи, тим більше вірогідність її руйнування. Іншими словами, ризик збільшується прямо пропорційно кількості змонтованих в інструментальній системі елементів і енергії, яка може звільнитися у разі її руйнування. З цього виходить, що застосування комплексних інструментів обумовлює високі вимоги до їх вибору і монтажу [8, 22].

Проведені дослідження інструментів типу інструментальних головок і торцевих фрез на стенді по перевірці величини відцентрових сил, що виникають при роботі цих інструментів показали, що понад 80% пошкоджень, що виникають у цих головок, і поломок доводиться на їх різальну частину і касети і 11% - на корпуси [8-10]. Хоча поломки корпусів відбуваються значно рідше (більш, ніж в 7 разів); енергії при цьому вивільняється значно більше. Уламок алюмінієвого корпусу фрезерної головки діаметром 200 мм, що обертається з частотою 27500 об/хв, розмір якого складає приблизно чверть цієї головки, розвиває енергію величиною 21,5 кДж [8, 22]. Такій енергії навряд чи зможе протистояти огорожа, навіть кабінетна, фрезерного верстата. У сталевому корпусу головки величина енергії, що вивільняється, підвищується до 60 кДж [8, 22]. Проте і значно менші по розмірах змінні непереточувані пластини або касети можуть у разі поломки головки розвивати енергію, порівнянну з енергією дрібнокаліберного снаряда.

За наслідками проведених досліджень були розроблені рекомендації, яким чином можна понизити ймовірність поломки інструментів типу інструментальних головок шляхом їх конструювання з урахуванням техніки безпеки або шляхом збільшення допустимої частоти обертання цього інструменту. Перевірка величини відцентрової сили, що розвивається на дослідних роторах з покращуваної сталі 42CrMo4, яку часто застосовують для виготовлення корпусів фрез, виявили зворотний зв'язок між окриненням і підвищенням твердості матеріалу і частотою

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обертання інструменту, при якій відбувається розрив його корпусу (наприклад, 50000 об/хв при твердості корпусу 55HRC і 82000 об/хв при його твердості 30HRC) [8, 22]. Аналогічні співвідношення визначені і для інших матеріалів, причому встановлено, що на максимальну частоту обертання, при якій відбувається розрив, робить також вплив товщина загартованого шару.

Наявність в інструментах ексцентричних осьових отворів для установки фрезерних головок приводить до того, що на їх направлених всередину кромках виникає приблизно триразове перевищення величини напруження, що може вплинути на максимально допустиму частоту обертання фрезерної головки [8, 22].

Необхідність жорсткого кріплення непереточуваних змінних пластин у інструментальних системах. Вплив відцентрових сил на зчеплення різальної частини інструменту з його корпусом також має велике значення. При цьому разом з конструктивним виконанням пластин дуже важлива їх ретельна установка. У інструментів з клиновим кріпленням номінальний момент затягування гвинтів, що задається виготовлювачем, має дуже важливе значення для надійності кріплення інструменту. Якщо цей параметр не буде дотриманий, то частота обертання, при якій забезпечується притягання різальної частини інструменту до його корпусу, буде істотно зменшена. Так, при діаметрі інструменту 160 мм момент затягування на 50% менше заданого, створюваного, наприклад, при установці різальних пластин без допомоги динамометричного ключа знижують більш ніж на 30% максимально допустиму частоту обертання, при якій не відбувається розриву інструменту [8, 22]. Залежно від наявності забруднень або стану мастила елементів затискного клину і гвинта, а також самої різальної пластини цю величину можуть зменшити ще на 20%.

При несприятливому співвідношенні ці показники складаються, тобто якщо даний випадок розриву знаходиться в області 50%-ї відмітки випробовуваної частоти обертання, то він наближається до допустимих умов безпеки. Можливість того, що максимально допустима частота обертання розриву не дивлячись на двократний коефіцієнт безпеки може при використанні інструменту наблизитися до частоти обертання, при якій використовується інструмент, робить очевидною

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

необхідність ретельної установки пластин в корпус інструменту при дотриманні вимог його виробника. У торцевих фрез і фрезерних головок з гвинтовим кріпленням непереточуваних пластин наслідки помилок при складанні цих інструментів унаслідок наявності з'єднання з геометричним замиканням виявляються менше.

Для підвищення безпеки фрезерних головок і торцевих фрез необхідно розробляти дискові корпуси зниженої маси із зменшеними розмірами, меншою кількістю пазів і спрощеним з'єднанням різальних пластин, у якого інтерфейс для з'єднання з шпинделем вмонтований в інструмент. Така конструкція не тільки знижує ймовірність поломки торцевої фрези або фрезерної головки, але і можливості помилок при їх складанні [8, 22].

Виникнення вказаних вище проблем можна в принципі уникнути шляхом застосування цілісних інструментів. Проте і тут існують явища, що ускладнюють дотримання техніки безпеки, зокрема можливість руйнування інструментів з довгою виступаючою робочою частиною під дією власних коливань. Чим вище величина співвідношення між довжиною і діаметром інструменту, тим менше частота резонансу. При несприятливому співвідношенні у інструменту може виникнути вібрація навіть при обертанні шпинделя, внаслідок чого з'являється дисбаланс, який із-за додаткової дії згинних зусиль продовжує збільшуватися до тих пір, поки не наступить руйнування інструменту [8, 22].

Таке явище може виникнути, наприклад, у інструменту (діаметром 20 мм і завдовжки близько 100 мм), власний резонанс якого знаходиться в діапазоні частот обертання фактично використовуваного шпинделя. Фреза вже при звичайних частотах обертання шпинделя під дією власних коливань починає відхилятися від правильного обертання і унаслідок дисбалансу, який виник, і ламається ще до початку роботи. Енергія, що звільняється при цьому, володіє дуже високим потенціалом небезпеки. Тому при розробці технологічного процесу потрібно звертати увагу на те, щоб шляхом відповідного підбору операцій механічної обробки уникати застосування дуже довгих інструментів. Ще вдалішим виходом буде створення оптимізованих конструкцій заготовок,

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

передбачених безпосередньо для високошвидкісної обробки, де використання занадто довгих інструментів просто не передбачено [8, 22].

Але якщо навіть такий дисбаланс і не приведе відразу до поломки інструменту, то він створить значні згинні моменти, які можуть несприятливо вплинути на функціональну надійність широко вживаних у високошвидкісних верстатах з ЧПУ конусів типу HSK, жорсткість яких вища, ніж у звичайних конусів SK в 5 – 7 разів [8, 22]. Так, у конуса HSK A63 радіальна жорсткість складає 3600 Нм²/мм, а у рівного йому по розмірах конуса SK-40 всього 670 Нм²/мм [8, 22].

Оскільки всі елементи інструменту, починаючи від місця його з'єднання з шпинделем і до різальної кромки позмінно роблять різний вплив на якість різання, при складанні інструменту необхідно всі його компоненти, що обертаються, розглядати як інструментальну систему в ланцюзі безпеки, враховуючи при цьому, що вся ця система узгоджена з межами навантаження окремих компонентів. Це вимагає безумовного дотримання на підприємстві–споживачі встановлених граничних частот обертання інструменту, а застосування не відповідних вимогам високошвидкісної обробки інструментів повинно бути повністю виключено [8, 22].

Такий зв'язок припускає з одного боку відповідну організацію праці, а з іншого достатньо високу кваліфікацію персоналу, з тим щоб для експлуатації підбиралися тільки інструментальні системи з фіксованою максимальною частотою обертання, що збираються з дотриманням вимог техніки безпеки. Після закінчення експлуатації необхідно регулярно проводити ретельний контроль інструменту – починаючи від непереточуваної пластини через базовий корпус і аж до його з'єднання з шпинделем. За наявності подряпин або інших помітних пошкоджень відповідні компоненти слід обов'язково замінювати.

Як один з подальших заходів по забезпеченню безпеки частоти обертання інструменту доцільно за допомогою системи управління обмежити допустимі максимальні частоти обертання його обертових компонентів відповідно до характеристик самого інструменту [8, 22].

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2. Захист обслуговуючого персоналу горизонтального обробного центра за допомогою кабінетної огорожі

Ні конструкція, що враховує всі вимоги безпеки, ні ретельне складання не можуть повністю виключити вихід з ладу інструментальної системи або її елементів. Тому для горизонтального обробного центра необхідне застосування системи кабінетної огорожі, яка в змозі протистояти енергії, яка вивільняється при поломці інструментів або їх компонентів і реально захистити людей, що знаходяться біля верстата [23].

Ця енергія настільки велика, що всі існуючі для нинішніх верстатів з ЧПК концепції захисту стають абсолютно непридатними у верстатах для високошвидкісної обробки. На жаль, кабінетній огорожі не завжди приділяють належну увагу як при конструюванні, так і при експлуатації верстатів. Саме оглядові скла, від яких ніяк не можна відмовлятися, тому що вони забезпечують верстатників необхідний огляд робочої зони верстата, нерідко є слабкою ланкою системи його захисту.

Як захисний матеріал широко поширений полікарбонат, що має хороші властивості міцності, проте його товщина повинна бути достатньо велика. Як показали дослідження, на верстатах, що виконують високошвидкісну обробку алюмінію і оснащених полікарбонатними оглядовими склами завтовшки 5 мм, скла такої товщини не зможуть надійно утримати касету, що вирвалася з інструменту, який обертався [23]. Ударній енергії навіть невеликого уламка фрези (масою близько 50г) або касети (масою близько 100г), якщо врахувати швидкості різання, що досягаються сьогодні при обробці алюмінію або пластмас (понад 7500 м/хв), не може надійно протистояти навіть полікарбонатні скла завтовшки 8–12 мм, оскільки інструмент або крупний уламок торцевої фрези або фрезерної головки володіє, дуже великою енергією [23].

Результати досліджень показали, що утримуюча здатність захисного скла залежить не тільки від його товщини, але і від конструкції. Так, для клейової конструкції, що складається з одного полікарбонатного скла завтовшки 12,7 мм і

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

двох завтовшки по 3,2 мм, її утримуюча здатність відповідає утримуючій здатності захисних стінок із сталі завтовшки 6 мм [23]. Аналогічні можливості були встановлені для багатошарової комбінації з двох полікарбонатних стекол завтовшки по 10 мм і одного звичайного завтовшки 5 мм. Ці конструкції можуть надійно утримувати осколки фрез, що розвивають енергію до 1000 Нм або інструментальні касети, що розвивають енергію до 2000 Нм навіть при таких частотах обертання шпинделів, які, можливо, будуть досягнуті в майбутньому [23]. Ще надійніша багатошарова комбінація з трьох полікарбонатних стекол завтовшки по 12 мм і одного звичайного завтовшки 10 мм. Вона може витримувати енергію, що розвивається крупними осколками інструментів [23]. Одношарові полікарбонатні стекла такої енергії не витримують. Багатошарові комбіновані стекла, безумовно, дорожче звичайних одношарових полікарбонатних, проте на безпеці не економлять. До того ж вища вартість комбінованих стекол частково компенсується їх тривалішим терміном служби, тому що утримуюча здатність незахищеного полікарбонатного скла під впливом змащувально-охолоджувальної рідини, гострих кромок великої кількості стружки і ультрафіолетового випромінювання у міру експлуатації верстата знижується, і через 10 років нерідко складає лише 20% від первинної або від значень утримуючої здатності, що досягається для захищених з двох сторін стекол [23].

При дослідженнях захисних стекол, навіть не вживаних, але які регулярно піддавалися дії змащувально-охолоджувальної рідини, можна було виявити зменшення їх утримуючої здатності до 60% всього лише за 9 місяців [23]. З міркувань безпеки унаслідок настання явищ старіння рекомендується незахищені полікарбонатні стекла замінювати через 2 роки [23]. Поєднання таких стекол з броньованими, встановлюваними з боку робочої зони, тобто тим, які насамперед піддаються дії змащувально-охолоджувальної рідини і стружки, допоможе захистити полікарбонат від небажаних дій [23].

На зовнішню сторону комбінованого скла повинен бути нанесений шар пластмаси, що володіє високим опором дії ультрафіолетових променів для того, щоб у разі розриву інструменту не були травмовані люди, що знаходяться біля

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

верстата. Проте, застосування саме таких комбінованих стекол у верстатах для високошвидкісної обробки у жодному випадку не є обов'язковим [23]. Для надійного захисту важлива не тільки конструкція скла, але і його кріплення. Кріплення гвинтами і сталевими рамками неефективно, тому що при проривах в зонах кріплення утворюються місця зламу, які значно знижують утримуючу здатність оглядового скла [23]. Часто вживані гумові кріплення також не завжди володіють достатньою стабільністю, внаслідок чого скло при прикладенні навантаження на нього може бути цілком видавлено з кріплення. Зручніші в цьому відношенні багат шарові захисні стекла, які вже на заводі-виготовлювачу забезпечують індивідуальними рамами і за допомогою притискних планок кріплять зсередини до стінки кабінетної огорожі [23]. Таке комбіноване скло у разі навантаження на нього зсередини робочої зони верстата притискається до прорізу в огорожі і цим надійно там утримується.

Щоб стабільно забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу протягом достатнього тривалого терміну, необхідно стежити за тим, щоб для очищення скла не використовувалися засоби, шкідливі для самого скла і прискорюючі його старіння. Стекла рекомендується протирати з використанням мильної води або заміника терпентинного масла, а потім промивати чистою водою і витирати досуха. В принципі стекла слід контролювати регулярно і при їх пошкодженнях або виявленні явищ старіння відразу замінювати, навіть за наявності на них лише невеликих пошкоджень або подряпин [23].

Використання технології високошвидкісної обробки зробило актуальними такі вимоги до безпеки, на які при експлуатації звичайних верстатів з ЧПУ до цих пір не звертали уваги. Переваги такої обробки можна ефективно використовувати лише в тому випадку, якщо оптимально поєднуюватимуться технічні, організаційні і персональні аспекти.

Безпека при високошвидкісній обробці не досягається одними лише технічними засобами. Вона припускає також відповідне відношення до безпеки праці оператора. Тому повинна бути передбачена не тільки перевірка інструментів на відповідність відцентровим силам, що діють, але потрібне також

					<i>КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обов'язкове маркування цих інструментів з вказанням їх максимально допустимої експлуатаційної частоти обертання, а також всеосяжна інформація для споживачів про інструментальні системи, що включає відомості про їх належне складання, стан балансування, ремонт і максимально допустиму довжину вильоту [23].

					<i>КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз технічних вимог до точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, а також шорсткість поверхні деталі «Корпус».

2. Приведено призначення і короткий опис горизонтального обробного центру з ЧПК, його компоновки, кінематики та основних вузлів та механізмів.

3. Проведено аналіз конструкції приводів головного руху обробних центрів з ЧПК. Приведено типові структури приводів головного руху обробних центрів.

4. Вибрано напрям модернізації приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК, який полягає у вмонтуванні в шпіндельну бабку моторшпинделя із системою затиску інструментальних патронів з конусом HSK, що дозволяє підвищити продуктивність і за рахунок скорочення основного часу циклу напівавтоматичної обробки.

5. Проведено синтез технологічного маршруту обробки, вибрано технологічне обладнання та розроблено операційну технологію механічної обробки корпусної деталі.

6. Вибрано різальний, допоміжний та контрольно-вимірювальний інструмент для всіх операцій технологічного процесу. Вибрано режими різання та визначено норми основного часу для всіх операцій механічної обробки.

7. Здійснено вибір типу приводу головного руху горизонтального обробного центра з ЧПК. Вибрано параметри і технічні характеристики привідного двигуна моторшпинделя. В якості привідного двигуна вибрано синхронний двигун 1FE 1084-4WN1 фірми SIEMENS. Побудовано графіки зміни потужності та обертового моменту на шпинделі.

8. Розроблено конструкцію моторшпинделя на базі вибраного привідного двигуна. Вибрано компоновальну схему шпіндельного вузла та опори шпинделя.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата									
Розробив	Нітефор П.В.				Висновки					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Буховець В.М.									Н		61	2
										ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.												
Затв.	Крупа В.В.												

Розраховано радіальну жорсткість опор шпиндельного вузла. Здійснено автоматизоване визначення оптимальної віддалі між опорами шпинделя в пакеті MathCAD та його радіальної жорсткості. За результатами автоматизованого розрахунку радіальна жорсткість шпиндельного вузла при міжопорній віддалі 336 мм становить 165,1 Н/мкм.

9. Розроблено конструкцію механізму захоплення хвостовиків HSK з радіальним переміщенням затискних сегментів. Проведено розрахунок сили затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK, яка складається зі статичної та динамічної сили затиску. За результатами розрахунків статична сила затиску затискними сегментами механізму захоплення хвостовиків HSK становить 15 кН, динамічна при максимальній частоті обертання шпинделя 20000 об/хв – 16,8 кН.

10. Проведено оцінку розробленої конструкції моторшпинделя з інструментальною системою з умов безпеки експлуатації. Проведено аналіз вимог до конструкції кабінетної огорожі горизонтального обробного центру з ЧПК для захисту обслуговуючого персоналу.

					<i>КРБ 3Н-03-309.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		62

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов Ю. М. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / Ю.М. Кузнецов, О.Ф. Саленко, О.О. Харченко, В.Т. Щетинін. – К.: - Кременчук: Точка, 2014. - 500 с.
2. ИР500ПМФ4 Верстат горизонтальный багатоцільовий [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://stanki-katalog.net/sprav_ir500.htm (дата звернення: 25.05.2025).
3. Brecher C., Weck M. Machine Tools Production Systems 2. Design, Calculation and Metrological Assessment – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2021 – 840p.
4. Neugebauer R Werkzeugmaschinen. Aufbau, Funktion und Anwendung von spanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen. – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2012 – 478 s.
5. Hirsch A. Werkzeugmaschinen. Grundlagen, Auslegung, Ausführungsbeispiele – Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2012. – 439 s.
6. 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.
7. Wu Y. Zhang L. Intelligent Motorized Spindle Technology. – Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2020. – 303 p.
8. Erdel B. High-speed Machining. – Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 2003. – 247 p.
9. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Неделчева П.М., Эль-Дахаби Ф.В. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография/ Под ред. Кузнецова Ю.Н. – Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. – 724 с.
10. Кузнецов Ю.Н., Волошин В.Н., Фиранский В.Б., Гуменюк А.О.

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Перелік посилань				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Нітефор П.В.								Н		63	3
Перевірів	Буховець В.М.								ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											

Инструментальные зажимные патроны: Монография/ Под ред. Кузнецова Ю.Н. – К.: ООО «ГНОЗИС», 2012. – 286 с.

11. Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Волошин В.Н. Інструментальні патрони з термозатиском для високошвидкісного оброблення// Машинознавство. – 2007.– №8 (122). – С.42 – 46.

12. 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.

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

14. 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.

15. 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.

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

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

18. SINAMICS S120. Synchronous Built-in Motors 1FE1. Configuration Manual 06/2010. – 350 p.

19. 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»,

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

«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.

20. Super precision bearings machine tool products. Проспект фірми The Barden Corporation, 2002. – 202 с.

21. Cui L., Zhang H.S. A Nominal Radial Stiffness Prediction Model for HSK Tool Holder-spindle Flange Interface/ L. Cui, H.S. Zhang// Advances in Mechanical Engineering. – 12 (6). – 2020. – p. 1-13

22. Leopold, J.; Schmidt, G.: Bewertung von HSC-Spannfuttern – Was leisten sie wirklich// VDI-Zeitschrift, Special Werkzeuge. – August 2001, S.69-73.

23. Ising M. System zur sicherheitsgerechten Konstruktion von Werkzeugmaschinen: Diss. TU Berlin: Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, 2001.

24. 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.

25. 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.

26. 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).

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ 03-309.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Додатки				Лім.		Аркуш	Аркушів
Розробив	Нітефор П.В.								Н		66	6
Перевірів	Буховець В.М.											
Н. контр.	Кобельник В.Р.											
Затв.	Крупа В.В.											
					ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль							